UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

APLICAÇÃO DE ALGUMAS FERRAMENTAS DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA NUMA EMPRESA PRODUTORA DE BENS DE CAPITAL SOB ENCOMENDA

AUTOR : JOÃO LUIZ BAVARESCO CRISTOVÃO
ORIENTADOR : PROF. DR. EDUARDO VILA GONÇALVES FILHO

DEDALUS - Acervo - EESC
31100017705

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, COMO PARTE DOS REQUISITOS PARA A OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE.

SÃO CARLOS, JANEIRO DE 1993.

EESC - USP
Biblioteca
CAMPUS DE S. CARLOS

FICHA BIBLIOGRÁFICA

CRISTOVÃO, João Luiz Bavaresco. Aplicação de Algumas Ferramentas de Engenharia Simultânea numa Empresa Produtora de Bens de Capital sob Encomenda

Resumo: Esta dissertação propõe a utilização da técnica de Engenharia Simultânea para integrar os diversos departamentos de engenharia de uma empresa durante a fase de desenvolvimento e fabricação de um produto. Os conceitos de Engenharia Simultânea e as suas ferramentas de apoio são apresentados. É dado uma ênfase na participação das pessoas envolvidas no processo produtivo durante a fase de elaboração do projeto. São apresentados exemplos de aplicação de uma empresa produtora de bens de capital sob encomenda, onde são mostrados os resultados e benefícios que essa metodologia oferece em diferentes áreas de atuação. Completando o trabalho, é feita a conclusão.

Unitermo: Engenharia Simultânea

CRISTOVÃO, João Luiz Bavaresco. Aplicação de Algumas Ferramentas de Engenharia Simultânea muma Empresa Produtora de Bens de Capital sob Encomenda.

Substract : This Work proposes the utilization of Concurrent Engineering Technics to integrate the Engineering Departments during the early stages of a product design.

The Concurrent Engineering concepts and tooling are presented. It's given the importance on the people participation of the productive process during the early stages of a product development.

The presented examples were taken from a capital goods company and the benefits and results are showed. Finally is presented the conclusion of the work.

AGRADECIMENTOS

À minha mãe pelo amor, dedicação e sacrifícios empregados durante toda essa caminhada, e à memória do meu pai, pela sua dedicação e compreensão da importância dos estudos durante o tempo que esteve conosco.

À minha esposa Marisa, pelo incentivo nos momentos mais difíceis, pela compreensão dos momentos da minha ausência e pelo carinho durante todo o percurso.

A todos os meus irmãos, José Antônio, Salvador e João Carlos, e à minha irmã Fernanda, que souberam entender a importância dos estudos e que muito colaboraram durante a vida escolar.

Ao Prof. Villa, pela orientação e apoio durante o desenvolvimento desse trabalho.

Ao Wanderley Perez, pelo apoio aos estudos e incentivo nos momentos de elaboração deste trabalho.

À Escola de Engenharia de São Carlos, representada pelos professores do Departamento de Mecânica, que me acompanham, orientam e ensinam desde a graduação.

A todos os funcionários da Sade Vigesa, que não citei, mas que colaboraram para que esse trabalho fosse elaborado.

À minha mãe Gioconda, à minha esposa Marisa, e ao meu filho Nícolas.

ÍNDICE

Ficha bibliográfica ii

Abstract iii

Agradecimentos iv

Dedicatória v

Índice vi

Relação de figuras x

Lista de siglas e símbolos xiv

Capítulo 1 : Introdução 1

1.1 Generalidades 1

1.2 Definição do problema 3

1.3 Objetivos do trabalho 5

1.4 Conteúdo da dissertação 6

Capítulo 2 : Conceituação de engenharia simultânea 7

2.1 Projetos convencionais 7

2.2 Engenharia simultânea 9

2.2.1 Conceituação 11

2.3 Implantação de engenharia simultânea 11

2.4 Exemplos de aplicação de engenharia simultânea 17

2.5 Estrutura organizacional 24

2.5.1 Organização tipo funcional 24

2.5.2 Estrutura hierárquica matricial 27

2.5.3 Times de trabalho 31
2.5.3.1 Líder do time 35
2.5.3.2 Comunicação 37
2.5.3.3 Solução de problemas 37
2.6 Ferramentas utilizadas na engenharia simultânea 37
2.6.1 QFD (Quality Function Deployment) - Desdobramento da função qualidade. 37
2.6.2 DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) - Projeto para a manufatura e para a montagem 45
2.6.3 FMEA (Failure Mode Effect Analysis) - Análise do modo e efeito de falhas 63
2.6.4 Delineamento de experimentos e a metodologia Taguchi 66
2.6.5 Controle estatístico do processo (CEP) 72
2.6.5.1 As sete velhas ferramentas da qualidade 74
2.6.6 As sete novas ferramentas da qualidade 91
2.6.7 "Hadware" e "software" 99
2.6.8 "Workflow" 105
2.6.9 Reengenharia 107

Capítulo 3 : Exemplos de Aplicação 110
3.1 Exemplo 1 - Componente de caldeiraria: diafragma 111
3.1.1 Objetivo 111
3.1.2 Descrição do componente diafragma 111
3.1.3 Descrição das etapas da aplicação 116

3.1.3.1 Projeto convencional 116
3.1.3.2 Formação da equipe multifuncional 118
3.1.3.3 Projeto revisado 119
3.1.4 Resultados 121
3.1.4.1 Redução de custos 121
3.1.4.2 Ciclo dos trabalhos 122
3.1.5 Conclusão 124
3.2 Exemplo 2 - Componente de conformação : ligações do estator 125
3.2.1 Objetivo 125
3.2.2 Descrição do componente ligação do estator 125
3.2.3 Descrição das etapas da aplicação 128
3.2.3.1 Máquinas e ferramentas 128
3.2.3.2 Procedimento normal para se dobrar uma ligação 129
3.2.3.3 Processo em "software" 133
3.2.4 Resultados 136
3.2.5 Conclusão 136
3.3 Exemplo 3 - Componente de usinagem : segmentos de Mancais Guia 137
3.3.1 Objetivo 137
3.3.2 Descrição do componente segmentos de mancais guia 137
3.3.3 Descrição das etapas da aplicação 138
3.3.3.1 Dificuldades normalmente encontradas na fabricação 138
3.3.3.2 Limitações para futuros projetos 139

3.3.4 Resultados 141

3.3.5 Conclusão 141

Capítulo 4 : Conclusão 142

Referências Bibliográficas 145

RELAÇÃO DE FIGURAS

Capítulo 1

1.1 Custo real de alterações de engenharia, baseado na lei dos 10's 2

1.2 Caminhos de retrabalho no sistema convencional de organização para o desenvolvimento de novos produtos 3

Capítulo 2

2.1 Ambiente de gerenciamento de engenharia 8

2.2 Custo do impacto de decisões 10

2.3 As funções na engenharia convencional são feitas sequencialmente, enquanto que com ES, os trabalhos são feitos simultaneamente 12

2.4 Fluxograma para implementação de ES 16

2.5 Utilizando a metodologia de times, os japoneses podem desenvolver produtos mais rapidamente do que as empresas americanas e européias 18

2.6 Forma de organização funcional 25

2.7 Exemplo de estrutura matricial 28

2.8 Estrutura matricial proposta para ES 29

2.9 Estrutura organizacional "achatada" 30

2.10 Probabilidade de ocorrência de problemas de qualidade em função da complexidade de etapas de processos numa dada organização 38

2.11	Fluxo de informações desde os requisitos do cliente até as operações de manufatura, feito através das matrizes de desdobramento da qualidade	40
2.12	Disposição geral de uma matriz de pianejamento do produto	41
2.13	Esquema de uma matriz mostrando as correlações	42
2.14	Ferramentas do projeto para manufatura	48
2.15	Alterações no projeto que facilitam a montagem dos componentes	53
2.16	Peças projetadas simetricamente para facilitar referências	54
2.17	A inclusão de características externas, tais como chanfros, ranhuras, raios, para facilitar a referência	56
2.18	Análise do modo, efeito e criticidade das falhas	66
2.19	Curva da função Perda de Taguchi	68
2.20	Tabela ortogonal L9 de Taguchi	70
2.21	Gráfico de análise de resultados	71
2.22	Probabilidades associadas à distribuição normal	75
2.23	Indicação da situação do processo	76
2.24	Exemplo de um diagrama de Pareto	78
2.25	Padrões comuns de histogramas	81
2.26	Folha de verificação	85
2.27	Folha de dados	86
2.28	Lista de verificações	87
2.29	Diagrama de dispersão	88
2.30	Diagrama de causa e efeito	89
2.31	Exemplo de diagrama de relações	92

2.32 Exemplo de um diagrama em árvore 94

2.33 Exemplo de um diagrama em matriz 95

2.34 Exemplo de análise de dados de uma matriz - Matriz de Priorização 96

2.35 Exemplo de aplicação do PDPC 97

2.36 Exemplo de um diagrama em setas 98

Capítulo 3

3.1 Vista em corte de um gerador mostrando o componente Diafragma 112

3.2 Vista tridimensional do Diafragma 113

3.3 Diafragma como projetado convencionalmente 114

3.4 Diafragma como projetado com técnicas de engenharia simultânea 115

3.5 Segmento como projetado convencionalmente 116

3.6 Detalhe de melhoria para novos projetos 120

3.7 Ciclo comparativo de atividades entre o projeto convencional e o revisado 123

3.8 Setor de um estator mostrando algumas ligações 126

3.9 Exemplos de ligações do estator 127

3.10 Ferramentas para a máquina de dobrar tubos 128

3.11 Peça exemplo - ligação do estator 129

3.12 Exemplo da tabela de dobra e o tubo correspondente 133

3.13 Sistema de cotas de tubos 134

3.14 Folha de processo de dobras de tubo 135

3.15 Detalhe construtivo de um segmento de mancal guia 138

3.16 Detalhes das alterações de projeto necessárias para melhor se adaptar às condições de fabricação existente 140

LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

ANOVA	Análise de Variância
ATM	Nome de máquinas para atendimento automático (Automated Teller Machine)
BENCHMARKING	Termo utilizado para a pesquisa do que há de melhor nos negócios, seja dos concorrentes ou não.
CAD	Projeto assistido por computador (Computer Aided Design)
CAPP	Planejamento do Processo Assistido pelo Computador (Computer Aided Process Planning)
CAE	Engenharia assistida por computador (Computer Aided Engineering)
CAM	Manufatura assistida por computador (Computer Aided Manufacturing)
CENTERLESS	Processo de retífica
CEP	Controle estatístico de processos
CIM	Manufatura integrada por computador (Computer Integrated Manufacturing)
CN	Controle numérico (Numerical Control)
CNC	Controle numérico por computador (Computer Numerical Control)

CPM	Termo para designar o planejamento do método do caminho crítico para acompanhamento de atividades no tempo (Critical Path Method)
DB	Banco de dados (Data Base)
DFMA	Projeto para a manufatura e para a montagem (Design For Manufacturing and Assembly)
EDI	Troca de dados eletronicamente (Eletonic Data Interchange)
EDM	Gerenciamento de dados de engenharia (Engineering Data Management)
ENG	Engenharia (Engineering)
ES	Engenharia simultânea (Concurrent Engineering)
EWM	Gerenciamento de "Workflow" de engenharia (Engineering Workflow Management)
FMEA	Análise do modo e efeito de falhas (Failure Mode and Effect Analysis)
FMS	Sistema flexível de manufatura (Flexible Manufacturing System)
HARDWARE	Termo utilizado para designar o arranjo físico de computadores
JIT	Sistema de programação de fabricação (Just In Time)
KJ	Nome da pessoa que primeiro desenvolveu o diagrama de afinidades (Kawakita Jiro)

LAY OUT	Termo empregado para definir arranjo físico
LEADTIME	Termo empregado para definir o período antes de se iniciar a produção de um produto
MFG	Fabricação (Manufacturing)
M.O.D.	Mão de Obra Direta
NCR	Fabricante de máquinas automáticas de atendimento.
ON LINE	Termo empregado para definir que informações estão disponíveis no sistema computacional para os usuários
PDPC	Gráfico do programa do processo de decisão (Process Decision Program Chart)
PERT	Termo para designar a técnica de acompanhamento de atividades no tempo (Program Evaluation and Review Technique)
QFD	Desdobramento da função qualidade (Quality Function Deployment)
TQC	Controle de Qualidade total (Total Quality Control)
SED	Vendas, engenharia e desenvolvimento (Sales, Engineering and Development)
SOFTWARE	Termo utilizado pera designar os programas computacionais
WORKFLOW	Termo utilizado para designar o fluxo de trabalho de uma organização

1 - INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

A rapidez do desenvolvimento tecnológico nos dias atuais está a uma velocidade muito alta, de modo que uma única pessoa não consegue assimilar todas as tecnologias em desenvolvimento. Durante as décadas de 70 e 80, foi dado um enfoque muito grande nos sistemas de fabricação, com o desenvolvimento de novas máquinas, programação a controle numérico e consequentemente com o surgimento de processos de fabricação mais produtivos, ampliando assim as opções de projetos [Whiteley, 1991].

Por outro lado, a departamentalização, a falta de comunicação entre esses departamentos, tornaram difíceis o entrosamento do projeto com os processos de fabricação disponíveis e possíveis de serem executados.

Do ponto de vista de projetos, sempre houve uma liberdade em se projetar, deixando o problema de manufatura para os responsáveis pela fabricação, gerando muitas vezes projetos complexos fora da capabilidade fabril existente, altos custos de retrabalhos e de investimentos [Kirck, 1990].

Do lado da fabricação, o departamento de manufatura e métodos dedicava a maior parte do tempo desenvolvendo novas ferramentas, elaborando planos de investimentos para aquisição de novas máquinas e constante solicitações de alterações de projeto para se tornar possível a manufatura. A criticidade aumentava quando o problema surgia durante a montagem ou mesmo durante o teste final do produto na fábrica, pois a essa altura, as dificuldades para alteração de projeto eram enormes e na maioria das vezes incorrendo em custos elevados. Alterações de projeto feitas imediatamente antes e durante as primeiras semanas de produção reduzem a qualidade, aumentam o custo e desaceleram a produção [Hartley, 1992]. O caso mais extremo ocorre quando o problema é detectado com o produto nas mãos do cliente. O custo de alterações de engenharia podem ser "plotados" como uma função da vida do produto. Essa curva é baseada na "lei dos 10s" que assume que o custo de uma alteração de engenharia aumenta por

um fator de 10 com cada estágio subseqüente no ciclo de desenvolvimento do produto (figura 1.1).

Esses problemas de alterações que ocorrem durante a produção geram paradas de máquinas, troca de ferramentas e preparação de máquinas, alterações constantes na programação de fábrica, proporcionando com isso constantes reprogramações, atrasos e consequente aumento no custo do produto.

De uma maneira geral, no sistema convencional de organização muitas são as solicitações de modificação do projeto original, oriundas das fases subseqüentes do andamento dos trabalhos de desenvolvimento e de fabricação de um produto (figura 1.2).

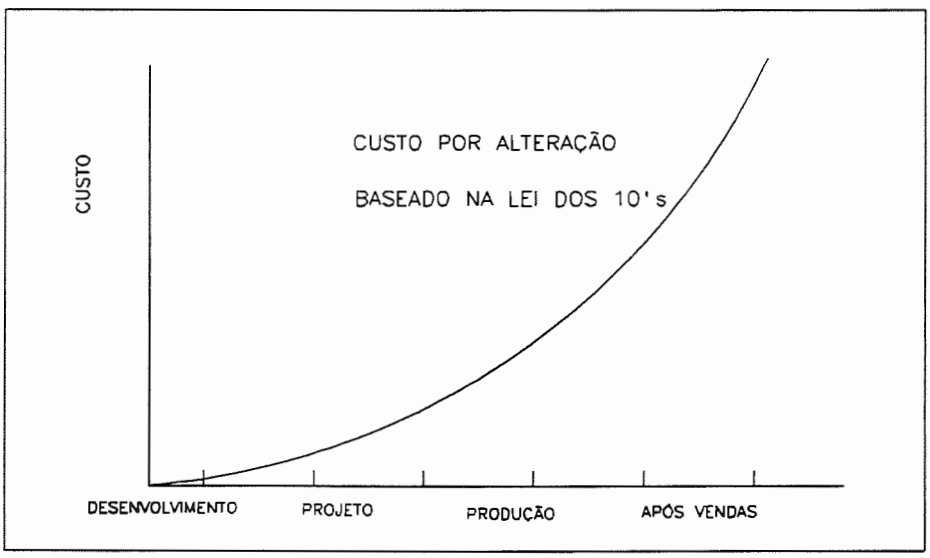


Figura 1.1 - Custo Real de Alterações de Engenharia, baseado na Lei dos 10's [Manufacture Management Handbook, 1991]

Todas essas dificuldades e muitas outras geradas por essa falta de integração entre os departamentos proporcionam um ciclo muito grande no desenvolvimento e na fabricação de um produto, além de, na maioria das vezes, prejudicar a qualidade do produto final.

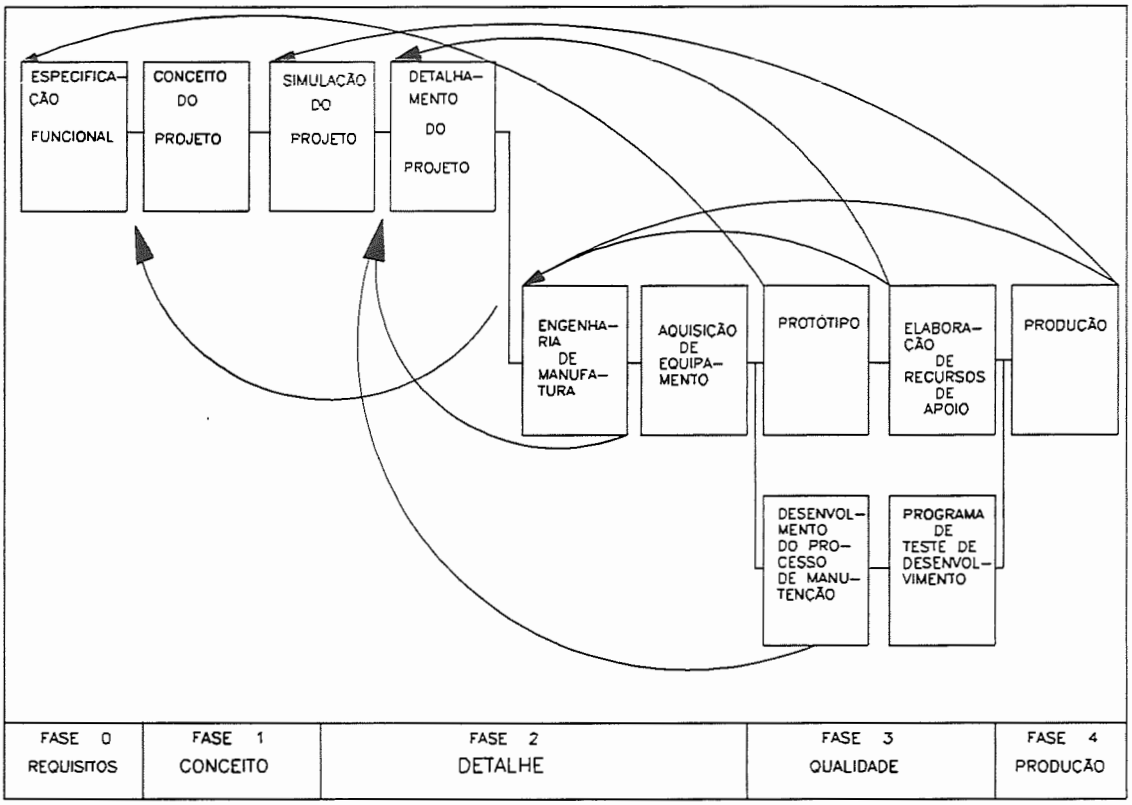


Figura 1.2 - Caminhos de retrabalho no sistema convencional de organização para o desenvolvimento de novos produtos [Hartley, 1992].

1.2 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

O ponto em estudo é o de empresas de Bens de Capital que possui várias linhas de produtos. Há muito se vem trabalhando para se diminuir os tradicionais problemas de ciclo de fabricação, redução do tempo de manufatura e diminuição dos índices de retrabalhos e de não conformidades de peças, objetivando uma melhoria da qualidade.

Os principais investimentos que a empresa fez no setor de manufatura foram na aquisição de máquinas a controle numérico, ferramentas, e na mudança do "Lay Out" funcional para o "Lay Out" celular, automação, cujas contribuições atingiram o ponto máximo. Ponto este que para se obter pequenos ganhos é necessário

altos investimentos, porém difíceis de se prever, pelo próprio negócio, ou seja, vendas de produtos sob encomenda.

Porém, nessa empresa de Bens de Capital com várias linhas de produto e com diferentes engenharias de produto, a produção ainda se depara com a falta de produtividade, e é vista como causadora de não conformidades.

Os diversos projetos elaborados pelas diversas engenharias de produto possuem características próprias, baseadas nas experiências de seus projetistas, em referências de antigos projetos oriundos muitas vezes de licenciadores de tecnologia, cujas condições humanas e de capabilidade de máquinas e equipamentos são diferentes.

Como consequência, o trabalho de planejamento do processo de fabricação se torna muitas vezes dificultado e consumidor de tempo, se esse tempo for disponível. Se não o for, o projeto será lançado para a fabricação com processos simples, sem as informações necessárias para se obter uma melhor produtividade, deixando assim para os contramestres e operadores a função de traduzir a linguagem do desenho para a linguagem operacional.

Este procedimento acaba gerando atrasos na fabricação, pouca produtividade e produtos, muitas vezes necessitando de retrabalho para se obter a qualidade desejada.

O processista e o pessoal de apoio à produção, por sua vez, dedicam a maior parte do tempo em "apagar incêndio", resolvendo as tradicionais dificuldades de tradução dos desenhos para a linguagem operacional, de peças projetadas não compatíveis com as condições dos equipamentos e ferramentas existentes. A solução desses obstáculos muitas vezes é o desenvolvimento e fabricação de ferramentas e dispositivos especiais para possibilitar a fabricação da peça de acordo com o projetado.

As dificuldades também podem ser transportadas para os componentes comprados, onde esses mesmos obstáculos são enfrentados pelos subfornecedores. Muitas vezes os custos de aquisição de um subproduto em

particular aumenta por gerar desvios nos processos padrões dos subfornecedores.

A falta de padronização de uma linguagem comum entre as engenharias dos diversos produtos compatíveis com os equipamentos, ferramentas e tecnologia fabril existente, é uma das grandes dificuldades enfrentadas pelas empresas.

Também a diversificação de produtos e a não repetibilidade dos mesmos, gera a necessidade de um trabalho mais participativo daqueles que irão executar a operação.

Por outro lado, os pedidos de alteração de desenhos para a adequação dos mesmos aos processos/equipamentos/ferramental existentes geram desgaste, consumo de tempo e aumento do ciclo total da produção.

Muitas vezes essas alterações, mesmo reconhecidas como importantes e de considerável influência na qualidade do produto, não podem ser efetuadas devido ao atual andamento dos trabalhos e da produção. Fica portanto reconhecida a "boa idéia" para ser lembrada para um futuro projeto similar .

Os objetivos do trabalho definidos a seguir visam uma maneira de solucionar esses problemas aqui levantados.

1.3 OBJETIVOS DO TRABALHO

O objetivo deste trabalho é mostrar os benefícios da Engenharia Simultânea (ES), suas ferramentas e exemplos de aplicação em uma empresa de Bens de Capital trabalhando sob encomenda, mostrar alguns conceitos/ ferramentas e os resultados obtidos com o mínimo de investimentos, apenas com o trabalho participativo e em grupo e com informações padronizadas geradas na hora certa, ou seja, no momento de geração do projeto.

Os benefícios são grandes, tanto na redução de custo de fabricação do produto, como na diminuição do ciclo de fabricação e melhoria da qualidade do produto final.

Outro ponto importante é mostrar o papel de cada funcionário na geração de idéias e a utilização da automação/computador como meio de agilização da comunicação e redução de ciclo do processo de projeto/fabricação de um produto.

Todos esses objetivos estão contidos no conteúdo dessa dissertação.

1.4 CONTEÚDO DA DISSERTAÇÃO

Essa dissertação está dividida em quatro capítulos, sendo que no capítulo 1 é feita uma introdução ao assunto e são descritos os problemas e objetivos do presente trabalho.

O capítulo 2 se concentra na definição/conceituação de ES, e alguns exemplos de algumas empresas que implantaram esse conceito com sucesso em alguns continentes.

É feito uma explanação sobre a estrutura organizacional sugerida para que as técnicas de ES melhor se adaptem e também sobre o principal conceito, que é o conceito chave para o sucesso da ES, o dos times de trabalho.

Também são descritas as ferramentas da ES no apoio ao desenvolvimento de novos produtos de uma maneira conceitual e geral, bem como as estruturas de "hardware" e "software" e suas influências na diminuição do ciclo de desenvolvimento de novos produtos e processos e no poder de integração dos membros do time de trabalho.

No capítulo 3 são descritos e analisados casos de utilização de alguns recursos da ES para melhorar a produtividade e diminuir custos de fabricação, além de melhorar a qualidade de produtos numa empresa de Bens de Capital.

No capítulo 4 é feita a conclusão do apresentado nos capítulos anteriores.

2 - CONCEITUAÇÃO DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA

2.1 PROJETOS CONVENCIONAIS

No início do século e até os últimos quarenta ou cinquenta anos, a simplicidade relativa dos projetos e a facilidade de comunicação entre as pessoas tornavam possível a existência das informações mais importantes de um projeto nas "cabeças" de alguns funcionários. Como os produtos e processos aumentaram em complexidade e sofisticação, os elementos complexos de projeto, desenvolvimento, manufatura, manutenção, serviços etc, foram subdivididos em pequenos setores especializados de trabalho. Com o passar do tempo, surgiu um modelo conceitual do processo de desenvolvimento de produtos/processos, constituído de estágios ou fases. Esse processo seqüencial, enquanto importante na evolução do desenvolvimento de novos produtos, conviveu com o problema de falta de coordenação, de interface e de integração de muitas das diferentes fases. O resultado dessa lacuna são os atrasos no lançamento de muitos produtos, trabalho extra de engenharia, grande número de alterações de projeto, baixa qualidade, excedentes no orçamento, e altos custos de manutenção. [Ken Keys, 1991].

O processo seqüencial de desenvolvimento dos trabalhos de projeto e fabricação pode ser visto na figura 2.1. O processo se inicia através do desenvolvimento do projeto conceitual, onde após a análise se libera para os trabalhos de engenharia. Na fase II se faz todo o desenvolvimento do produto através de cálculos e de simulações pelo setor responsável pelo desenvolvimento. A fase seguinte, também dentro do setor de engenharia do produto, é a fase do detalhamento, chamada também de definição do produto, onde as peças tomam formas individuais e os detalhes de manufaturas são definidos, tais como as tolerâncias, acabamentos, raios de concordância, detalhes construtivos de corte, dobra e de soldagem, os ensaios requeridos para se obter a qualidade necessária e os processos de montagem dos componentes. É gerado um banco de dados (desenhos e especificações técnicas) que são liberados para o setor de manufatura após as devidas verificações e aprovações. Na próxima fase, a fase V, há a verificação da necessidade de equipamentos e ferramentas especiais e suas aquisições, proporcionando a macro capabilidade para o setor fabril.

Posteriormente, etapa VI, é desenvolvido todo o processo de manufatura para cada peça individualmente, e nessa etapa é providenciado as ferramentas e dispositivos necessários para a fabricação das peças individualmente, bem como o desenvolvimento de processos específicos, estimativas de tempos de fabricação para cada operação. De posse desses processos e da capabilidade existente, é feito o planejamento da produção e vendas, etapa VII, onde se faz a aquisição da matéria prima, ferramentas, ou seja, os insumos necessários para efetuar a produção. Com esses requisitos definidos é possível iniciar a produção com os devidos controles das atividades fabril, ou seja, controle de pessoal produtivo, manutenção de máquinas e equipamentos, controle de qualidade, segurança, etc. Como fase final das atividades de fábrica há os ensaios finais para a liberação para embalagem e transporte. As características desse ambiente estão citadas na figura 2.1.

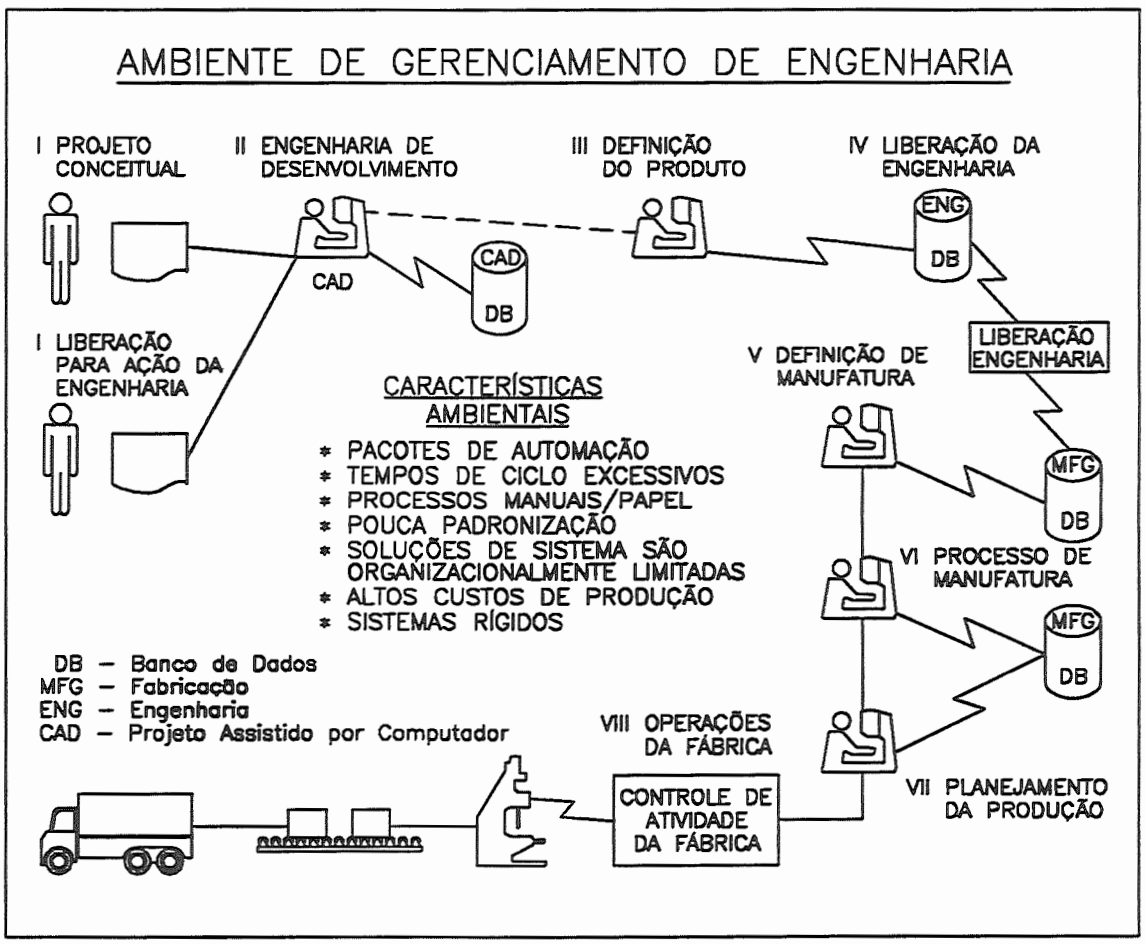


Figura 2.1 - Ambiente de gerenciamento de engenharia [Addson, 1989]

2.2 ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Engenharia simultânea, também chamada de engenharia paralela, (no original "Concurrent Engineering"), é um novo modelo de gestão utilizado para aprimorar o processo de desenvolvimento de novos produtos em busca de maior competitividade [Plonski, 1992].

A competição pelo mercado nos dias de hoje está tão aguda que é essencial o investimento em melhoramentos de cada aspecto do produto, desde o início do projeto até o fim de sua vida em serviço. Sem o produto não há negócio, e o lucro só será bom se o produto certo estiver no mercado no momento que este necessitá-lo. Muitos esforços para estimular o desempenho da empresa devem começar com o produto, redução de custo e melhorias na eficiência de manufatura, porém estes serão insignificantes se o produto não satisfizer as necessidades do cliente, não estiver disponível quando o mercado necessitar e não tiver credibilidade e marketing mundial [Hartley, 1992]. Sabe-se que de 60 à 80% do eventual custo de um produto é definido no estágio de projeto, e que 80% ou mais das decisões de fabricação são determinadas pelo projeto do produto. Como pode-se observar na figura 2.2, as decisões no início do projeto afetam o custo de um produto mais do que anos de melhorias de manufatura feitos posteriormente à concepção e detalhamento do projeto do produto.

A principal razão pela qual as decisões no início do projeto afetam o custo de um produto tão intensamente, é que essas decisões afetam diretamente a produtividade do sistema de manufatura. Os projetos dos produtos que levam em conta o processo de manufatura e são compostos de componentes que tenham sido cuidadosamente designados para facilitar a fixação e manuseio, facilitar a montagem, ter seus materiais compatíveis com o processo, naturalmente irão resultar em aumento de produtividade. A qualidade vem como terceiro item na equação de redução de custo. Uma melhor produtividade é proporcionada por manufatura isenta de erros, que por sua vez é oriunda de projeto com qualidade, gerando automaticamente melhorias na qualidade, quer no aspecto real ou perceptivo [Manufacture Management Handbook, 1991].

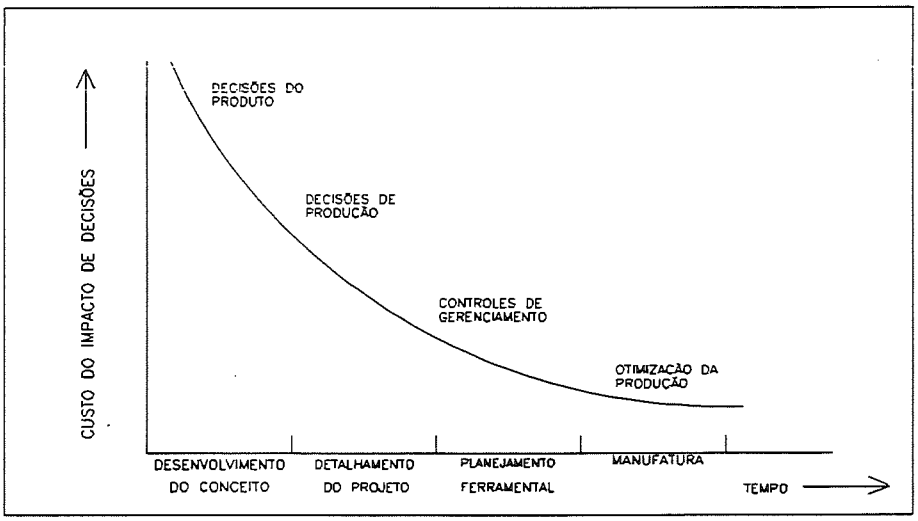


Figura 2.2 - Custo do impacto de decisões [Manufacture Management Handbook, 1991].

Portanto, fica claro que maiores investimentos devem ser feitos na fase de desenvolvimento do produto (projetos). Deve-se estar atento para que cada novo produto :

- Seja o produto que o consumidor deseja, e a um preço que ele esteja preparado a pagar.
- Seja lançado no mercado no momento certo, sem exceder o orçamento (25 a 33% mais rápido do que atualmente) [Hartley, 1992].
- Seja projetado com o mais alto nível de qualidade e confiabilidade desde o início.
- Seja fácil de ser fabricado em máquinas que possam ser flexíveis o suficiente para se adaptarem a possíveis mudanças.
- Contenha o menor número de peças e que seja projetado para fácil montagem.
- Atinja um volume suficiente de produção rapidamente para atingir o ponto de equilíbrio (Break - even point) mais cedo [Hartley, 1992].

Uma conceituação mais detalhada de ES é fornecida a seguir.

2.2.1 CONCEITUAÇÃO

ES é uma maneira simultânea de realização do projeto e do processo de um produto. Ela proporciona o envolvimento de responsáveis por manufatura e métodos, controle de qualidade, manutenção e demais órgãos de suporte, de representantes de fornecedores de peças e serviços, representante do cliente no estágio de projeto do produto, onde as informações dessas áreas são analisadas antes que o projeto seja finalizado [Brazier,1990]. Este grupo de pessoas formam a chamada equipe multifuncional, com regras específicas, devidamente treinada, com objetivos comuns, utilizando várias ferramentas adequadas e com amplos poderes de decisão no desenvolvimento do produto [Denton,1992].

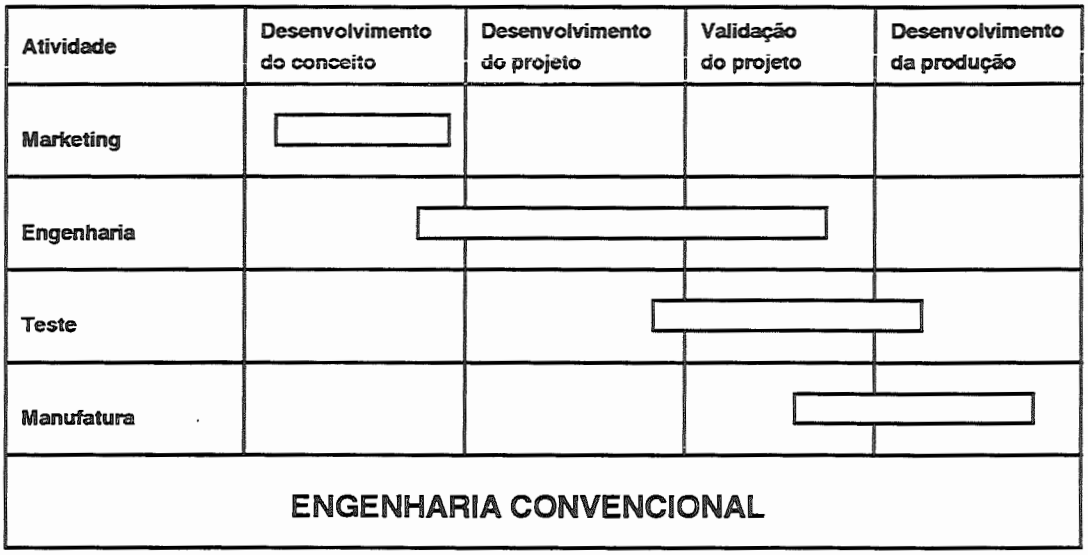
Esse procedimento é feito para se obter um projeto otimizado mais rápido e a um custo menor sobre o ciclo de vida total de um produto. A ES é um processo e não um produto. É composta por um grupo de pessoas, com disciplina, com procedimentos, com metodologia e com gerenciamento. Depende mais da cultura de comunicação de uma organização do que do seu grau de automação [Brazier, 1990].

A figura 2.3 mostra uma comparação entre a engenharia convencional e a ES, onde na ES se observa um maior envolvimento simultâneo dos diversos setores da organização nas fases de desenvolvimento do conceito e do projeto do produto, enquanto que na engenharia convencional, as operações são feitas na seqüência, com pouco envolvimento dos outros setores a não ser do departamento responsável pela determinada tarefa.

2.3 IMPLANTAÇÃO DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA

O primeiro passo para a implantação das técnicas de ES numa organização deve partir do nível hierárquico mais elevado, e ser iniciada uma implementação gradual, através de um projeto piloto, como indicado na figura 2.4.

É necessário antes de tudo, mudar a cultura da organização, através de um processo contínuo. Para muitos, esta é a etapa mais difícil na implementação da ES. Pode-se citar dois aspectos fundamentais nessa mudança de cultura:



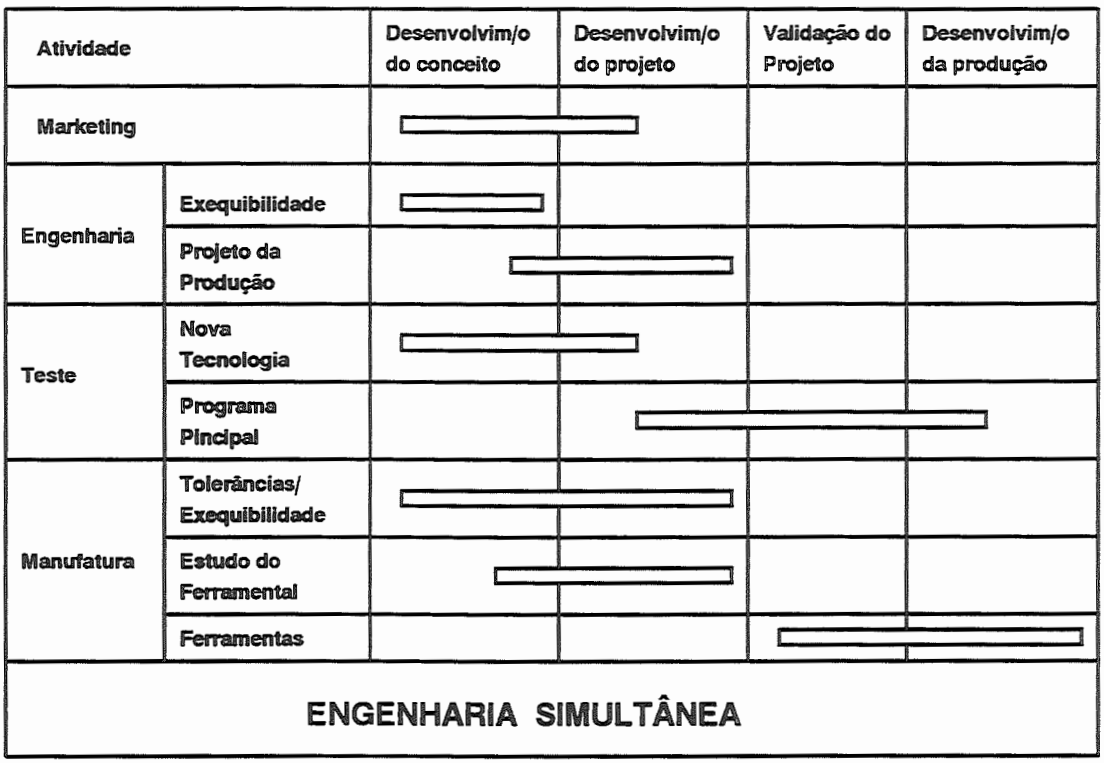


Figura 2.3 - As funções na engenharia convencional são feitas sequencialmente, enquanto que com ES, os trabalhos são feitos simultaneamente [Hartley,1992].

- Mudar a atitude de todos os envolvidos em direção as prioridades do negócio. Entender a diferença entre a qualidade sob o ponto de vista dos membros da organização e sob o ponto de vista do cliente. Colocar o cliente e suas necessidades primeiro, e fornecer um serviço real por toda a vida do produto. Essa cultura deve ser disseminada na organização de cima para baixo.

- Mudança de cultura no que diz respeito ao poder. Este é atribuido aos times de trabalho, e não aos departamentos funcionais cujo poder fica restrito à parte técnica do departamento. É uma mudança também na estrutura da organização.

A próxima mudança é a definição do projeto piloto, e entregar ao time de trabalho o poder suficiente para desenvolvê-lo com sucesso. Em paralelo com o estabelecimento do primeiro time de trabalho, deve-se estabelecer as metas essenciais, de modo que os membros do time de trabalho mantenham suas mentes no que eles estão tentando fazer. Como exemplo, a Chrysler estabeleceu a meta de redução de $2.500,00 do custo unitário total de cada veículo [Hartley, 1992]. A Siemens estabeleceu as metas de: a) redução do tempo entre a idéia inicial de um produto até a expedição do mesmo, mais do que 50%; b) redução dos custos das partes mecânicas de 40 a 50% [Moore, 1992].

Juntamente com essas metas deve-se estabelecer um programa de treinamento para todo pessoal envolvido e a ser envolvido em ES. Inicialmente, o treinamento atribuído ao primeiro time de trabalho será baseado em filosofias e nas mudanças na cultura.

Desde o início a empresa deve treinar o pessoal nas ferramentas essenciais para a ES, ou seja, para começar, estabelecer um treinamento em QFD (Quality Function Deployment), DFMA (Design for Manufacturing and Assembling) e o método Taguchi. Treinar os membros da engenharia do produto em processos de fabricação. Ao mesmo tempo os membros do time devem ser estimulados a ter uma visão prática das suas novas atividades, olhando para o produto e processos de fabricação [Hartley, 1992]. O treinamento deve se estender para as outras ferramentas utilizadas na ES, ou seja: FMEA (Failure Mode Effect and Analysis), [Boller,1990]; Sete Velhas Ferramentas da Qualidade (Gráfico de Controle,

Diagrama de Pareto, Histograma, Quadros Demonstrativos, Diagrama de Disperção, Diagrama de Causa e Efeito e Fluxograma); Sete Novas Ferramentas da Qualidade (Diagrama de Afinidades, Diagrama de Relações, Diagrama em Árvore, Diagrama em Matriz, Análise dos Dados da Matriz, Análise PDPC - Gráfico do Programa do Processo de Decisão -, e Diagrama em Flechas); Projeto de Experimentos, [Kumar, 1991].

Uma vez que a empresa tenha se decidido a adotar a ES e criado o time de trabalho para operar o projeto piloto, o próximo passo é o de decidir sobre o tipo de time de trabalho. Há três opções básicas:

- Um time pré-concebido de quatro ou cinco pessoas - de projeto do produto, manufatura, marketing e provavelmente finanças e serviços - que seja expandido para um time de trabalho completo, uma vez que o estágio de conceito do projeto tenha sido alcançado.

- Um time de trabalho completo para trabalhar no produto desde a pré-concepção à produção. Porém é importante estabelecer o ponto de desligamento do time com o produto em plena produção, não somente até o protótipo, de modo que o time esteja ao par dos problemas nos primeiros estágios de produção.

- Um time de trabalho que comece no estágio de pré-concepção do projeto e continue até o momento em que o produto estiver sendo produzido. Neste caso, o time de trabalho pode ser também considerado um centro de lucro ou um time de negócio, responsável pelo lucro total do produto, do início ao fim. O tamanho do time de trabalho variará com o estágio de andamento do projeto. Iniciará pequeno, crescerá ao tamanho total após a concepção, e então diminuirá assim que a produção for alcançada.

Quando o conceito de ES for novo, o primeiro caminho é provavelmente mais fácil de coordenar, e o número ideal de pessoas envolvidas dependerá da complexidade do produto. Dez a trinta pessoas é um número razoável para se trabalhar. Para um projeto piloto, não é recomendado iniciar com produtos de alto grau de complexidade, como por exemplo, não se deve iniciar a implantação de

ES para um veículo completamente novo; inicia-se por um componente de um modelo já existente.

Não se deve esperar muito de um projeto piloto, pois ele é realmente um exercício de treinamento; é um procedimento recomendável montar o time do núcleo para o completo o mais cedo possível, e então modificar os elementos quando o produto atingir a produção. Então um maior número de pessoas terá experiência prática em ES e será possível montar mais times, e poder aplicar a ES em um produto mais completo e complexo.

Os resultados obtidos no projeto piloto (e nos projetos subseqüentes) devem ser publicados dentro da empresa, para que o pessoal perceba que ES funciona e estimulando os funcionários que vierem a se envolver em futuros projetos.

Os passos para a implantação da ES estão descritos na figura 2.4, onde tudo se inicia com a decisão da gerência em implantar a ES, e a criação de um comitê de direção. Os passos posteriores estão na seleção do treinamento a ser efetuado, do pessoal e do projeto piloto. Posteriormente à execução do projeto piloto, o pessoal que participou é dividido e fará parte de novos projetos.

Naturalmente, o objetivo mais amplo é o da criação de um conjunto de times, um para cada linha de produto. Isto, porém, leva tempo. Até assegurar que a habilidade necessária para se trabalhar com sucesso em um time esteja desenvolvida, as pessoas podem trabalhar como cooperadoras em um time por curtos períodos de tempo. Toda essa estrutura de times deverá ser coordenada por um comitê, que trabalhará de perto com os líderes de cada time até que eles estejam trabalhando eficientemente.

Estes times têm a importante missão de manter contatos com o cliente, para verificar o que ele quer ou está necessitando.

Outra tarefa bastante importante desses times de trabalho é a de manter reuniões regulares, independentemente de estarem trabalhando em ambientes CAD/CAM, numa mesma base de dados. EDI (Eletronic Data Interchange) não é um substituto de reuniões. A troca de informações através de uma base central de dados somente, é o processo convencional de projeto do produto com um outro

nome. Os projetistas sentados em seus terminais ficarão relutantes em enviar os seus dados até que tenham terminado o trabalho; os representantes de manufatura, por sua vez, também ficarão igualmente relutantes em fornecer dados incompletos aos fornecedores de máquinas ferramentas, e assim acontecerá também com outros membros do projeto, e então se tem um retorno ao sistema convencional de engenharia [Hartley, 1992].

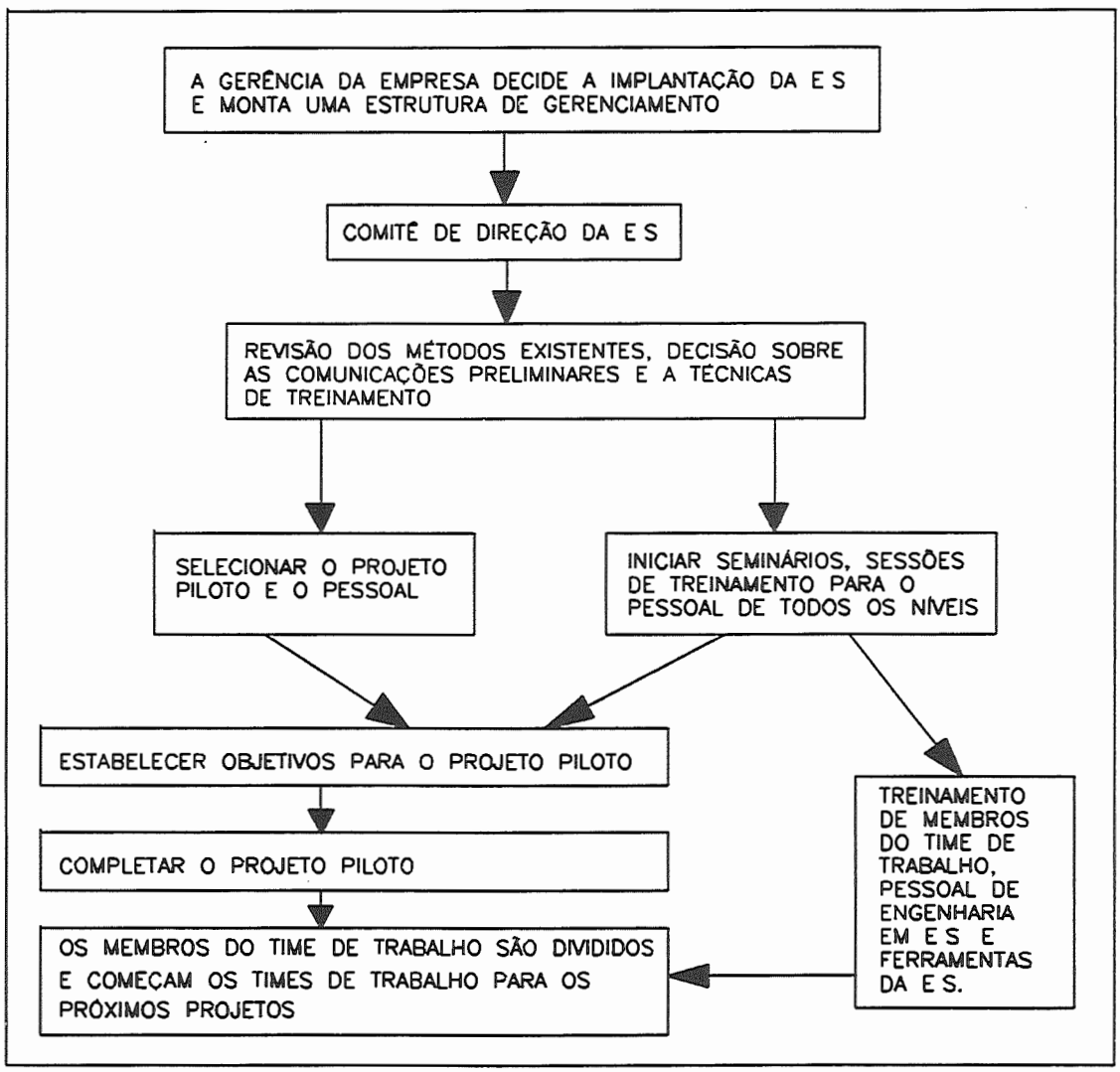


Figura 2.4 - Fluxograma para implementação de ES [Hartley, 1992].

Os riscos para a implantação da ES podem, dentre outros, ser:

1. Times ineficientes: os membros do time se mantém fiéis ao departamento funcional de origem;
2. Cronogramas inexeqüíveis, onde a promessa de se atingir um cronograma impossível é muito pior do que se estabelecer como meta um mais longo;
3. Mudança dos requisitos do produto, onde são adicionadas características durante o ciclo de desenvolvimento que causam mudanças no sistema de manufatura, no projeto e nas ferramentas.

Essa metodologia de trabalho já foi implantada em diferentes tipos de organizações.

2.4 EXEMPLOS DE APLICAÇÃO DE ENGENHARIA SIMULTÂNEA

As técnicas de ES foram primeiramente desenvolvidas e utilizadas no Japão, onde as empresas já trabalhavam em times como sendo um comportamento inerente à política de tomada de decisões em novos projetos e nas operações do dia-a-dia. Esse procedimento já fazia parte da cultura das organizações e foi utilizado mesmo antes do nome Engenharia Simultânea existir. A metodologia de Taguchi e o QFD (Quality Function Deployment) surgiram no Japão. O método Taguchi foi desenvolvido na década de 50, enquanto que o QFD surgiu dez anos depois [Hartley, 1992].

Posteriomente, as empresas ocidentais, vendo que o mercado foi sendo dominado pelas empresas japonesas, começaram a utilizar essa técnica para o desenvolvimento de novos produtos.

Vê-se inicialmente o exemplo das empresas fabricantes de veículos. A figura 2.5 compara o tempo de desenvolvimento de novos produtos para os fabricantes de veículos dos Estados Unidos, Europa e Japão. Observa-se que com a utilização dos conceitos de times de trabalho e realizando os trabalhos de desenvolvimento com os departamentos atuando simultâneamente, o Japão pode desenvolver o produto até vinte meses mais rápido do que a Europa e dezenove meses mais rápido que os EUA.

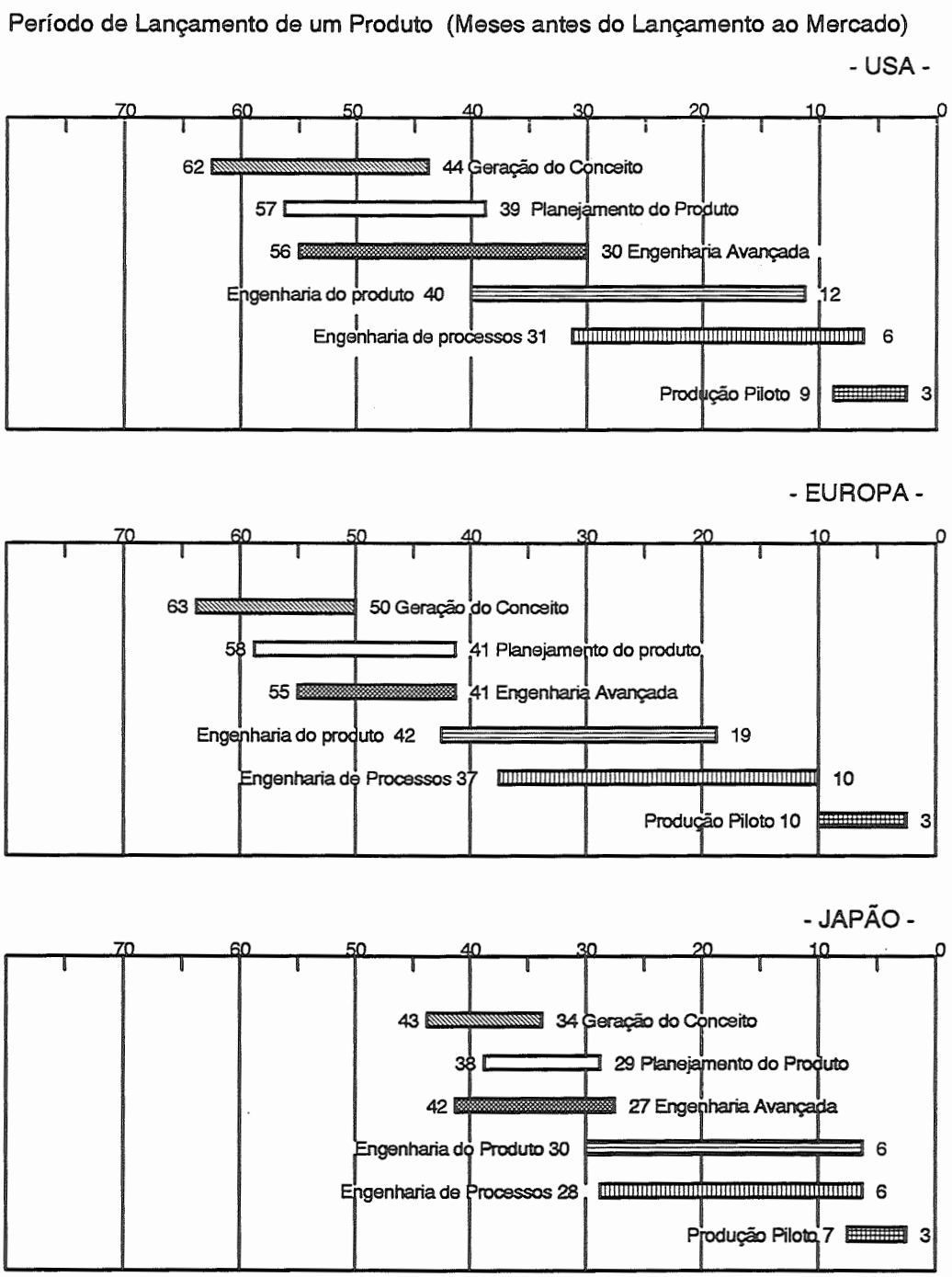


Figura 2.5 - Utilizando a metodologia de times, os japoneses podem desenvolver produtos mais rapidamente do que as empresas americanas e européias [Hartley, 1992].

- HONDA - Japão

A Honda foi uma das primeiras a adotar as técnicas de ES, porém com o nome de SED (Sales, Engineering, Development), introduzido na década de 70 pelo presidente Kiyoshi Kawashima. O SED era definido como sendo um time de desenvolvimento de produto com representantes dos setores de vendas, engenharia e desenvolvimento. A meta que levou à introdução do SED era de responder mais rapidamente às necessidades dos clientes e à movimentação dos concorrentes e melhorar a qualidade. Desde então a Honda deixou de ser uma pequena empresa fabricante de alguns modelos de carros para o Japão para ganhar espaço no mercado europeu e no mercado americano [Hartley, 1992].

- NISSAN - Japão

Esta empresa adotou ES como uma disciplina em janeiro de 1987, para reverter a situação de perda do mercado japonês por vários anos e erguer a empresa de sua pobre condição. A expressão ES consciente foi adotada para distinguir da ES inconsciente utilizada pela empresa por 30 anos. Há um grupo de marketing e planejamento de produto, com um time para cada modelo de veículo. O time de trabalho inclui membros da produção, controle de qualidade e teste. Para reforçar o time, alguns especialistas participam das reuniões no início de cada projeto e durante o decorrer do mesmo. Para alimentar o desenvolvimento de novas tecnologias de produto e de manufatura para o uso em todos os seus veículos, a empresa estabeleceu um centro de ES em 1988, constituído de um corpo técnico, onde 30% são oriundos da engenharia do produto; 30% do laboratório central de pesquisa; 15% do departamento de estilos; 15% das fábricas de montagem; e 10% dos setores de protótipos e de testes. Os times do centro de ES trabalham em projetos tais como:

- Adesivos estruturais para carcaças;
- Fundidos de precisão;
- Tecnologia laser;
- Montagem modular de veículos;
- O uso de plásticos para componentes estruturais como carcaças e estruturas dos veículos [Hartley, 1992].

- CHRYSLER - Estados Unidos

Em 1985 estabeleceu-se o "Liberty Team", onde engenharia de manufatura e engenharia do produto trabalhavam juntas como um novo meio de produzir novos produtos. Foi adotado posteriormente o conceito de times multidisciplinares, assim como a introdução de técnicas de QFD, DFMA e FMEA para toda a fábrica. Adaptou-se também detalhes próprios, como a definição do processo de manufatura como primeiro passo no desenvolvimento de novos modelos, sendo processo dirigido ao invés de projeto dirigido. Atualmente a Chrysler está construindo uma nova fábrica, para 7000 funcionários, chamada de Centro Tecnológico Chrysler. Debaixo do mesmo teto ficarão todos os grupos envolvidos no departamento de novos veículos : engenharia do produto, projeto do produto, manufatura e métodos, fornecedores e compras, bem como grupos de finanças,vendas e marketing. Com a ajuda de sofisticada rede de estações de trabalho e de computadores, será possível trabalhar simultaneamente e alterar a sequência dos passos de desenvolvimento de novos veículos, diminuindo pela metade o tempo normalmente gasto. Outro objetivo é o de implantar o CIM não totalmente automatizado, pois foi aprendido pela General Motors que as decisões de máquinas não são tão eficientes como as decisões do ser humano. Outra grande mudança diz respeito à estrutura organizacional, tornando-a menos hierarquizada e com a supervisão participando no trabalho com os funcionários em pequenos e compactos times. [Major, 1992].

- FORD - Estados Unidos

A Ford Iniciou a utilização de ES em meados da década de 80 através do projeto Taurus. O início se deu com a utilização do DFMA, onde tornou-se aparente que um time multifuncional era necessário para extrair totalmente os benefícios do DFMA. Porém, o Taurus não foi um projeto totalmente elaborado com as técnicas de ES, e a utilização de times multifuncionais se deu para resolver problemas graves que pudessem comprometer o desenvolvimento do produto e a produção. Também foi adotado ES para alguns programas de motores, como o V-8 [Hartley, 1992].

- VOLKSWAGEN - Alemanha

  A implantação de ES teve início em 1987 com a formação de equipes de trabalho constituídas por representantes dos setores de: Pesquisa e Desenvolvimento, Engenharia de Manufatura, Compras, Finanças e Vendas. A maior dificuldade no início da implantação foi fazer com que o pessoal aprendesse a trabalhar com dados incompletos, pois até então o procedimento de engenharia seqüencial ainda tomava parte da cultura de trabalho. O Departamento de Controle da Qualidade foi extinto e seus membros distribuídos nos demais departamentos para que houvesse uma melhoria da qualidade através da experiência desses funcionários. Desde então todos tornaram responsáveis pela qualidade, e o controle na produção foi totalmente realizado com a utilização das técnicas do CEP (Controle Estatístico de Processo). A utilização do CAD foi desenvolvida de modo que as diversas áreas de desenvolvimento e projeto do produto pudessem utilizar simultaneamente o mesmo ambiente de trabalho. Por exemplo, os estilistas podem estar trabalhando no projeto da estrutura do carro enquanto os engenheiros fazem simulações aerodinâmicas, torsionais e outras análises estruturais. O uso de simulação feita pelo CAD também minimizou a elaboração de protótipos [Hartley, 1992].

- AUTOLATINA - Brasil

  A aplicação de ES na divisão de caminhões teve início em 1990, com o projeto do chassis para ônibus. Se valeu do QFD para integrar o cliente no desenvolvimento do projeto, e do "*Benchmarking*". O resultado foi uma redução de 12 meses no lançamento do produto no mercado, com um custo 40% menor [Leon, 1993].

Além das empresas fabricantes de veículos, a utilização das técnicas de ES para desenvolvimento de novos produtos foi implantada em outras empresas:

- BOEING - Estados Unidos

A empresa Boeing, fabricante de aviões, está utilizando a técnica de ES para projetar e fabricar o Boeing 777. O procedimento se iniciou com o trabalho integrado entre projeto, produção e subfornecedores, alimentado com dados dos clientes, manutenção e finanças. O objetivo do grupo é de simular a montagem antes de se iniciar a produção. Dos 7000 integrantes na fabricação de 34 aviões Boeing 777, metade participa dos 238 times, onde os dados são compartilhados nas 2806 estações de trabalho espalhadas nas fábricas de Seattle, Wichita, "Philadelphia", e no Japão. Os times desses locais se encontram no mínimo a cada duas semanas para reverem seus trabalhos com outras partes interessadas que podem variar desde representantes de compras até clientes. Após a implantação de ES na fabricação do Boeing 777, o método será implantado por toda empresa [Yang, 1991].

- PRATT & WHITNEY - Estados Unidos

Fabricante de turbinas de aviões a jato, a empresa montou uma rede de estações de trabalho (2000 SPARC-stations da Sun Microsystem), para servir as sete fábricas localizadas em quatro estados dos USA. Levou-se 18 meses para passar de um simples sistema CAD/CAM para um sistema que em segundos fornece dados entre as áreas de planejamento de materiais, manufatura e métodos, ferramentaria e planejamento da qualidade, simultaneamente entre as fábricas e internamente em cada uma das fábricas, Com esse sistema terminou o problema de informações entre as fábricas, e os dados podem ser compartilhados simultaneamente entre os departamentos [Owen, 1992].

- ROCKWELL - Estados Unidos

Fabricante de componentes aeroespaciais, a empresa está utilizando técnicas de ES para reduzir prazo e custos dos produtos. A meta é de reduzir o tempo de desenvolvimento de produtos em 50%, e o custo do produto em 30%. A estratégia é de iniciar a prática da ES nos produtos existentes, antes de lançar

os esforços em novos produtos. As técnicas de ES foram direcionadas na simplificação do processo, reduzindo o número e tipos de processos necessários para se projetar e fabricar uma peça. Os grupos incluem participantes desde manufatura a marketing, incluindo também atividades de projeto [Hurthwaite, 1992].

- SIEMENS - Alemanha

A empresa Siemens Communications Systems Group em Bocholt, fabricante de telefones, para superar o tempo de lançamento de um produto no mercado, adotou a prática da ES - trazendo juntos estilistas, projetistas de peças, ferramenteiros e engenheiros de produção que antes trabalhavam em grupos isolados. Os objetivos do programa são: redução de mais de 50% do tempo de desenvolvimento da idéia inicial de um produto até a expedição do mesmo; redução de 40 a 50% do custo de partes mecânicas; implementação de ES para todo o desenvolvimento de produtoe utilização da tecnologia CAD/CAM/ CAE para ajudar no desenvolvimento de novos produtos [Moore, 1992].

- MOTOROLA - Estados Unidos

A fábrica Motorola de montagem de microcomputadores em Austin, Texas, adotou a política de times interfuncionais na cultura da organização para melhorar a manufatura. Esses times são constituídos de 6 a 10 pessoas incluindo membros da alta gerência, supervisores de primeira linha ou líderes de grupo, operadores, técnico em manutenção, vendedores, clientes e quando possível, membros de todas as organizações envolvidas. Um coordenador/facilitador está presente em todos os times. Seus principais projetos são: otimização de processos pelo projeto de experimentos, transferência de novos processos para a fábrica de montagem de Austin, implementação de novos processos/equipamentos, layout da área de manufatura, e em outras áreas onde podem ser reduzidos de manufatura, melhorados procedimentos de inspeção e manutenção da limpeza. Esses conceitos ajudaram a fábrica Motorola a reduzir custos, tempo de manufatura, refugos e a melhorar a qualidade do produto [Kumar, 1991].

- NCR - Escócia

A empresa NCR, fabricante de sistemas financeiros "Self Service" , sediada em Dundee, atingiu 34% do mercado de "Automated Teller Machine - ATM", e 54% de novas vendas, devido a uma mudança organizacional, com a implantação da ES no desenvolvimento de novos produtos, chamada de Projeto para Manufatura e Montagem . A implantação se iniciou com um projeto piloto, sendo encabeçado pelos diretores de Manufatura e de Engenharia do Produto. O primeiro teve que fornecer recursos em engenharia de Manufatura, e o segundo em convencer sua "elite" de engenheiros projetistas que os projetos seriam beneficiados com os dados de manufatura. No início houve problemas para romper as barreiras comportamentais das pessoas, porém os resultados alcançados foram os esperados. Levou-se em consideração durante a fase de projeto desde a manufaturabilidade das partes como também o projeto da linha de montagem automatizada. Após o sucesso do protótipo, o processo foi implantado para outros produtos, porém em contínuo aperfeiçoamento [Yuile, 1990].

2.5 ESTRUTURA ORGANIZACIONAL

A organização matricial é o casamento da organização funcional tradicional com a de times interdisciplinares para gerenciamento de projetos. A seguir será feito uma explanação sobre a organização tipo funcional com a estrutura hierárquica que a acompanha, a estrutura matricial e os conceitos de times de trabalho.

2.5.1 ORGANIZAÇÃO TIPO FUNCIONAL

Neste tipo de organização, as pessoas e os recursos têm uma função comum e são integrados como uma entidade na organização. Uma forma de organização funcional é ilustrada na figura 2.6.

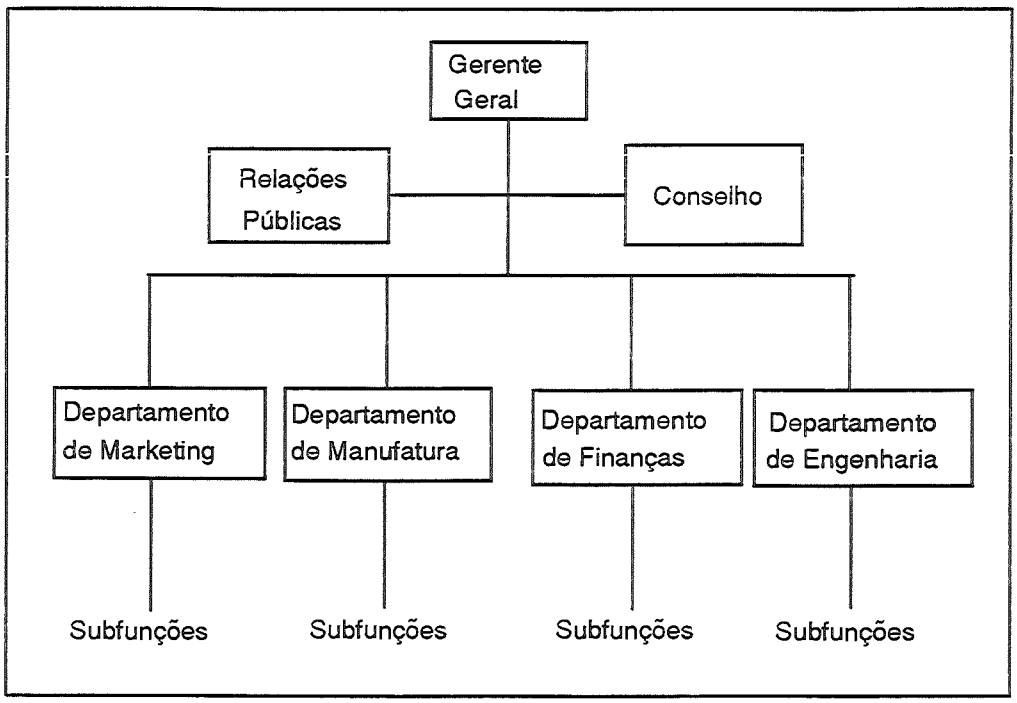


Figura 2.6 - Forma de organização Funcional [Cleland, 1980].

O gerente geral é responsável pelo estabelecimento dos objetivos da organização, tais como o volume de vendas, lucratividade, crescimento etc. Esses objetivos são transmitidos em forma de objetivos específicos em cada um dos departamentos funcionais.

Um gerente de departamento toma o comando para coordenar as atividades quando o trabalho do departamento é crítico para a solução de um problema atual da organização. Tal coordenação é feita na base informal.

A forma de organização funcional é orientada por processos estabelecidos e não fornece flexibilidade suficiente para ser adaptável às mudanças do mercado.

O gerente geral se depara com um grande desafio quando ele deseja projetar, desenvolver e introduzir um novo produto na empresa na velocidade da exigência do mercado. Tal produto requereria um comprometimento significativo do pessoal e outros recursos a fim de assegurar sua implantação com sucesso [Cleland, 1980].

Por outro lado a estrutura hierarquica que suporta a organização tipo funcional convencional é uma estrutura organizacional que pode conter de 10 a 15 níveis hierárquicos de gerenciamento, com um conjunto complexo de procedimentos de operação, que determinam os canais de comunicação, níveis de autoridade, organograma departamental, definições de trabalho e políticas de operação.

Essa estrutura é baseada na premissa de que *pensar* é função do topo da organização, e *fazer* é dos níveis hierárquicos mais baixos.

A função do gerenciamento intermediário é de resumir as informações para o topo da organização e para instruir, monitorar e controlar os subordinados. Para assegurar responsabilidade, cada pessoa tem apenas um único chefe.

Esse tipo de estrutura funciona pela seqüência de transmissão de tarefas, ou seja, cada departamento completa seu trabalho e então passa os resultados para o próximo departamento. Conforme as informações são passadas seqüencialmente de uma função para outra, pode ocorrer uma perda de parte da informação ou uma má interpretação da mesma. Decisões são tomadas numa visão estreita de cada função, sem entender o contexto geral. Com esse procedimento é necessária uma burocracia acentuada para poder integrar as várias funções. Porém, quando as políticas e procedimentos estabelecidos falharem em situações específicas, os problemas serão levados aos níveis hierárquicos mais elevados, uma válvula de escape natural para os níveis inferiores.

Esse tipo de estrutura organizacional, nas suas diferentes formas, funcionou bem nos últimos 100 anos. Apesar dos seus pontos fracos e da crescente obsolescência, está provado a habilidade em resolver uma larga gama de problemas gerenciais surgido durante os anos.

Nos dias atuais, devido às demandas competitivas de uma economia mundial muito dinâmica, essa estrutura rígida está sendo substituída por estruturas de poucos níveis hierárquicos e com estrutura ágil para se adaptar às mudanças.

Uma solução para essas dificuldades é o da introdução de times multifuncionais por produtos, formando assim uma forma organizacional partindo da organização funcional existente, chamada de organização tipo matricial.

2.5.2 ESTRUTURA HIERÁRQUICA MATRICIAL

O gerenciamento de um projeto necessita de um arranjo organizacional consistindo de times de projeto superpostos na estrutura organizacional funcional existente na organização.

A figura 2.7 ilustra um exemplo de estrutura matricial onde se tem o gerenciamento funcional cruzando com o gerenciamento de projetos.

Os times dos diversos projetos (linhas horizontais) são formados por representantes de diversos departamentos funcionais (linhas verticais).

Cada projeto é encabeçado por um gerente de projeto. Ele é responsável pelo planejamento, organização, motivação, direção e controle dos recursos organizacionais a serem aplicados no projeto.

Uma característica da matriz organizacional é que cada pessoa tem dois "chefes": um gerente de projeto e um gerente funcional. O gerente funcional divide a responsabilidade com o gerente de projetos. O gerente de projetos é responsável por concluir o projeto no prazo e no orçamento e por satisfazer os objetivos do projeto. O gerente funcional tem a responsabilidade de fornecer os recursos especializados para dar suporte ao projeto. O gerente funcional tende também a reter a administração sobre o pessoal que é designado para ele, porém está trabalhando no projeto [Cleland, 1980].

Para o caso específico de ES, uma organização tipo matricial pode ser desenhada de uma maneira conforme mostrado na figura 2.8.

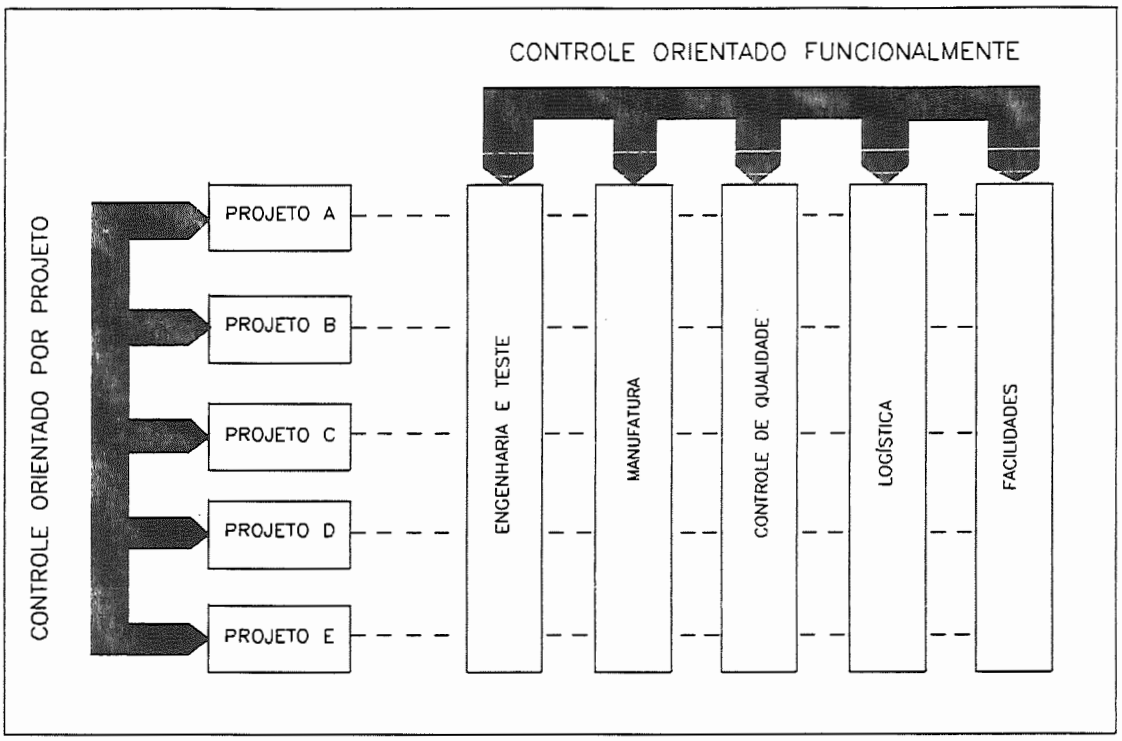


Figura 2.7 - Exemplo de estrutura matricial

Os times de trabalho possuem uma filosofia de trabalho e comportamental descrita no item específico de times, mais adiante neste capítulo. A escolha dos membros que formam um time é baseada nas habilidades necessárias para completar as necessidades do time em obter o propósito e os objetivos de desempenho.

Os líderes desses grupos se reportam aos coordenadores dos diversos grupos de trabalho para os diversos projetos em andamento, ou escolhidos para serem desenvolvidos no esquema de ES.

Esses coordenadores, no caso de conflito ou de um respaldo superior, se reportam a um comitê formado pelos mesmos gerentes funcionais.

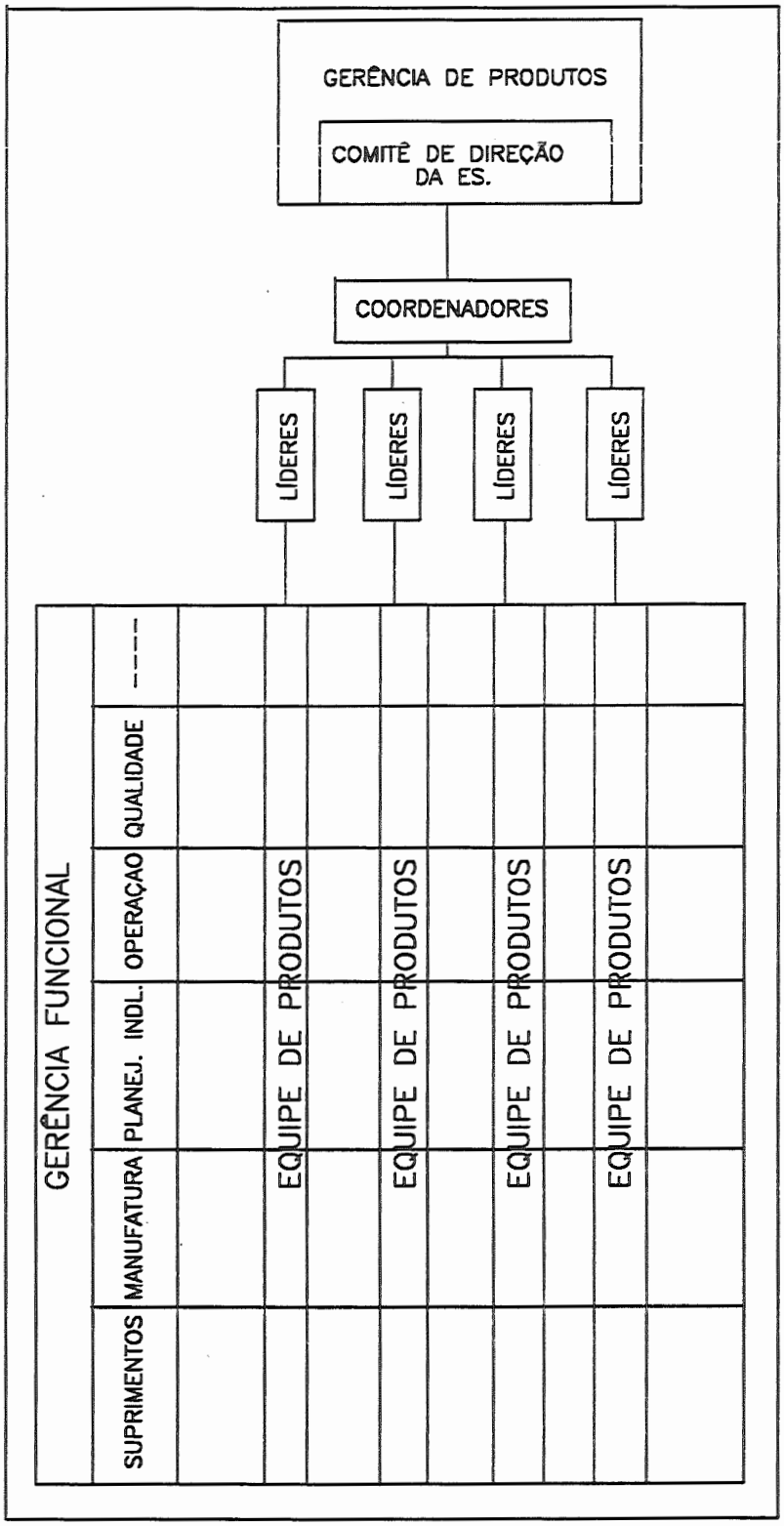


Figura 2.8 - Estrutura matricial proposta para ES.

Muitas vezes a estrutura matricial é difícil de ser implantada em empresas fundamentadas em estruturas organizacionais tipicamente funcionais. O sucesso de muitas empresas está naquelas onde os gerentes reconhecem a necessidade em gerenciar as novas demandas competitivas e ambientais pela focalização, não do ponto de vista de se elaborar uma estrutura ideal, porém em desenvolver as habilidades, comportamento e desempenho dos gerentes individualmente. O desafio não está em construir uma estrutura matricial ideal, mas sim em criar uma matriz comportamental nas mentes dos gerentes [Bartlett, 1990].

Esse procedimento pode ser desenhado conforme a figura 2.9, uma estrutura organizacional "achatada", com poucos níveis hierárquicos, onde cada bloco representa uma pessoa com habilidades e conhecimento necessário dentro da organização.

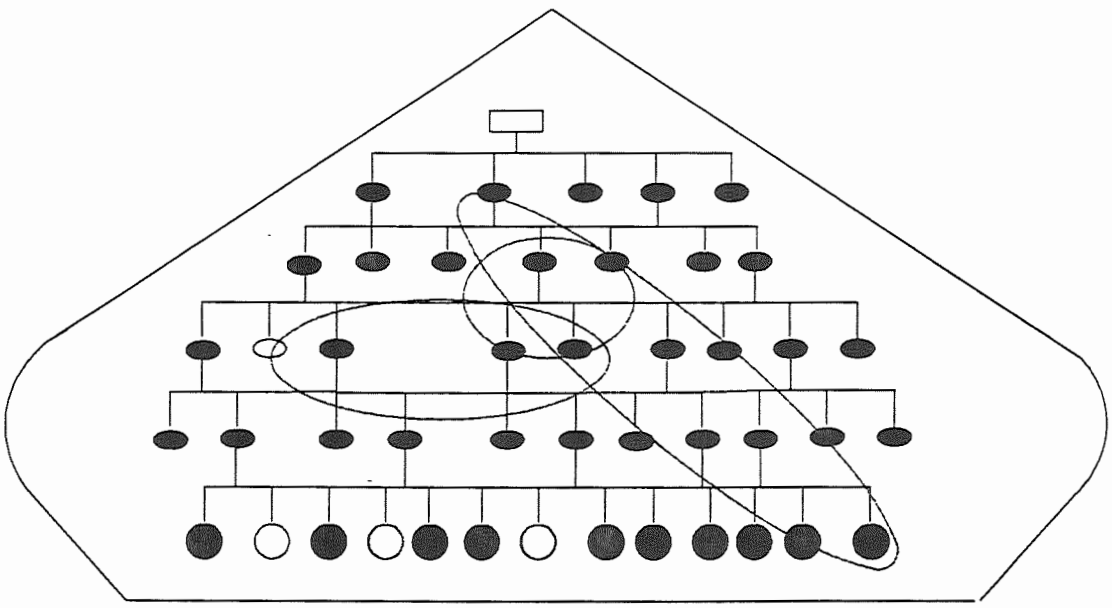


Figura 2.9 - Estrutura organizacional "achatada" [Savage, 1990].

É um tipo de organização caracterizada pela era do conhecimento, onde o ser humano com conhecimentos e habilidades é extremamente valorizado, sendo uma fonte de recursos numa rede humana dentro da organização. As principais características dessa estrutura organizacional são:

- O diálogo como fonte de trabalho e de enriquecimento do conhecimento;
- Fácil comunicação em todos e com todos os níveis hierárquicos;
- O processo visto integralmente até o produto (sem divisão - especialização de partes do processo);
- Experiências passadas (conhecimento) e visão futura são alinhadas no presente, e trabalhadas paralelamente para encurtar o tempo de desenvolvimento;
- Times virtuais como times de trabalho - juntamente com as características descritas acima, reduzem o tempo de introdução de um novo produto no mercado com as características que os clientes desejam [Savage, 1990].

2.5.3 TIMES DE TRABALHO

Um Time de Trabalho pode ser definido como sendo *um pequeno número de pessoas com habilidades e experiência que é comprometido a um propósito comum, a objetivos de desempenho, e à união pela qual os membros se consideram mutuamente responsáveis.*

Entende-se como *um pequeno número de pessoas* aquele número que pode oferecer os atributos chaves do Time, ou seja: finalidade significativa, objetivos de desempenho específicos, direção comum, habilidades e experiências complementares, e responsabilidades mútuas, e que os membros sejam absolutamente necessários. Esse número geralmente pode variar de 2 a 25 pessoas, ficando na maioria das vezes menor que 10.

Um grande número de pessoas, por exemplo 50 pessoas, pode teoricamente se tornar um Time, porém grupos dessa magnitude geralmente se quebram em subtimes. Devido ao seu tamanho, gera-se problemas de interação construtiva como um grupo e muito menos acordos unânimes em tarefas específicas. Há também os problemas logísticos como o de encontrar espaço suficiente e tempo para reuniões e os problemas mais complexos como o comportamental perante ambientes cheios, que inibem certas pessoas em se abrirem para o compartilhamento de seus pontos de vista necessários para se formar um Time.

As *habilidades e experiências complementares* são os requisitos onde os verdadeiros Times desenvolvem a correta mistura de pessoas com habilidades e experiências necessárias para realizar o trabalho do Time. Esses requisitos podem ser divididos em três categorias:

1. Habilidade Técnica ou Funcional : os grupos de desenvolvimento de produtos que possuem apenas representantes de "marketing" ou apenas engenheiros, serão menos propensos ao sucesso que aqueles que possuirem ambas as habilidades e experiência;

2. Habilidades em Solução de Problemas e de Tomada de Decisão: os Times devem ser capazes de identificar os problemas e as oportunidades que se encontram, avaliar as opções que se têm para prosseguir, e então tomar as decisões de como proceder;

3. Habilidades Interpessoais: finalidades e entendimento comuns não podem surgir sem comunicação efetiva e conflito construtivo. Esses pontos dependem de tais habilidades interpessoais como o diálogo crítico, a crítica construtiva, a objetividade, como aprender a ouvir, a tirar benefícios das dúvidas, a suportar e reconhecer os interesses e sugestões dos outros.

Não se deve ignorar o complemento de habilidades e experiência durante a formação de um Time. Nenhum Time pode iniciar sem o mínimo de complemento de habilidades, e nem encontrar suas finalidades sem desenvolver todas as habilidades necessárias.

Comprometimento com o propósito comum e com os objetivos de desempenho: O propósito do Time e os objetivos de desempenho seguem juntos. Se os objetivos não estiverem diretamente relacionados com o propósito como um todo, os membros do Time tornam-se confusos, se dividem, e se revertem para comportamentos de desempenho insatisfatórios.

Há várias razões para essa afirmação, dentre elas:

a) A direção da empresa ajuda os Times a iniciar seus compromissos, indicando algum tipo de condição de contorno dentro dos requisitos de desempenho da

empresa, definindo os limites e a esfera de autoridade claramente, o suficiente para indicar a direção, mas com flexibilidade suficiente para permitir modificações necessárias para desenvolver o compromisso.

Os melhores Times investem uma grande quantidade de tempo e esforço explorando, moldando e concordando com o propósito que pertence a eles, coletiva e individualmente. De fato, os verdadeiros Times nunca param a atividade de refletir sobre o propósito, pois o seu valor esclarece as aspirações e fornece a razão fundamental para os seus esforços extras.

b) Os objetivos de desempenho específicos são uma parte integrante do propósito do Time.

É muito importante que as diretrizes gerais sejam transformadas em objetivos de desempenho mensuráveis, sendo o primeiro passo significativo para os seus membros. Objetivos específicos, como responder para todos os clientes dentro de 24 horas, ou colocar um produto novo no mercado na metade do tempo normal fornecem uma base clara e palpável para agir.

Os objetivos definidos para o Time de Trabalho são diferentes da missão da organização e também dos objetivos de trabalho individual de cada membro do Time.

A especificidade dos objetivos de desempenho tem o objetivo de facilitar a comunicação clara e conflitos construtivos dentro do Time. A clareza dos objetivos permite que as discussões do Time sejam focalizadas em como, exatamente, perseguí-los ou, se for o caso, mudá-los.

c) Os objetivos de desempenho específicos ajudam o time a se concentrar em obter resultados. Como os objetivos são mensuráveis, os membros do Time sabem exatamente onde se encontram para atingi-los. Também são perseguidos pequenos ganhos no decorrer das tarefas, onde os mesmos não eram, até então, considerados.

Os objetivos de desempenho fornecem dramaticidade, urgência e uma saudável sensação de falha. Eles desafiam os componentes de um Time a se

comprometerem como um Time, a alcançarem a diferença entre o objetivo e a situação em que se encontram. Ninguém além do Time pode fazer acontecer.

Os Times devem também desenvolver uma maneira comum de como trabalhar juntos em direção ao propósito. Cada membro do Time deve realizar uma mesma quantidade equivalente de trabalho. Todos devem concordar em quem vai executar uma determinada tarefa com o cronograma de execução, em quais habilidades serão necessários desenvolvimentos, e em como o grupo irá executar e modificar decisões.

Há membros de Times que assumem importante papel social e de liderança, desafiando, integrando, suportando, interpretando, relembrando e resumindo o trabalho de outros. Esses papéis ajudam a promover a confiança mútua e conflitos necessários para o sucesso do Time.

Cada membro assume papéis sociais diferentes dependendo da situação; cada Time desenvolve seu próprio processo para energizar e suportar cada membro do Time e para conservar a honestidade no curso dos trabalhos.

A responsabilidade mútua entre os membros de um Time é outro aspecto muito importante. A responsabilidade de um Time vem do comprometimento sincero dos membros do Time e se apoia em dois aspectos críticos: o compromisso e a confiança. Os membros se comprometem a se manterem responsáveis em obter os objetivos do Time, onde cada um tem o direito de expressar seu ponto de vista sobre todos os aspectos em pauta no Time e de ter esses pontos de vista ouvidos clara e construtivamente.

Responsabilidade surge do tempo, energia e ações investidos em verificar o que um Time está tentando realizar e qual a melhor maneira para se conseguir o objetivo. Quando um grupo de pessoas se propõe a fazer um trabalho em torno de um objetivo comum, a confiança e o comprometimento acompanham naturalmente [Katzenbach, 1993].

Um membro do time que possui um papel muito importante é o Líder do Time.

2.5.3.1 LÍDER DO TIME

O sucesso de reuniões de Times depende também da habilidade do líder do Time. Os líderes devem fornecer informações essenciais, esclarecer pontos e encorajar todos os membros do Time a participarem, e ao mesmo tempo proteger alguns membros que estão sendo atacados. Os conflitos, quando ocorrerem, devem ser resolvidos rapidamente. Os líderes devem ajudar o grupo a se manter no caminho, rumo aos objetivos, e que todos os pontos sejam cobertos pelo time.

Uma liderança efetiva é essencial para um Time de Trabalho. Os líderes podem adicionar força para o processo e podem ter um efeito positivo no clima do Time de Trabalho. Os líderes de um Time efetivo:

- Entendem e aceitam suas obrigações em relação ao Time;
- Tratam clara e consistentemente com qualquer um;
- Acreditam que as pessoas querem fazer um bom trabalho;
- Estão abertos, francos e consistentemente fazem o que eles dizem que farão. Quando não puder, explicam o porquê;
- Preocupam-se com as pessoas e as respeitam como indivíduos;
- Acreditam que quando o grupo de trabalho vai bem, eles mesmos também vão; eles têm orgulho pelas realizações do grupo e compartilham os créditos pelo trabalho realizado pelo grupo;
- Agem como eles esperam que os outros ajam;
- Solicitam idéias e ouvem cuidadosamente quando as mesmas são oferecidas;
- Se dedicam em melhorar as condições de trabalho das pessoas, segurança, para a produção eficiente de produtos e serviços com qualidade;
- Empenham-se nas oportunidades de educação, treinamento e desenvolvimento para os membros do Time e para eles mesmos;
- Estão dispostos a orientar, e não apenas a impor sua autoridade e sua posição;
- Atuam como membros de seus Times, e ficam a par das necessidades dos outros Times;
- Se encontram regularmente para troca de informações e idéias;
- Suportam os esforços do time e procuram ajuda para o time quando for necessário;

- Esforçam-se para melhoria contínua deles mesmos e seus relacionamentos com as pessoas;
- Procuram informações que interessem ao grupo de trabalho e compartilham-nas regularmente com o grupo;
- Demonstram seus suportes ao Time e aos membros individuais quando as coisas não vão bem;
- Conduzem-se com orgulho como representantes profissionais de suas respectivas organizações.

Geralmente, para evitar que os assuntos em pauta nas reuniões não sejam totalmente discutidos e encaminhados, sugere-se que a liderança seja dividida em duas, sendo uma para tratar de assuntos técnicos e uma segunda para coordenar as reuniões. Pode ser chamado de cliente e facilitador.

O cliente é o líder do Time que solicita ajuda para resolver um problema. É responsável pelos assuntos que as reuniões devem abordar. Especificamente, o cliente fornece informações para o Time, descreve claramente o problema e identifica o que é para ser solucionado. Seleciona também as idéias mais promissoras elaboradas pelo grupo, coloca-as para avaliação em detalhes e completa o plano de ação do Time.

O facilitador é responsável pelo andamento das reuniões. Pode-se dividir em 4 as suas responsabilidades básicas: ajudar os membros do Time a manter o compromisso tempo, evitar que a reunião se disperse, manter-se neutro sobre o conteúdo das reuniões, esclarecer as idéias dos membros do grupo e certificar-se de que as idéias de outras pessoas estejam protegidas de ataques.

Outro que pode ajudar nas reuniões é o relator. Este não tem a responsabilidade de um líder, mas atua na utilização de tabelas/gráficos para tomar nota de modo que cada membro do grupo possa ver e entender o que está sendo abordado na reunião antes que a mesma tenha terminado. Esses quadros ajudam a resolver problemas, pois asseguram que cada pessoa tenha uma visão uniforme dos esforços do Time. Após a reunião, esses quadros são datilografados e distribuídos para os participantes.

2.5.3.2 COMUNICAÇÃO

A comunicação interpessoal é a chave para o Time de Trabalho. Comunicação é importante devido à natureza humana. Quase todos que ouvem uma idéia nova tendem a ser descrentes e a observar as razões pelas quais irão ou não funcionar. Essas reações negativas são naturais. As pessoas tendem a assumir que há apenas uma resposta correta e tentam desencorajar outras idéias que não estão de acordo com suas próprias crenças e experiências passadas. Por todas essas razões, é importante que as idéias não sejam vistas como sendo totalmente aceitáveis ou inaceitáveis.

2.5.3.3 SOLUÇÃO DE PROBLEMAS

A comunicação por si só não assegura o sucesso da solução de problemas do Time. É recomendado o uso das Sete Novas Ferramentas da Qualidade como procedimento para se encontrar e se resolver problemas [Denton, 1992].

2.6- FERRAMENTAS UTILIZADAS NA ES

2.6.1 QFD (Quality Function Deployment) - Desdobramento da Função Qualidade

A utilização de QFD tem por finalidade o desenvolvimento de produtos e serviços de acordo com as necessidades dos clientes [Gopalakrishnan, 1992].

A técnica de QFD foi desenvolvida no final da década de 60 por dois professores japoneses, sendo primeiramente utilizada na fabricação de navios da "Mitsubishi Heavy Industries", no início dos anos 70 [Hartley, 1992].

Em muitas empresas, à medida que a complexidade das etapas de processos aumenta, a probabilidade de se perder as características necessárias para ir de encontro com as expectativas dos clientes, a adição de valores e o controle de custos, aumenta significativamente. Lançando em gráfico, o número de processos

versus a probabilidade de ocorrência de problemas de qualidade no final dos processos, observa-se que o crescimento da ineficiência cresce de forma não linear, como descrito na figura 2.10.

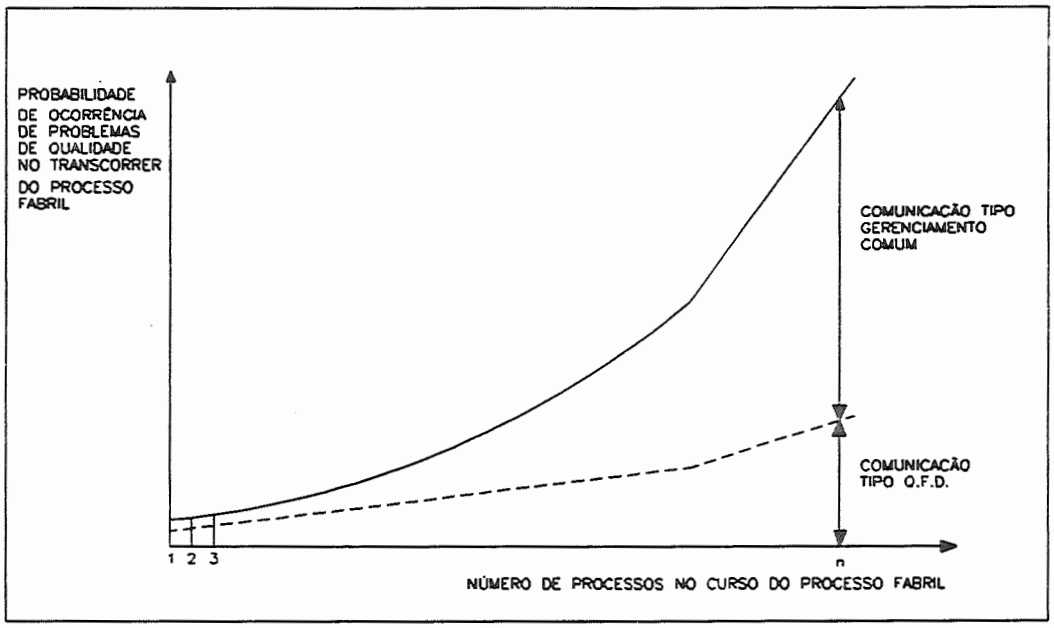


Figura 2.10 - Probabilidade de ocorrência de problemas de qualidade em função da complexidade de etapas de processos numa dada organização [Conti, 1989].

Conforme a corrente de processos aumenta, há um rápido aumento de desalinhamento devido a problemas de coordenação e de comunicação. Portanto, as áreas de comunicação, organização e de gerenciamento de uma organização devem ser as mais visadas do ponto de vista da qualidade do que as áreas técnicas.

QFD é a técnica mais completa e a metodologia mais convincente para planejar os objetivos de um curso de processos e alinhá-los com os requisitos do cliente ao longo do processo produtivo. A integração do QFD com o gerenciamento do processo fornece uma ferramenta ideal para a integração/planejamento e para o gerenciamento do processo [Conti, 1989].

QFD assegura que o produto proporcione a satisfação das necessidades do cliente quando este atingir o estágio de produção, iniciando no estágio de conceituação do projeto. Resulta também num processo sendo especificado mais cedo do que o normalmente ocorrido nos projetos convencionais. À voz do cliente é dada a devida importância. O termo "querer" do cliente se torna especificação de engenharia.

O QFD traz muitos benefícios para as empresas que desejam adotar e treinar a metodologia:

- Os objetivos do produto baseados nas necessidades do cliente não são mal interpretados nos estágios subsequentes;

- Estratégias de Marketing ou "Pontos de Venda" não se tornam perdidos durante o decorrer dos processos, desde Marketing até a operação;

- Os pontos de controle de produção importantes não são olhados superficialmente - as necessidades para atingir os resultados desejados são entendidas e concretizadas;

- Há um aumento de eficiência, pois os desentendimentos, más interpretações (de objetivos de programas, de estratégias de marketing, e de pontos de controles críticos) e necessidades de alterações são minimizadas.

O conceito do sistema QFD é baseado em quatro documentos chaves, ilustrados na figura 2.11, que traçam um fluxo de informações contínuo desde os requisitos do cliente até as instruções de operação de fábrica. Esses conceitos são:

a. Matriz de planejamento dos requisitos do cliente - também chamada de "Casa da Qualidade", onde se transcreve a voz do cliente em características de engenharia;

b. Matriz de desdobramento de componentes - desdobra as características de engenharia em características de componentes críticos;

c. Matriz de planejamento do processo e da qualidade - prepara um diagrama de planejamento do processo para cada característica crítica de componente;

d. Planejamento de produção - relação de instruções baseada nos parâmetros de processos críticos que identificam operações a serem executadas pelo pessoal de fábrica para assegurar que os parâmetros críticos sejam obtidos.

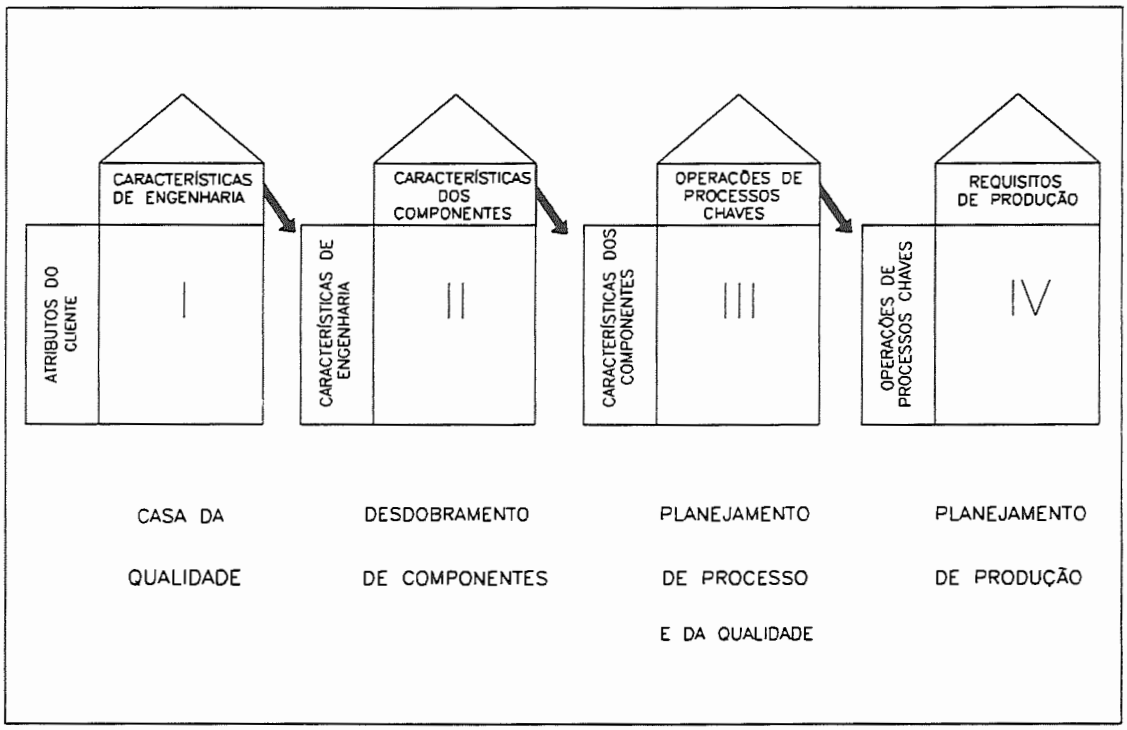


Figura 2.11 - Fluxo de informações desde os requisitos do cliente até as operações de manufatura, feito através das matrizes de desdobramento da qualidade [Hauser, 1988].

a. Matriz de Planejamento dos Requisitos do Cliente - essa matriz pode ser formada em oito etapas:

Etapa 1 - Consiste em relatar os requisitos do produto em termos de cliente. Os primeiros requisitos que são realmente o que o cliente quer, são normalmente expandidos em requisitos secundários e terciários, para se obter uma lista mais definitiva. Essas informações vêm normalmente de uma variedade de fontes, como pesquisas de mercado, desejos do departamento de vendas, opiniões de

clientes especiais etc. Essa etapa é considerada a mais crítica do processo e a mais difícil, porque é necessário obter e expressar o que o cliente realmente deseja, e não o que se pensa que ele deseja. Esses requisitos são dispostos na coluna "o quê" da matriz de planejamento, conforme mostrado na figura 2.12.

Etapa 2 - Esta etapa é uma lista de características do produto final que deve atender os requisitos relacionados na etapa 1. São as necessidades do cliente realmente traduzidas em requisitos de projeto, que deverão ser seletivamente desdobradas através do projeto, manufatura, montagem e serviços. Esses requisitos são dispostos na coluna "como" da matriz de planejamento, conforme mostrado na figura 2.12.

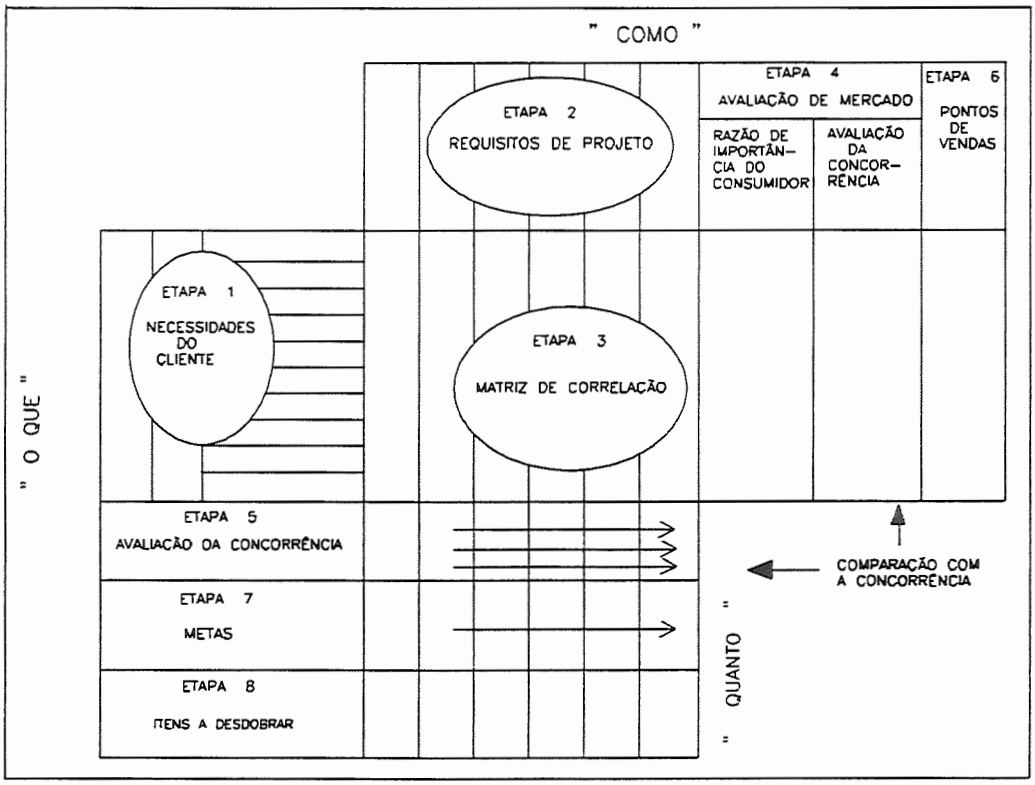


Figura 2.12 - Disposição geral de uma matriz de planejamento do produto [Sullivan, 1986].

Etapa 3 - Desenvolver uma matriz de correlação entre as necessidades do cliente e os requisitos de projeto. Devido a existência de vários graus de relação entre os dois itens, se usa um conjunto de símbolos para identificar o peso das relações. A

vantagem de se preencher essa matriz de correlacão utilizando símbolos, é que rapidamente se indica se os requisitos de projeto cobrem adequadamente as necessidades e expectativas do cliente [Sullivan, 1986]. Outro sistema de relação que se pode fazer é a matriz de correlação triangular (telhado) que se localiza acima e paralelamente ao eixo do "como". Essa matriz descreve a correlação entre cada item de requisito de projeto através de um símbolo para identificar o peso das correlações, como exemplificado na figura 2.13 [Eureka, 1988].

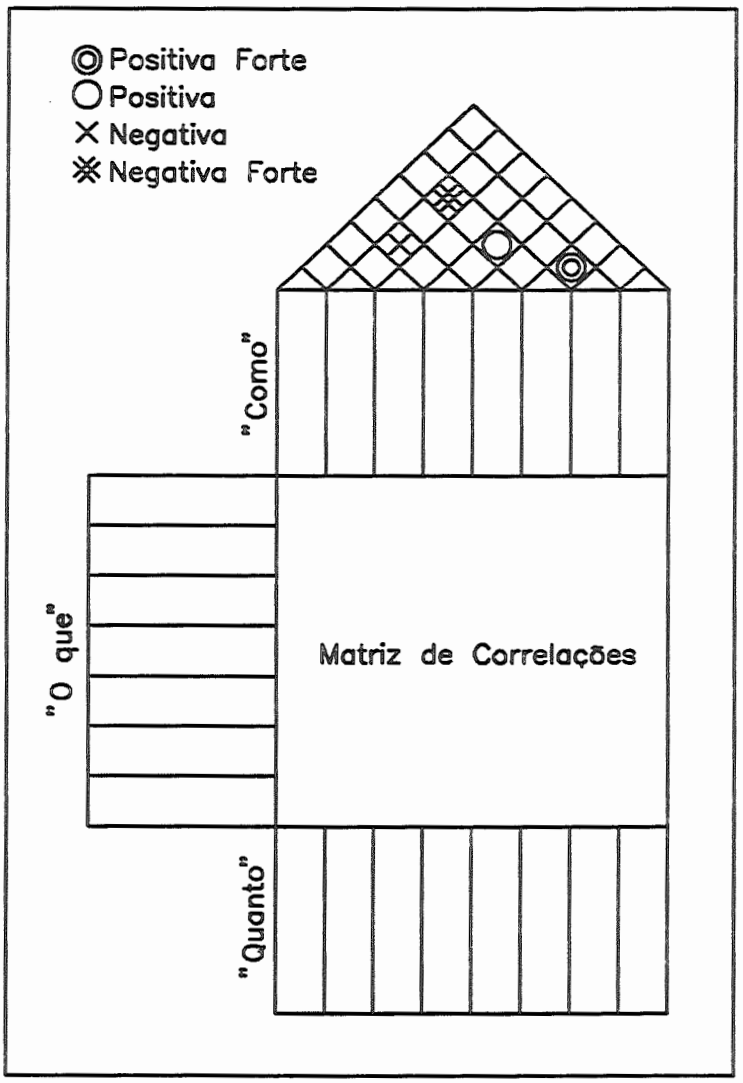


Figura 2.13 - Esquema de uma matriz mostrando as correlações [Eureka, 1988].

Etapa 4 - Adicionar a avaliação de mercado, comparando com a concorrência. Os dados de avaliação competitiva mostram como o produto é visto pelo consumidor e a relação com a concorrência para uma determinada necessidade do cliente. Em resumo, esclarecem os pontos fortes e fracos dos produtos no mercado e as áreas que necessitam de melhorias. A informação é oriunda de avaliações, retroalimentação do mercado, vendas e empresas de serviços. Os dados de avaliação de concorrência incluem tanto o produto em questão como o do maior concorrente. Esses dados são lançados na coluna vertical à direita ("comparação com a concorrência"), conforme indicado na figura 2.12.

Etapa 5 - Fornecer dados de avaliações competitivas dos requisitos de projetos obtidos normalmente de testes e avaliações conduzidos dentro da própria empresa. Essas informações cobrem os produtos em estudo e os dos concorrentes. Esses dados são também importantes para avaliar os julgamentos feitos até então. Geralmente esses dados são lançados na região horizontal inferior da matriz de planejamento ("comparação com a concorrência"), conforme indicado na figura 2.12.

Etapa 6 - Consiste no fornecimento dos pontos de vendas chaves para o produto. Esses pontos de vendas são características que devem ser realçadas para um determinado segmento de mercado. Baseado nos resultados dessa comparação, são estabelecidas as estratégias de promoções, de vendas e de mercado do produto. Normalmente esses dados são lançados na coluna vertical à direita da matriz.

Etapa 7 - Esta etapa estabelece metas para cada item dos requisitos de projeto. Essas metas são estabelecidas em conjunto com os pontos de vendas, com a relação de importância dos requisitos do consumidor e os pontos fortes e fracos do produto. As metas devem ser estabelecidas de maneira mensurável. Esses dados são lançados normalmente na parte inferior da matriz de planejamento, conforme indica a figura 2.12.

Etapa 8 - Selecionar os itens de requisitos de projeto que devem ser desdobrados na matriz de desdobramento de componentes. Essa seleção é baseada na importância para o cliente, nos pontos de vendas, avaliações competitivas e na dificuldade de atingir as metas.

O processo de desdobramento se processa pela passagem dos itens "como" de um estágio para "o quê " do próximo, conforme indicado na figura 2.13.

b. Matriz de Desdobramento de Componentes.

Nesta fase, os requisitos de projetos críticos determinados pela matriz anterior são relacionados com as características do componente, para se identificar as características dos componentes que sejam críticos para a execução dos requisitos de projeto. Essas características de componentes críticos são destacadas na matriz de desdobramento, que por sua vez ajudará na identificação das operações críticas de fabricação.

c. Matriz de Planejamento de Processo.

Representa a transição do desenvolvimento do produto para a fase de produção. Há uma poderosa distinção feita nesta fase de desdobramento. Se um parâmetro do componente crítico é criado ou afetado diretamente num dado passo de um processo, esse parâmetro é identificado como um ponto de controle. Esses pontos estabelecem os dados e a estratégia para o plano de controle da qualidade do produto e são fundamentais para estabelecer as características do produto que encontrarão as características de alta prioridade do cliente. Se for necessário monitorar os parâmetros críticos de processo para assegurar que os parâmetros dos componentes sejam obtidos, esses parâmetros são designados como pontos de verificação e se tornam a base para as instruções e para a estratégia de controle do processo.

São então fornecidos os meios para se controlar as peças e montagens chaves e para monitorar os pontos de processos importantes. O realce desses pontos é fundamental se se deseja assegurar que as características dos componentes acabados atinjam os requisitos do cliente.

d. Matriz de Planejamento da Produção:

Nesta fase são transferidas as informações geradas nas fases antecedentes para o chão de fábrica. Basicamente definem-se os requisitos do operador determinados pelos requisitos da matriz de planejamento do processo, podendo ser tanto requisitos de processos como de controle também [Sullivan, 1986].

Para se implantar o QFD na empresa, primeiramente se deve ter o total apoio da alta administração. Deve ser integrado nas operações do dia-a-dia, pois ao contrário, será considerado uma operação consumidora de tempo a mais. O retorno não é rápido e exige paciência tanto dos membros da equipe de trabalho como da alta administração [Eureka, 1988]. É visto que o QFD é um item essencial no ambiente de ES. É um ponto de partida que irá assegurar que o projeto seja especificado adequadamente e que essas especificações sejam obtidas na produção [Hartley, 1992].

2.6.2 DFMA (Design For Manufacturing and Assembly) - Projeto para Manufatura e montagem.

Durante anos, uma grande quantidade de energia tem sido gasta para melhorar os processos de manufatura e de montagem. Durante os anos 70 e 80, a atenção maior estava na automação de fábricas, tendo sido feitos grandes investimentos no desenvolvimento e implementação de sistemas de automação e qualidade de processos de manufatura e montagem com vistas a reduzir o conteúdo de mão de obra. Os projetos tenderam a ser dirigidos pela tecnologia [Fokinther, 1990].

Quando não há limites determinados pela manufatura, o projeto é dito projeto dirigido pelo produto (tecnologia), enquanto que, se novas técnicas de manufatura são consideradas durante a fase de projeto, então o projeto é denominado de projeto dirigido para o processo.

Em muitos casos, a estrutura do produto é considerada inalterada, e novas técnicas em robótica, controle por computador e manuseios automatizados para montagem são instaladas para melhorar a performance da manufatura e

montagem. Entretanto, os produtos projetados para a manufatura oferecem um potencial de economia tremendo pela abertura do caminho para a simplificação de produtos, e conseqüentemente do sistema de manufatura relacionado.

A experiência de DFMA mostra que com uma modesta injeção de recursos na fase de desenvolvimento é possível reduzir o tempo de desenvolvimento, os custos de produção e os investimentos em equipamentos de uma forma considerável [Ahm, 1990].

O DFMA é uma ferramenta de análise estruturada utilizada para simplificar um projeto, diminuir os custos de montagem, melhorar a qualidade e a confiabilidade do produto e para diminuir o tempo de operação necessário para trazer um novo produto ao mercado. Se torna efetivo quando utilizado no ambiente de ES [Otis, 1992].

No ambiente de engenharia convencional, DFMA se torna mais uma desculpa para aumentar o atrito entre a engenharia do produto e a engenharia de manufatura. Uma vez adotado times multifuncionais, a implementação do DFMA ocorre naturalmente. Todo o time é envolvido no projeto, de modo que técnicas de produção simplificada podem ser consideradas durante o desenvolvimento do produto. Desde que o time esteja envolvido em todos os estágios do projeto, as sugestões para mudanças ocorrem antes que seja tarde demais. A presença de especialista em compras, por exemplo, ocasiona o aceleramento do estudo de "comprar X fabricar", pois os custos dos materiais e possíveis fornecedores são definidos mais cedo [Hartley, 1992].

Existem vários imperativos para que se possa implantar um DFMA efetivo.

O projeto do produto é apenas uma das muitas atividades complexas que formam o sistema de manufatura. Desde o início de uma idéia para um novo produto até o último passo que é a sua retirada de fabricação ou de uso, é assimilado todo o conhecimento do produto, tanto o conhecimento dos componentes desse produto, como das atividades do sistema de manufatura. Essa interdependência entre tempo, conhecimento do produto e o sistema de manufatura em que o produto é concebido, projetado, produzido e eventualmente trazido ao mercado para ser

vendido e mantido, torna imperativo que haja comunicação efetiva dentro do sistema de manufatura e que haja flexibilidade para adaptar e modificar o projeto durante cada estágio do produto quando novas tecnologias tornarem-se disponíveis. Esses imperativos, que são essenciais para um bom projeto na era moderna, podem ser formalizados como os seguintes princípios de projeto:

a. Princípio do mínimo comprometimento - Permite máxima flexibilidade em cada passo do projeto e assegura que as melhores alternativas possam ser implementadas se se tornarem disponíveis, e quando necessário, facilitar as alterações de engenharia. Planejar para alterações através da flexibilidade do projeto do produto e/ou do processo bem como projetar prevendo opções para alterações futuras, são extensões naturais desse princípio.

b. Otimização contínua de produto e processo - A introdução de pequenas melhorias frequentemente baseada nas reações dos clientes ou melhorias de manufatura é de menor risco do que em grandes alterações baseadas em prognóstico de pesquisa de mercado ou na necessidade de corte em custos de manufatura. Para ser prática, a otimização contínua de produto e de processo deve ser processada juntamente com a ES e o princípio do último comprometimento.

Há uma variedade de metodologias e ferramentas que auxiliam o projetista ou o time a atingir os objetivos do DFMA e tomar melhores decisões de projeto. A figura 2.14 nos mostra uma lista de ferramentas e onde, logicamente, se ajustam no processo do DFMA. O detalhamento de cada um dos itens da figura é feito a seguir.

a. Axiomas de projeto - Estudos mostram que um bom projeto incorpora dois conceitos básicos. O primeiro é que cada requisito funcional de um produto deve ser satisfeito independentemente por algum aspecto, característica ou componente dentro do projeto. O segundo conceito básico é que bons projetos maximizam a simplicidade; em outras palavras, eles fornecem as funções necessárias com um mínimo de complexidade.

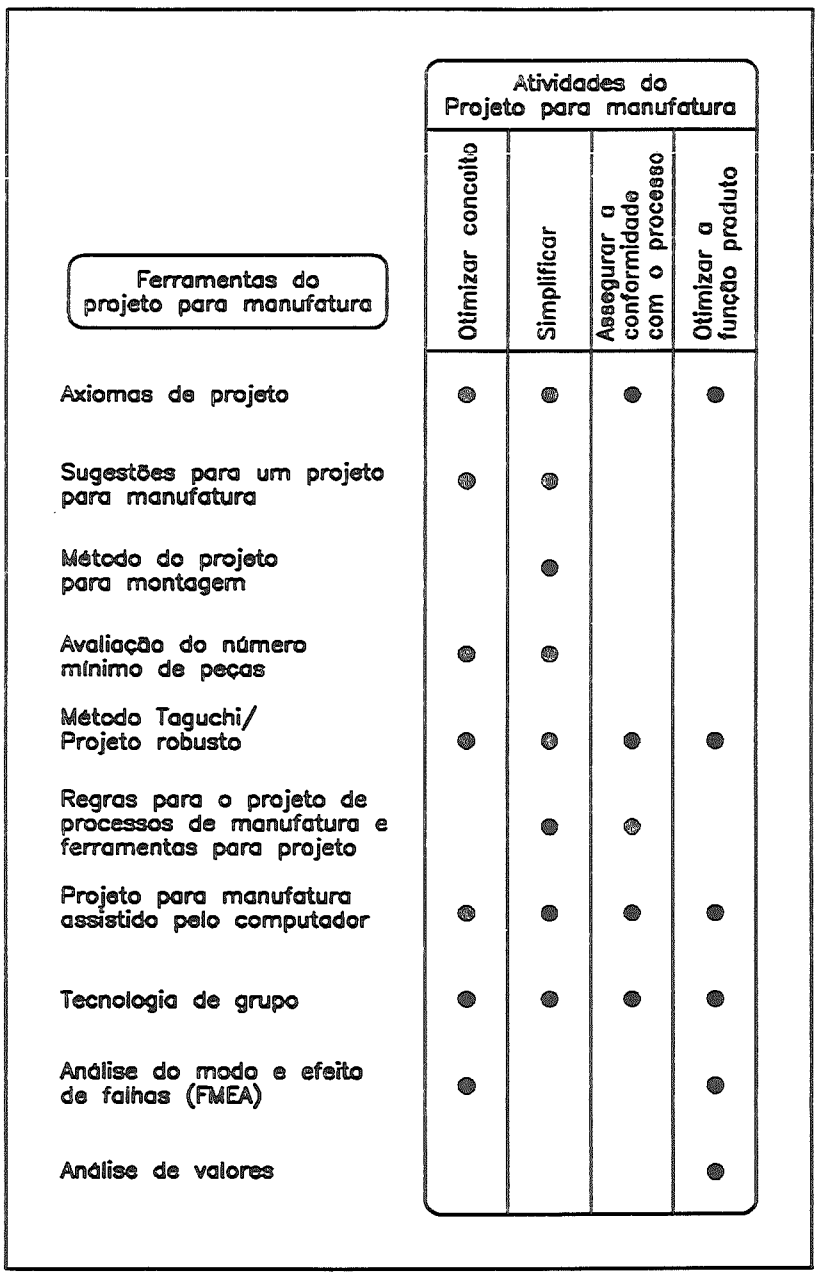


Figura 2.14 - Ferramentas do Projeto para Manufatura [Manufacture Management Handbook, 1991].

b. Orientações ou Sugestões Para um Projeto Para Manufatura

As orientações ou sugestões a serem seguidas para um projeto para manufatura são relações codificadas e sistemáticas de uma boa prática de

projeto desenvolvidas em anos de experiências de projeto e de manufatura. Se seguidas corretamente, devem resultar num produto inerentemente mais fácil para manufatura. As orientações são:

1. Projetar para um número mínimo de peças;
2. Desenvolver um projeto modular;
3. Minimizar variedades de peças;
4. Projetar peças multifuncionais;
5. Projetar peças para multiuso;
6. Projetar peças de fácil fabricação;
7. Evitar fixações separadas;
8. Minimizar direções de montagem;
9. Projetar para facilidade de montagem;
10. Minimizar manuseio;
11. Avaliar métodos de montagem;
12. Eliminar ou simplificar ajustes;
13. Evitar componentes flexíveis.

A aplicação dessas orientações é apenas um caminho e não substitui o talento, inovação e experiência da equipe de desenvolvimento. Devem ser aplicadas de maneira que mantenham a performance do produto e os objetivos de marketing.

1. Minimizar o Número de Peças

A diminuição do número de componentes de um produto é positiva no intuito de eliminar custos e complexidade, conservar a continuidade estrutural da carga e diminuir o peso. Entretanto, pode-se tornar negativa no momento em que as peças resultantes adicionam custos e complexidade por serem de grande peso, de difícil manufaturabilidade etc [Manufacture Management Handbook, 1991].

Para a determinação do número mínimo teórico de peças, propõe-se a aplicação dos seguintes critérios:

- Uma determinada peça em análise deve ser separada, pois ela se movimenta em relação as outras peças já montadas?
- Uma determinada peça em análise deve ser feita de um material diferente ou ser isolada das outras peças já montadas?
- Uma determinada peça em análise deve ser separada de todas as outras peças já montadas, pois a montagem ou desmontagem se torna impossibilitada? [Boothroyd, 1983].
- Há outros passos de montagem que evitam que uma determinada peça possa ser combinada com outra peça? [Noaker, 1992].

Se a resposta for sim para qualquer um dos itens acima, então uma peça a mais fará parte do conjunto a ser montado; ou sobre um outro ponto de vista, não será possível eliminar uma peça do conjunto [Boothroyd, 1983].

2. Desenvolver um Projeto Modular

O Projeto para modularidade requer considerações cuidadosas de uma série de necessidades. Para desacoplar o produto do método de manufatura é importante que sejam identificados grupos estáveis e que as informações de interface sejam especificadas de modo que facilitem o desacoplamento desejado.

Outro enfoque importante é a análise dos problemas comuns dentro de diferentes modelos e linhas de produtos, e perguntar:

- Essa mesma solução funcionará em todo lugar?
- As necessidades dos clientes podem ser satisfeitas usando módulos adicionais?
- Como os futuros produtos serão diferentes do atual? Quais os pontos em comum que permanecerão?
- Que configuração modular simplificará o manuseio?
- etc.

3. Minimizar Variedades de Peças

Minimizar as variedades de peças também simplifica a manufatura pela redução de informações contidas no sistema de produção para fabricar a peça. O uso de elementos padrões também ajuda a reduzir variedades de peças. Eles podem ser comprados a qualquer hora e em qualquer quantidade e eles são fáceis de serem substituídos e encontrados.

4. Projetar Peças Multifuncionais

Combinar as funções sempre que possível. Por exemplo: projetar uma peça que possa agir como uma mola ou como um membro estrutural, ou agir como um condutor elétrico e um membro estrutural. Tais combinações de funções são freqüentemente o resultado de projeto para manufatura feito por equipes multifuncionais.

5. Projetar Peças para Multiuso

Muitas peças podem ser projetadas para vários usos. Por exemplo, a mesma engrenagem pode ser usada para diferentes aplicações em diferentes produtos.

Peças de multiusos diminuem informações do sistema de manufatura pela redução do número de diferentes peças ou variedades de peças a serem manufaturadas. Também geram economia pelo aumento do volume de produção de peças iguais. Peças de multiuso podem ser criadas utilizando o conceito de tecnologia de grupo.

6. Projetar Peças de Fácil Fabricação

Nesta etapa se deve levar em conta principalmente:

- Redução de material (também sobremetal);

- Reduzir ciclo de fabricação;
- Evitar processos secundários sempre que possível (tal como usinagem em acabamento, pintura);
- Prever a fabricação em um único posto de trabalho.

7. Evitar Fixações Separadas

Fixações separadas envolvem uma quantidade grande de informações. Em montagem manual é dito que o custo de aperto de um parafuso pode ser de 6 a 10 vezes mais caro que o próprio parafuso. Se a utilização de fixadores se fizer necessária, os custos como os riscos de qualidade podem ser significativamente reduzidos pela minimização do número, de tamanhos e de variações de tipos fixadores utilizados e pelo uso de elementos de fixação padronizados sempre que possível. Parafusos muito grandes ou muito pequenos, arruelas, furos cônicos e cabeças redondas ou chatas, devem ser evitados.

8. Minimizar Direções de Montagens

Todas as peças devem ser montadas em uma única direção. Direções extras significam perda de tempo e de movimentação, assim como de mais estações de transferências, estações de inspeção e de dispositivos.

9. Projetar para Facilidade de Montagem

O projeto deve prever o sistema de manuseio das peças tal como olhal para içamento, furo roscado para a montagem de olhais; enfim, dar condições para que a montagem possa ser efetuada sem dificuldade no tocante ao manuseio.

Outro aspecto é o das tolerâncias de fabricação, onde deve-se levar em consideração que as peças são fabricadas dentro de um campo de tolerância, e que essa tolerância quando somada com a tolerância das outras peças, não

prejudique o bom andamento da montagem e não interfira na qualidade final do produto.

Projetar com características que facilitem a montagem, inclui a utilização de chanfros e regiões cônicas para facilitar a inserção, a utilização de meios de guia e raios. A figura 2.15 ilustra essas observações.

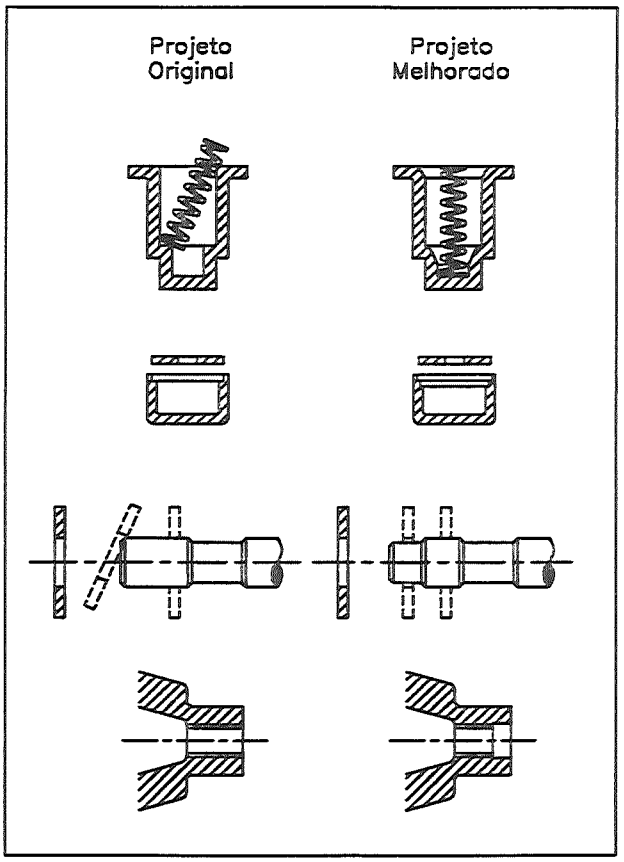


Figura 2.15 - Alterações no projeto que facilitam a montagem dos componentes.

Um bom projeto base deve incluir detalhes que facilitem a montagem, não prejudiquem a fabricação e não necessariamente tenham contribuição funcional para o produto.

10. Minimizar Manuseios

As peças devem ser projetadas para que se encontre facilmente sua referência de fabricação, e o processo de fabricação deve manter essa referência, uma vez encontrada.

O número de orientações necessárias durante a fase de fabricação está relacionado com maior risco de perda de qualidade, menor velocidade de alimentação, ciclos mais lentos e aumento de custo de equipamentos. Para melhorar a orientação, as peças devem ser projetadas tão simétricas quanto possível. Quando existir assimetria, esta deve ser acentuada. A figura 2.16 ilustra essa situação.

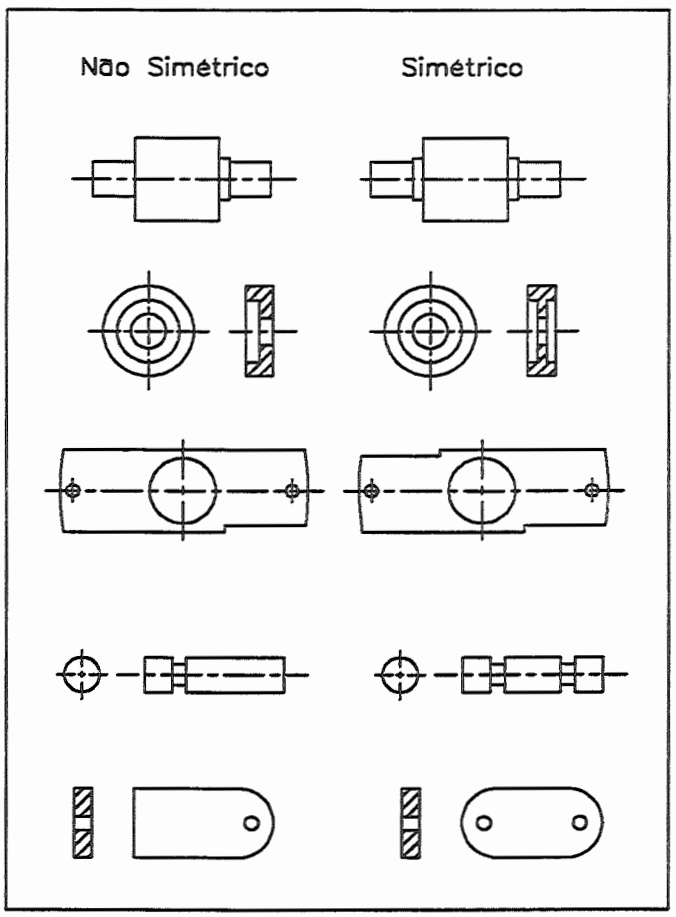


Figura 2.16 - Peças projetadas simetricamente para facilitar referências

O manuseio de peças por robô pode ser facilitado, gerando uma superfície de topo lisa, plana e grande o suficiente para ser capturado por ventosas a vácuo; um furo interno para servir de encaixe, uma superfície cilíndrica ou outra forma com condições suficientes para ser segurada.

11. Eliminar ou Simplificar Ajustes

Ajustes mecânicos automatizados ou manuais são caros e são fontes contínuas de problemas de montagem, de qualidade, teste e manutenção. Também quando um equipamento se desajusta durante a operação é uma das maiores causas de insatisfação do cliente.

A necessidade de ajustes pode ser evitada utilizando pontos naturais de "stop", chanfros etc.

Entendendo a natureza da dificuldade causada por um ajuste particular, a equipe multifuncional pode encontrar um meio inovativo para reduzir ou eliminar a necessidade desse ajuste.

12. Evitar Componentes Flexíveis

Cabos elétricos e outros componentes flexíveis são de difícil montagem, devido a dificuldade de manuseio causado pela sua flexibilidade.

Conectores ou plugs podem ser usados para eliminar emendas de cabos ; e também o uso de " boards " de circuito no lugar de cabos deve ser considerado.

A redução no uso de componentes flexíveis pode também reduzir a quantidade de informações em outros meios, por exemplo, a redução no número de cabos elétricos reduzirá erros de montagem de fiação, e conseqüentemente reduzirá problemas de testes de montagem.

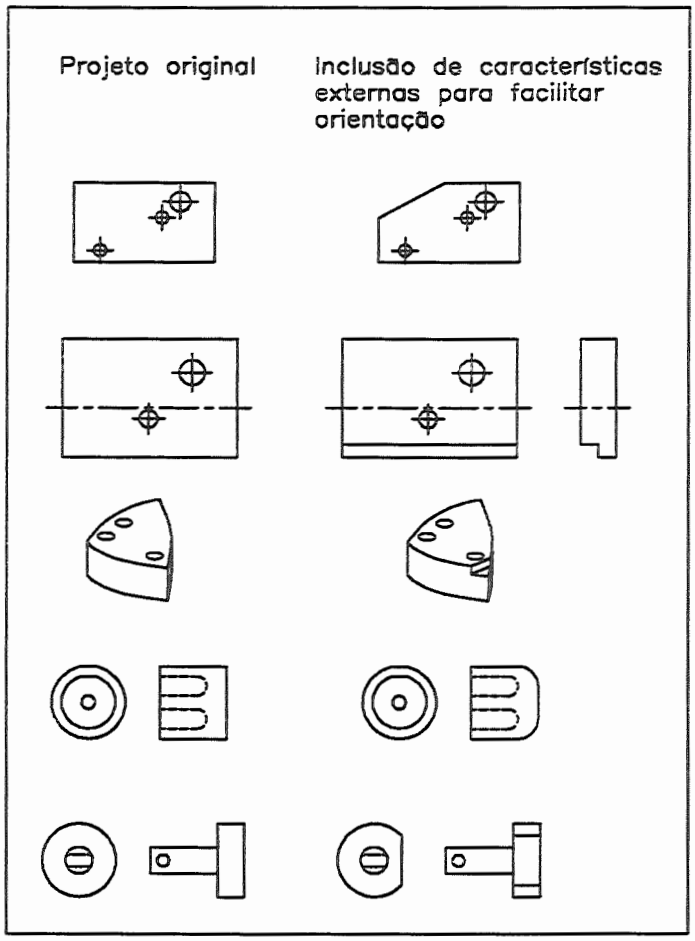


Figura 2.17 - A inclusão de características externas, tal como chanfros, ranhuras, raios, para facilitar a referência

c. Método do Projeto para a Montagem

O projeto de conjuntos a serem montados e o processo de montagem é como o problema do ovo e da galinha. O processo de produção não pode ser bem definido até que o conjunto seja projetado, porém o conjunto não pode ser bem projetado até que o processo seja definido. A diferença entre um processo de montagem econômico e um não econômico se encontra inteiramente nas mãos da equipe de projeto [Dewhurst, 1984].

A razão pela qual a seleção do processo de montagem deve ser feita no início do projeto é que o processo de montagem manual difere largamente do processo de montagem automatizado; e também nos requisitos que o processo impõe no projeto do produto. Uma operação que é fácil para uma pessoa fazer pode ser impossível para um robô ou para um cabeçote especial dedicado, e uma operação que é fácil para máquinas pode ser muito difícil para pessoas.

Uma metodologia para o projeto para a montagem foi desenvolvida por G. Boothroyd e P. Dewhurst, da Universidade de Massachusetts. Baseada em estudos de tempos e métodos, ela visa uma redução de custos de montagem dentro dos requisitos de projetos. Cada componente é avaliado numa escala de zero a nove, levando em conta a facilidade com que é seguro e orientado e sua espessura e tamanho. Os tempos padrões são determinados desses valores, permitindo que o tempo total seja calculado para a montagem. O próximo passo é o de simplificar a montagem pela diminuição do número de peças. Em resumo, o método visa primeiramente a redução do número de peças e então assegurar que as peças restantes sejam de fácil montagem.

O processo de montagem mais econômico pode ser bem estimado sem o conhecimento do detalhamento do projeto. Essencialmente, o que se deve conhecer é: a vida de mercado do produto, o número de peças, o volume de produção projetado e a política de investimento da empresa.

Basicamente os três processos básicos de montagem que devem ser analisados são:

- Processo de montagem manual - Neste processo, as ferramentas necessárias são geralmente mais simples e menos caras do que para as utilizadas no processo de montagem automatizado. O tempo perdido causado por peças defeituosas é normalmente desprezível. O custo é basicamente constante, independente do volume de produção. É um processo consideravelmente flexível e adaptável.

- Máquinas de montagem dedicadas - São máquinas que foram projetadas para montar um produto específico. Consistem de dispositivos com cabeçotes

dedicados e alimentadores de peças para várias estações de trabalho. Essas máquinas são geralmente caras, e necessitam de um desenvolvimento de engenharia considerável antes de serem colocadas em serviço. O custo causado por uma peça defeituosa é considerado sério. Essas máquinas trabalham em um ciclo fixo, com uma taxa de produção fixa. Não são flexíveis, não podendo ser utilizadas para outra finalidade.

- Máquinas de montagem programáveis - São similares às máquinas de montagem dedicadas, exceto que seus cabeçotes são programáveis, podendo ser utilizados para múltiplas finalidades. Fornecem considerável flexibilidade em volume de produção e grande adaptabilidade para mudanças de projetos e diferentes estilos de produtos. Pode-se preferir montagem através de robôs para baixos volumes de produção.

Os métodos que auxiliam na seleção do processo mais econômico de montagem (disponíveis em software também), normalmente levam em conta [Dewhurst, 1983]:

1. Volume de produção por turno de trabalho;
2. Número de peças numa montagem;
3. Único produto versus variedade de produtos;
4. Número de peças necessárias para diferentes estilos do produto;
5. Número de alterações de projeto esperado durante a vida do produto;
6. Política da empresa em investimentos em máquinas automáticas [Dewhurst, 1983].

Existem também "softwares" que ajudam a listar todas as possíveis seqüências de montagem.

Um balanço de muitas considerações deve ser levado em conta durante a fase de projeto, dentre elas:

- Necessidades construtivas;
- Acessos para elementos de fixação e/ou pontos de lubrificação;
- Facilidade de montagem;

- Parâmetros de controle de qualidade, como a facilidade do operador para executar testes importantes ou facilidade em substituir uma peça com problema;
- Razões processuais, como habilidade em segurar peças de precisão em montagens automáticas;
- Vantagens estratégicas de produção, como fazer submontagens e armazenar subconjuntos que servirão para muitos modelos, ou que permitam montagem de peças comuns disponíveis [Whitney, 1988].

d. Avaliação do Número Mínimo de Peças

A base para a avaliação do número mínimo de peças é definido pela razão:

$$\text{Razão do número de peças} = \frac{\text{Número mínimo teórico de peças}}{\text{Número atual de peças}}$$

O procedimento para se determinar o número mínimo teórico de peças pode ser desenvolvido como (baseado em questões de Boothurst-Dewhurst):

1. Obter a melhor informação sobre o produto ou a montagem. Como referência, pode-se ter:
   - Desenhos de engenharia;
   - Vistas tridimensionais explodidas;
   - Uma versão existente do produto;
   - Um protótipo.

2. Desmontagem do conjunto (ou imagine como pode ser feito). Se a montagem contém subconjuntos, tratá-los como peças primeiramente e então analisá-las como montagens posteriormente.

3. Iniciar a remontagem do conjunto no processo inverso utilizado para desmontagem. Como cada peça colocada é montada e indiferente de limitações práticas e funcionais, responder as seguintes perguntas:
   - A peça se move em relação a outras peças?
   - A peça pode ser feita de material diferente?

- A peça precisa ser feita separada por razões de manufatura ou reparo?

4. Se a resposta para algumas das perguntas for sim, então a peça em consideração deve ser uma peça separada e não pode ser eliminada. Se a resposta para as três questões for não, então a peça é uma candidata a ser eliminada.

5. O número teórico mínimo de peças para o produto é igual ao número de peças que deve ser separada oriundo das respostas sim do questionário acima.

e. Método Taguchi

Pela importância e pela extensão de como essa metodologia vem sendo aplicada, esse método é discutido neste mesmo capítulo, como uma ferramenta utilizada na ES.

f. Regras para o Projeto de Processos de Manufatura e Ferramentas para o Projeto

O projeto dirigido ao processo visa assegurar que peças e produtos sejam corretamente projetadas para serem produzidas usando um método ou processo específico. Os requisitos de projeto para um determinado processo são freqüentemente expressos na forma de regras e guias de projetos. Tipicamente esses guias são altamente especializados para uma indústria em particular, para implementação de um processo particular, uma fábrica particular ou instalação de um equipamento específico dentro de uma fábrica específica. Fazer com que essas informações de processos estejam nas mãos da equipe de projeto no início dos trabalhos é a chave de sucesso do projeto para a manufatura.

Ferramentas de projetos que ajudam assegurar a conformidade entre produto/processo e capacitem para que o projeto seja dirigido para o processo podem realmente ser classificadas como um processo específico ou uma facilidade específica.

Normalmente essas ferramentas facilitam a aplicação sistemática de conhecimento de processos especializados na forma de guias e regras para se fabricar as peças utilizando um método ou processo particular de manufatura.

Essa área de projeto para a manufatura reconhece que as variáveis de manufatura tais como: custo e vida de matrizes, custo e tempo de se construir ferramentas e dispositivos, configuração e complexidade de fluxos de materiais, capabilidade de processos e número de estações e de trabalhadores necessários, sejam freqüentemente estabelecidas, pois são fortemente influenciadas pelo detalhamento do projeto das partes a serem fabricadas. Sabe-se também que a interação entre o projeto do produto e os processos de manufatura é fundamental quando se inicia a desenhar as primeiras linhas do projeto, e que nessa etapa, o que ocorre normalmente, é que a atenção do projetista está voltada mais para a função do produto do que para os detalhes de fabricação.

O desenvolvimento dessas ferramentas para o projeto visam facilitar a elaboração correta de produtos a serem fabricados, utilizando facilidades de manufatura específicas ou únicas. Essas ferramentas fornecem padrões para os projetos, modelos e exemplos físicos, e outras informações específicas sobre a facilidade de manufatura, numa forma prática e fácil de serem utilizadas durante a elaboração do projeto.

g. Projeto para Manufatura Assistido pelo Computador

O projeto para a manufatura assistido pelo computador (CAD) ajuda a simplificar os esforços e a diminuir o tempo necessário para implementar o DFM como rotina diária de trabalho. Ele permite que o time de projeto analise as alternativas de processo/produto facilmente e rapidamente. Ajuda grandemente a identificação das soluções mais desejadas durante os primeiros estágios do projeto. Quando implementado e aplicado corretamente, o projeto para a manufatura assistido pelo computador tem o potencial de melhorar a qualidade nas decisões iniciais relacionadas ao projeto/processo, habilitando assim o time de projeto a projetar com mais efetividade quanto ao prazo, custo e qualidade.

h. Tecnologia de Grupo

Como ferramenta do projeto para a manufatura, a tecnologia de grupo pode ser utilizada numa variedade de formas para dar uma maior eficiência no projeto, maior performance do produto e melhorias na qualidade. Um outro aspecto muito significativo que o uso da tecnologia de grupo proporciona é a redução no tempo e no esforço de projeto.

O agrupamento de peças semelhantes em famílias de peças é a chave para a implantação da Tecnologia de Grupo. O conceito de família de peças não fornece apenas as informações necessárias para projetar peças individualmente, numa maneira modular ou incremental, mas também fornece informações para a racionalização do planejamento do processo e para a formação de grupos ou células de máquinas que processe a família de peças designada [Manufacture Management Handbook, 1991].

i. Análise de Modo e Efeito de Falhas - FMEA

Este método é analisado mais adiante neste mesmo capítulo como ferramenta utilizada na ES.

j. Análise de Valores

A análise de valores fornece uma sistemática muito útil para avaliar alternativas de projeto, podendo até apontar direções para idéias e inovações em projetos. Utiliza de uma equipe multifuncional para analisar as funções fornecidas pelo produto e o custo de cada função. Baseado nos resultados da análise, pode-se eliminar características e funções desnecessárias e encontrar novas opções de custo mais baixo possível, e em conseqüência, otimizar a manufatura, qualidade e prazos.

Na análise de valores, o valor é definido como uma relação numérica de função ou performance para o custo. Devido o custo ser uma medida de esforço, o valor de um produto utilizando esta definição pode ser visto como a simples relação

entre a saída (função ou performance) e a entrada (custos). Num projeto de um produto complicado, cada componente constituinte desse produto contribui tanto para o custo como para a performace como um todo. A relação de performance para o custo de cada componente indica o valor relativo de componentes individuais. O objetivo básico da análise de valores é obter a máxima performace por unidade de custo.

Um número de diferentes metodologias e ferramentas de DFMA são eficientes se aplicadas corretamente, podendo produzir melhoramentos significativos na qualidade e performance do produto, na produtividade do sistema de manufatura e no custo do produto [Manufacture Management Handbook,1991].

2.6.3 FMEA (Failure Mode Effect Analysis) - Análise do Modo e Efeito de Falhas.

É uma técnica que fornece uma maneira metódica para análise de um projeto proposto quanto a possíveis modos em que uma falha pode ocorrer. Na análise do modo de falha e efeito de falhas, as falhas em potencial são primeiro identificadas em termos de modos de falha. Para cada modo estuda-se então o efeito no sistema total. Finalmente, se faz uma análise da ação que está sendo tomada (ou planejada) a fim de se minimizar a probabilidade de falha ou seu efeito [Juran, 1988].

O método geral consiste em considerar as modalidades de falhas para cada componente do sistema e descrever a repercusão dos seus efeitos no mesmo. As informações são tabuladas de forma a incluir a descrição dos componentes, descrição do modo de falha, causa da falha, seu efeito sobre o sistema e uma classificação da criticidade para cada modalidade de falha.

É uma técnica indutiva. Procede de uma falha hipotética de um componente para o efeito resultante sobre o sistema. A FMEA não é útil para identificar combinações de eventos que levem a falhas do sistema. Na análise por FMEA é dado uma certa ênfase à identificação dos problemas que resultem de falhas de "hardware".

A modalidade de falha é uma descrição de como o equipamento falha (aberto, fechado, ligado, desligado, com vazamentos, etc.). O efeito da modalidade de falha é uma resposta do sistema ou o resultado do acidente, a partir da falha do equipamento. A FMEA identifica simples modalidades de falha que resultem diretamente ou contribuam significativamente para um acidente importante.

O erro humano do operador não é examinado na FMEA; entretanto, os efeitos de uma modificação são geralmente descritos através de uma modalidade de falha de um equipamento.

O FMEA pode ser executado por dois analistas ou por um grupo multidisciplinar de profissionais.

Essa técnica pode ser também bem aplicada para o projeto e processo de um produto. A técnica é usada por engenheiros para assegurar que os modos de falhas potenciais e suas causas associadas tenham sido consideradas e solucionadas.

A FMEA suporta o processo de projeto na redução de riscos de falhas por:

- Assistir na avaliação de requisitos e de alternativas de projetos;
- Aumentar a probabilidade de que modos de falha e seus efeitos sobre a operação do sistema tenham sido considerados no processo de desenvolvimento/processo;
- Fornecer informação adicional para ajudar no planejamento de um projeto completo e eficiente, testes e programas de desenvolvimento;
- Desenvolver uma lista de modos de falhas potenciais classificados de acordo com seus efeitos aos clientes, e então estabelecer um sistema de prioridades para melhorias no projeto;
- Fornecer um programa para recomendação e rastreamento de ações de redução de riscos.

O processo FMEA identifica os modos de falha de processo potenciais relacionados ao produto e relaciona o efeito dessas falhas em potencial ao cliente. Identifica as causas potenciais de falhas de processos de manufatura e

montagem, e identifica as variáveis significativas de processos para direcionar esforços de controle para reduzir ou detectar condições dessas falhas.

O resultado dessa análise é uma lista de modos de falha em potencial classificadas de acordo com os efeitos ao cliente, e então estabelecer um sistema para ações corretivas [Boller, 1990]

A figura 2.18 mostra uma parte de uma FMEA para um irrigador móvel. Cada componente é enumerado numa linha separada . Observe que o modo de falha é o sintoma da falha, distinto de sua causa que consiste nas razões confirmadas para a existência dos sintomas.

1=Muito baixa (<1 em 1000) 2=Baixa (3 em 1000) 3=Média (5 em 1000) 4=Alta (7 em 1000) 5=Muito Alta (>9 em 1000)	T = Tipo de Falha P = Probabilidade de ocorrência S = Gravidade da falha para o sistema H = Falha hidráulica M = Falha mecânica W = Falha de desgaste C = Emprego abusivo pelo Cliente	Produto: *HRC_!* --- Data: *14 de janeiro de 1987* --- Por: *S.M.* ---

Número do componente	Falha possível	Causa de Falha	T	P	S	Efeito de falha no produto	Alternativas
Suporte de parafuso sem fim	Desgaste do mancal	Não alinhado com o invólucro de base	M	1	4	Oscilação ou diminuição da marcha do bico do pulverizador	Melhorar a inspeção
Zytel		Oscilação excessiva do bico do pulverizador	M	1	4	Idem	Melhorar o mancal do parafuso sem fim
Haste do mancal 4225	desgaste excessivo	Combinação insatisfatória de mancal/ material	M	5	4	O bico do pulverizador oscila e perde a força	Mudar o material da haste
Chumaceira		Água suja na área do mancal	M	5	4	Idem	Melhorar a área de vedação do parafuso sem fim
		Oscilação excessiva do bico do pulverizador	M	2	3	Idem	Aperfeiçoar as instruções operacionais

Arruela de encosto	Desgaste excessivo	Alta pressão da água	M	2	5	O bico do pulverizador enguiça	Informar o cliente sobre as instruções
Fulton 404		Água suja nas arruelas	M	5	5	Idem	Aperfeiçoar o projeto de vedação do parafuso sem fim
Parafuso sem fim	desgaste excessivo na área do mancal	Combinação insatisfatória de mancal/ material	M	5	4	O bico do pulverizador bamboleia e perde a força	Mudar o material da haste do mancal
Chumaceira		Água suja na área do mancal	M	5	4	Idem	Aperfeiçoar o projeto de vedação do parafuso sem fim
		Oscilação excessiva do bico do pulverizador	M	2	3	Idem	Aperfeiçoar as instruções operacionais

Figura 2.18 - Análise do modo, efeito e criticidade das falhas [Juran, 1988]

O valor dessa análise é difícil de entender, pois parece duplicar o modo de pensar normalmente utilizado por qualquer projetista, não revelando nada de novo. Algumas vezes pode ser o caso, porém para produtos de uma complexidade moderada, ou onde a função de projeto é dividida em partes para diferentes equipes responsáveis pelo produto, essa técnica merece grandes considerações. Essa situação só pode ser avaliada tentando aplicar a técnica em um projeto da própria organização [Juran, 1978].

2.6.4 DELINEAMENTO DE EXPERIMENTOS E A METODOLOGIA TAGUCHI

O delineamento de experimentos é um teste ou uma série de testes em que mudanças propositais são feitas nas variáveis de entrada de um processo e onde podemos identificar as correspondentes mudanças como respostas de saída.

O delineamento de experimentos é uma crítica e importante ferramenta de engenharia para melhorar o processo de manufatura. Tem uma aplicação extensiva no desenvolvimento de novos produtos e processos. A aplicação nas fases iniciais de desenvolvimento pode resultar em :

- Produto com melhor qualidade;
- Redução da variabilidade e estreitamento da conformidade à nominal;
- Redução do tempo de desenvolvimento;
- Redução dos custos totais.

O desenvolvimento de modelos matemáticos para a solução ou análise de um experimento é formado a partir de como esse experimento é formado , ou seja: pelo número de fatores experimentais, pela estrutura do delineamento, pelo tipo de informação pela qual o experimento se destina.

Alguns dos tipos de delineamento de experimentos são:

- Delineamento Completamente Aleatório;
- Delineamento Fatorial;
- Delineamento Fatorial com Blocagem;
- Delineamento Incompleto Balanceado com Blocagem;
- Delineamento Quadrado Latino;
- Delineamento Aninhado;
- Superfície de Resposta;
- Delineamento Quadrado de Youden;
- Outros.

A ferramenta estatística básica utilizada no delineamento de experimento é a Análise de Variância (ANOVA). Esta ferramenta permite interpretar os dados experimentais. É uma ferramenta de decisão estatisticamente formulada para detectar quaisquer diferenças no desempenho médio da série de dados testados.

A complexidade das formulações estatísticas muitas vezes se torna uma barreira à utilização de experimentos, bem como o grande número de ensaios necessários a serem executados, utilizando a metodologia de delineamento de experimentos tradicional.

A Metodologia Taguchi tem o poder de diminuir drasticamente a complexidade matemática (estatística) e também o número de experimentos. É uma metodologia caracterizada pela simplicidade e praticidade de aplicação.

A metodologia Taguchi parte do princípio de que a qualidade está relacionada à perda para a sociedade, causada por um produto durante o seu ciclo de vida. Um produto com qualidade superior causará perda mínima para a sociedade durante o decorrer do seu ciclo de vida. Se o produto não apresenta o desempenho esperado, o consumidor percebe que sofreu alguma perda.

A perda para a sociedade é formada pelos custos incorridos no processos de fabricação, assim como os custos sofridos pelos consumidores no decorrer da vida útil do produto (reparos, perdas de negócios etc.).

Olhando sob o ponto de vista de fabricação, a função perda pode ser composta sobre os limites inferior e superior das tolerâncias, conforme ilustrado na figura 2.19.

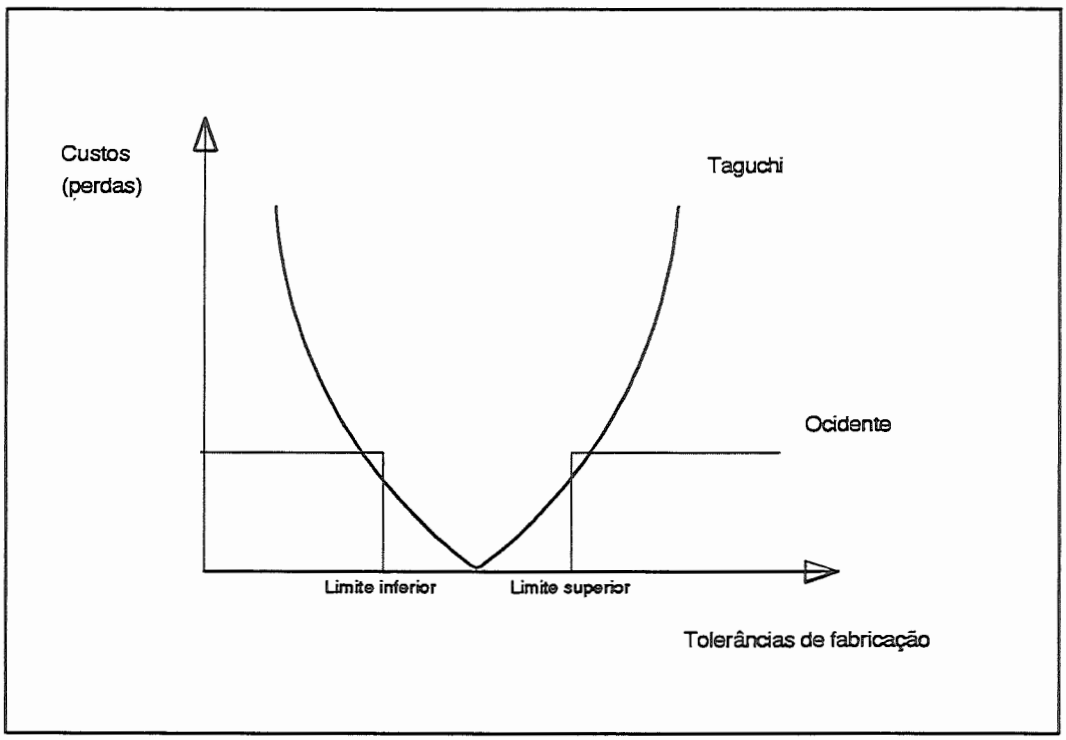


Figura 2.19 - Curva da Função Perda de Taguchi.

Isso significa que quanto mais próximo se obtém o produto ou seus componentes da medida nominal, menor será a sua perda [Ross, 1988].

A função perda de Taguchi condena o termo Zero Defeito, onde mesmo estando nos limites da especificação, não significa que se tem um produto com qualidade. Toda a filosofia está em tentar atingir a medida nominal, e não se dar por satisfeito em atingir os limites da especificação. A somatória de diferentes peças nos limites de suas especificações pode gerar um produto não tão bom quanto aqueles cujas peças se encontram próximas dos valores nominais. A robustez de um produto se inicia quando há uma consistência em se atingir a medida nominal, e não em simplesmente estar dentro da tolerância.

A robustez é também definida como a virtude de um produto com a relação sinal/ruído alta, sendo que o sinal é definido como o que o produto (ou componente, ou subconjunto) está tentando oferecer, e os ruídos são as interferências que degradam o sinal, sendo que alguns deles vêm de "fora", outros de sistemas complementares dentro do produto.

As relações sinal/ruído são estabelecidas no produto antes de se iniciar a fabricação, sendo de responsabilidade do projeto do produto.

Para se determinar as melhores relações sinal/ruído é que as empresas estão utilizando a ES. Para se definir e selecionar os sinais corretos e as medidas nominais (alvos), é necessária a experiência de todos os especialistas no produto, ou seja, membros da engenharia do produto, manufatura, assistência técnica, marketing etc..

Para se desenvolver uma estratégia experimental eficiente para se determinar os melhores sinais e os "alvos", e conseqüentemente se obter a robustez necessária para os produtos, Taguchi desenvolveu uma metodologia chamada de tabelas ortogonais [Taguchi, 1990].

Na prática, a metodologia Taguchi se inicia com as tabelas e arranjos ortogonais, também baseado na idéia de Análise de Variância (ANOVA).

O processo é desenvolver um método para testar um número de variáveis num mínimo de testes. Por exemplo, a tabela ortogonal L9 de Taguchi, mostrada na figura 2.20, necessita apenas de 9 testes, contra 27 da técnica do projeto de experimentos Quadrado Latino, e 81 para um teste completo de todas as permutações possíveis, conhecida como Fatorial Completo. Essa redução, como já foi citada, é muito benéfica na atual situação de concorrência no mundo da engenharia.

	Coluna número
Ensaio número	1 2 3 4
1	1 1 1 1
2	1 2 2 2
3	1 3 3 3
4	2 1 2 3
5	2 2 3 1
6	2 3 1 2
7	3 1 3 2
8	3 2 1 3
9	3 3 2 1
Gráfico Linear L9	1 3,4 2 Efeito Principal (fator) Interação

Figura 2. 20 - Tabela ortogonal L9 de Taguchi [Ross, 1991]

Os testes das várias combinações são conduzidos e então os ruídos que surgem na manufatura, tais como umidade, lubrificante e poeira, são também testados. Entretanto não se pode avaliar todas as interações, porém todas as chamadas críticas normalmante são destacadas nos testes. Essa ocorrência surge em virtude dos testes estarem balanceados, fornecendo relações entre as variáveis. Entretanto, em alguns casos serão necessários testes extras, porém os resultados originais irão indicar quais testes serão necessários. Uma vez encontrada a melhor solução, deve-se repetir o teste e confirmar o resultado.

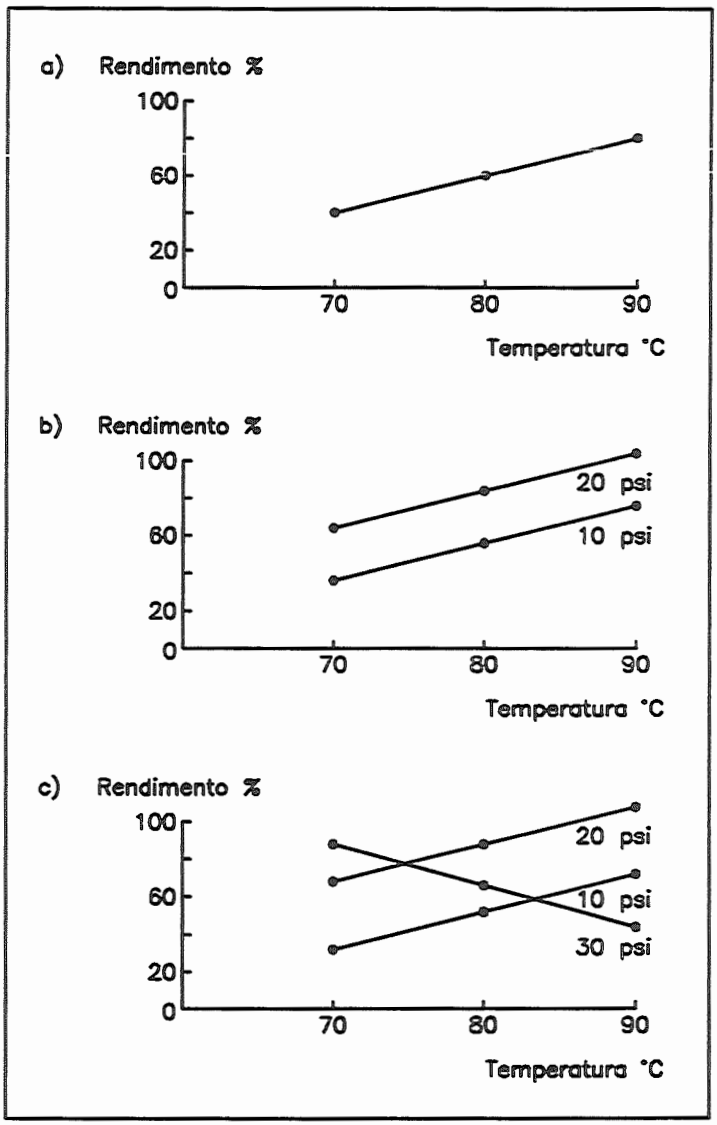


Figura 2.21 - Gráfico de análise de resultados [Hartley, 1992]

A figura 2.21 ilustra a utilização de gráficos de análise de resultados dos experimentos com diferentes níveis de parâmetros relevantes, indicando o conjunto ótimo.

Quando for se considerar o projeto completo, deve-se levar em conta os ruídos externos - Variações envolvidas no processo - e os ruídos internos - inclui deteriorização durante armazenagem e desgaste com o uso. Há tambem o ruído

variacional, que é a diferença entre os produtos individuais feitos para a mesma especificação.

A metodologia Taguchi é uma ferramenta muito útil para otimizar projetos, processos ou variações em montagens. É necessário apenas um número mínimo de testes. Pode ser adotado em pequenas, médias e grandes empresas. É de fácil aplicabilidade, não necessitando de soluções estatísticas e matemáticas complicadas. Ajusta-se nitidamente com o time de trabalho de projetos e certamente reduz os custos de testes, comparado com outros métodos de experimentos [Hartley, 1992].

2.6.5 CONTROLE ESTATÍSTICO DO PROCESSO (CEP)

Entende-se por Processo qualquer combinação específica de máquinas, ferramentas, métodos, materiais e/ou pessoas, destinados a obter um produto ou serviço com qualidades específicas. Uma alteração de qualquer um desses constituintes resultará em um novo processo.

O Controle é um retorno de informações através do qual se mede a performance atual, compara-se com o padrão e atua-se na diferença. Quanto mais rápido for a resposta, mais uniforme será a qualidade produzida.

Portanto, o Controle Estatístico do Processo (CEP) é a aplicação de técnicas estatísticas para medir e analisar variações em processos.

A estatística é a parte da matemática aplicada que se ocupa em obter conclusões a partir de uma série de dados e números observados. Através dessas observações, podemos chegar a diversas conclusões sobre o conjunto como um todo.

A qualidade em uma fábrica está vinculada à consistência dos processos. Essa consistência é particularmente muito importante em grandes empresas que fazem o mesmo produto em diferentes fábricas.

O CEP se baseia na monitoração para garantir a consistência dos processos. Com a utilização do CEP, pode-se analisar cientificamente dados e informações sobre o andamento dos processos e utilizar os resultados da análise para identificar e eliminar as causas-raízes dos problemas, resolvendo-os de forma definitiva e completa. Pode ser aplicado em qualquer problema que possa ser expresso através de números e cujos resultados finais impliquem em alguma expectativa de semelhança ou repetibilidade ao longo do tempo.

O controle preventivo do CEP, utilizado com base na estatística durante a fabricação, se caracteriza por ser um sistema monitor que detecta as falhas e faz os ajustes necessários antes que os produtos ruíns sejam fabricados. Para ser efetivo, o controle deve ser feito pelo próprio operador, sobre um esquema de auto-inspeção, pois desta maneira o problema pode ser detectado e as ações corretivas tomadas antes mesmo que ele ocorra.

O CEP é regido por alguns princípios:

- O controle não deve visar apenas a qualificação e seleção de problemas, mas sim a sua prevenção;
- Informações adequadas geram decisões corretas, o CEP as operacionaliza;
- O ponto de partida para análise de dados é a confiança nos registros. As decisões devem ser tomadas com base nos dados reais obtidos por técnicas adequadas;
- As informações devem ser compatíveis e estar dispostas de maneira a permitir a análise. A metodologia do CEP permite dispô-las de forma convincente;
- A implantação do CEP dá-se de forma gradativa por postos de trabalho, portanto o controle por amostragem não deve ser desativado imediatamente e, talvez em alguns postos de trabalho, este controle continue sendo utilizado.

No CEP se tem vários procedimentos estatísticos para sua operacionalização, dentre eles pode-se citar:

- Gráfico de controle;
- Tabela de freqüência;
- Diagrama causa e efeito;
- Diagrama de Pareto;

- Histogramas;
- Delineamento de experimentos;
- Correlação e regressão;
- Teste de hipótese;
- Métodos de otimização;
- Teste de confiabilidade;
- Avaliação de meios de medição etc.

Assim, numa empresa, o CEP pode ser aplicado virtualmente em quase todos os problemas, sejam de engenharia, operacionais, de produção, de controle de qualidade, gerenciais, financeiros e burocráticos ou de escritório. A rigor, dificilmente pode haver alguma atividade empresarial que não se possa associar direta ou indiretamente a números.

2.6.5.1 AS SETES VELHAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE

Essas ferramentas são utilizadas com o objetivo de ajudar a solucionar os problemas encontrados. São elas: Gráfico de Controle, Diagrama de Pareto, Histogramas, Quadros demonstrativos, Diagramas de Dispersão, Diagramas de causa e efeito e Fluxograma.

a. Gráfico de Controle

Mesmo a melhor máquina ferramenta automática não pode fazer todas as peças de um mesmo lote exatamente iguais.

Por volta de 1926, Walter Shewhart analisou as variações sofridas por um processo e pôde explicar que há dois tipos de variações: uma em forma de uma distribuição normal (curva de Gauss), onde num processo estável os valores obtidos para uma determinada dimensão, por exemplo, variam em forma da distribuição normal(o motivo na época foi dito como causas não explicáveis); a outra variação foi o deslocamento da curva normal do ponto de origem, porém essa variação era explicável, tinha-se os motivos.

A figura 2.22 mostra a curva de Gauss com as probabilidades associadas.

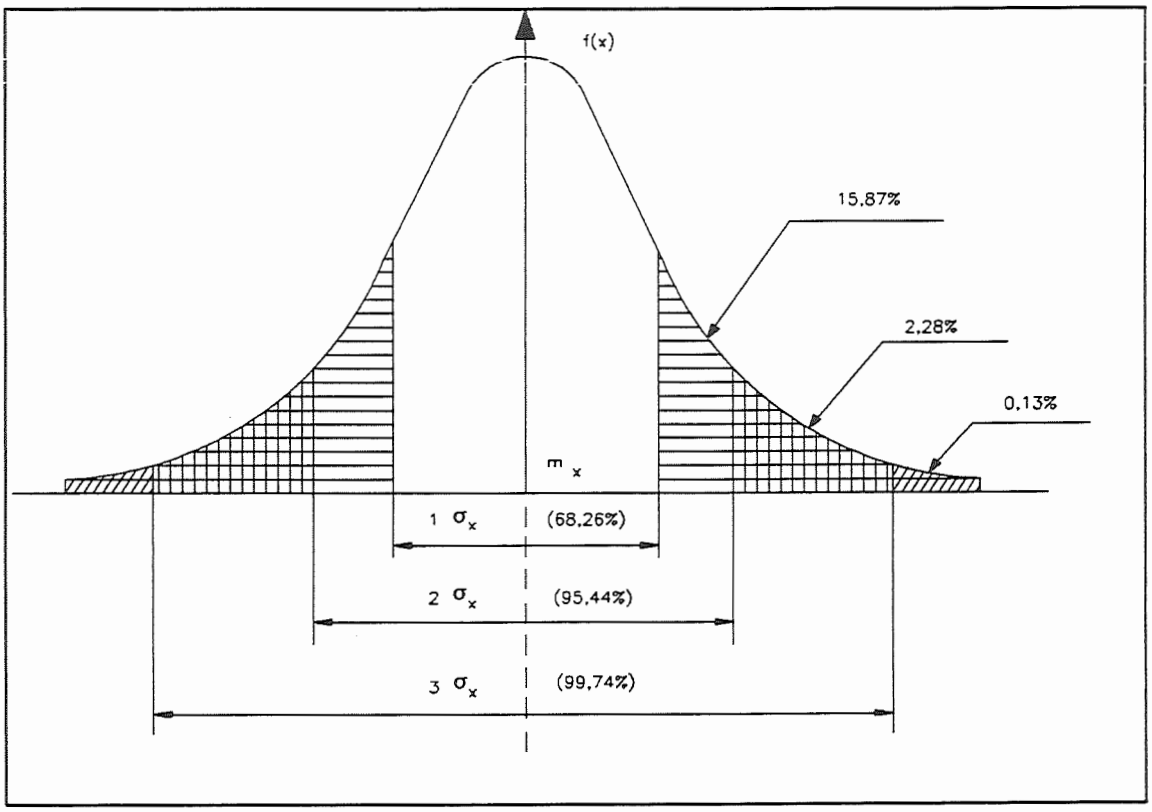


Figura 2.22 - Probabilidades associadas à distribuição normal

Por esse motivo, iniciou-se a utilização das cartas de controle para se decidir quando um processo pode ou não ser melhorado, para informar ao operador quando se deve ajustar o processo, ou se deve deixá-lo como se encontra sem necessidade de ajustes.

De um modo geral, se a distribuição é mais estreita que a tolerância estipulada e estiver dentro dos limites da tolerância, o processo não deve ser ajustado. Se a distribuição mudar de modo que, no mínimo, pequena parte dela estiver fora dos limites de tolerância, o processo deve ser ajustado imediatamente, caso contrário estará produzindo peças defeituosas, conforme mostra a figura 2.23.

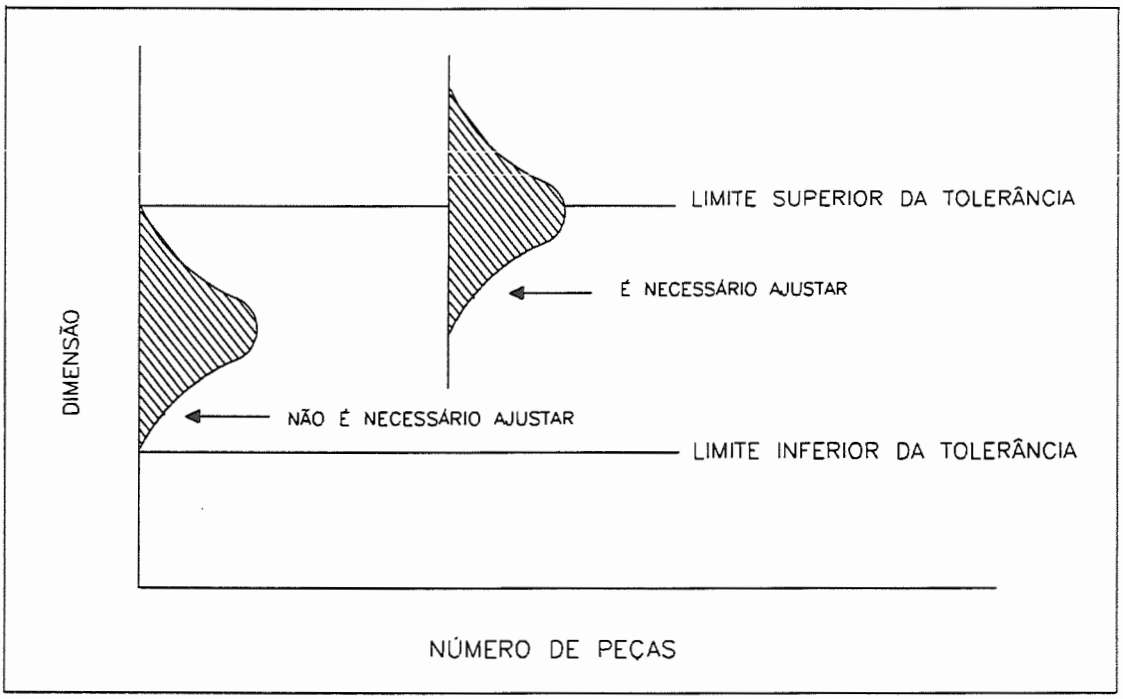


Figura 2.23 - Indicação da situação do processo [Shainin, 1990]

Para definir a distribuição e sentir qualquer alteração, confia-se no Teorema do Limite Central. Há três aspectos relevantes desse teorema para os gráficos de controle:

- Se as amostras são tomadas de uma distribuição em grupos, chamadas de subgrupos, e é feito a média dos itens individuais, a distribuição das médias terá a forma de uma distribuição normal ou de Gauss;
- A distribuição das médias terá o mesmo comportamento que a distribuição dos itens individuais;
- O desvio padrão da distribuição das médias será mais estreito que o da distribuição dos itens individuais.

Normalmente, os limites de controle superior e inferior para as médias são estabelecidos em ±3 desvios padrões, ou seja, 99,74% da área total da curva de Gauss. A probabilidade de se obter uma média de um subgrupo fora desses limites é de 0,26%. Em alguns casos, é utilizado o limite de ±2 desvios padrões, onde a probabilidade de uma média cair fora dos limites de controle é de 5%.

Importante:

1. Limites de Tolerância - Não é aconselhável indicar os limites de tolerância nos gráficos de controle de médias. Pontos além dos limites de controle requerem ação, mesmo se eles estiverem dentro dos limites de tolerância. Os operadores podem ficar confusos e utilizar os limites de tolerância no lugar dos limites de controle, mesmo porque apenas trabalhar fora dos limites de tolerância é que é insatisfatório.
2. Estabilidade - Muitos processos não se mantêm estáveis por muito tempo. As alterações em matéria prima, ferramentas, ou qualquer condições de operação de um processo podem alterar a distribuição do processo. Novos limites de controle devem ser estabelecidos para cada tipo de alteração para manter a efetividade dos gráficos de controle. A capabilidade processual pode sofrer alterações várias vezes ao dia [Shainin, 1990].

b. Diagrama de Pareto

O princípio de Pareto pode ser aplicado em diferentes atividades; como no estado da natureza, ou seja, no modo que as coisas acontecem ao nosso redor, como uma ferramenta de gerenciar projetos, como uma maneira de pensar sobre os problemas que nos afetam.

- Estado da Natureza - O princípio de Pareto sugere que muitos efeitos sejam oriundos de poucas causas. Em termos quantitativos, 80% dos problemas vem de 20% das máquinas, matéria prima ou operadores. Também 80% da fortuna é controlada por 20% das pessoas.

- Uma Ferramenta de Gerenciamento - Os dados de um determinado acontecimento são coletados e lançados em forma de diagrama, para melhor entendimento. Os dados podem ser coletados sobre, por exemplo, o estado de sucata, retrabalho, chamadas em garantia, tempo de manutenção, tempo de máquinas paradas, causas de rejeição de peças fabricadas ou qualquer outro custo associado com manufatura ou fornecimento de serviços de um determinado produto. A figura 2.24 ilustra um diagrama de Pareto, onde a

causa mais frequente é lançada à esquerda, e as outras causas são adicionadas em ordem decrescente de ocorrência.

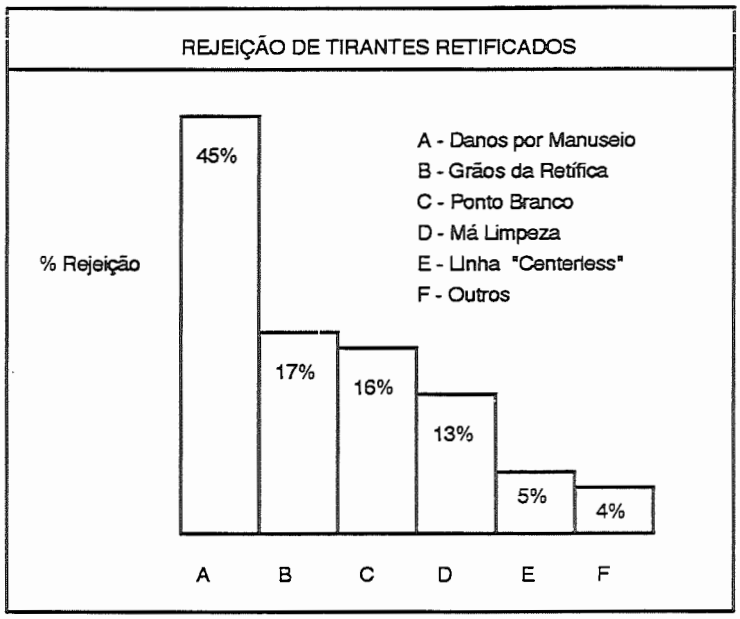


Figura 2.24 - Exemplo de um diagrama de Pareto [Burr, 1991].

- O modo de pensar - Com a ordenação dos dados sobre um determinado assunto, se torna evidente que a solução de um ou dois itens que têm o maior impacto na qualidade, resolve-se 80% do problema em questão.

Normalmente, os dados de um determinado problema não são disponíveis. Por exemplo, uma situação pode surgir quando um grupo deve definir um problema ou encontrar uma causa. Com um fluxograma de processo e um diagrama de causa e efeito visível e entendido pelo grupo, cada membro deve identificar o que cada um imagina ser a causa mais importante do problema, podendo isso ser feito de três maneiras:

1. Cada pessoa vota na categoria mais importante no diagrama de causa e efeito. Um consenso pode rapidamente ser alcançado, ou então se faz um diagrama de Pareto dos votos;

2. Cada pessoa tem cinco votos e pode colocá-los onde julgar necessário no diagrama de causa e efeito, e então com os dados se deve fazer um diagrama de Pareto;

3. Há uma técnica nominal que é mais desenvolvida e particularmente útil quando há um grande número de causas que tem a mesma possibilidade de ser a mais importante. Todos os participantes selecionam 10 causas e as classificam de 1 a 10. Soma-se os pontos e estes são lançados no diagrama de Pareto.

O Princípio de Pareto descreve o modo que as causas ocorrem na natureza e no comportamento humano. Pode ser uma ferramenta de gerenciamento muito poderosa para direcionar os esforços em problemas e soluções que apresentem potencial de maior retorno [Burr, 1991].

c. Histogramas

Histograma é um gráfico resumo de variações de um conjunto de dados. A natureza fotográfica do histograma nos capacita a enxergar padrões que são difíceis de ver numa simples tabela de números.

O histograma é uma potente ferramenta para o uso na solução de problemas, seguindo alguns conceitos chaves:

- Os valores de um conjunto de dados quase sempre mostram variações. Variações estão em qualquer lugar. É inevitável na saída de qualquer processo: manufatura, serviços de manutenção ou administrativo. É impossível conservar todos os fatores em um estado constante no decorrer de um período.

- Variações manifestam um padrão. Os padrões de variação em dados são chamados de distribuição. Os padrões visíveis na variação freqüentemente fornecem importantes conclusões sobre a causa de um problema. A identificação e interpretação desses padrões são os tópicos mais importantes

dos histogramas. As três características importantes de um histograma são: centro, largura, e formato.

- Os padrões de variação são difíceis de ver numa simples tabela de números.

- Padrões de Variação são mais fáceis de serem vistos quando os dados são lançados resumidamente num histograma. O histograma é uma ferramenta útil quando um time se depara com uma análise de dados que contém variações. Intuitivamente se sabe que a variação irá seguir um certo padrão, porém o padrão é difícil de ser visto por uma tabela de números. Lançando os dados em um histograma, esse padrão de variação poderá ser mais facilmente identificado.

A figura 2.25 exemplifica alguns padrões de histogramas comuns, os quais são descritos a seguir.

1. Distribuição em forma de sino: é a distribuição normal, natural de dados de um processo. Desvios dessa forma de distribuição pode indicar a presença de influências externas ou fatores complicantes.

2. Distribuição pico-duplo: é a combinação de duas distribuições em forma de sino e surge em dois processos distintos no trabalho. Há mais do que uma interpretação possível para esse padrão. Um método para análise é tentar vários esquemas de estratificação para isolar o processo ou condições distintas.

3. Distribuição platô: Esse padrão é parecido com o resultado de várias distribuições em forma de sino. Observar a operação e fazer um diagrama de fluxo para identificar os vários diferentes processos em atividade. Um caso extremo ocorre em organizações que não têm treinamento e processos definidos cada um fazendo o seu serviço à sua maneira. Definir e implementar processos padrões reduzirão essa variabilidade.

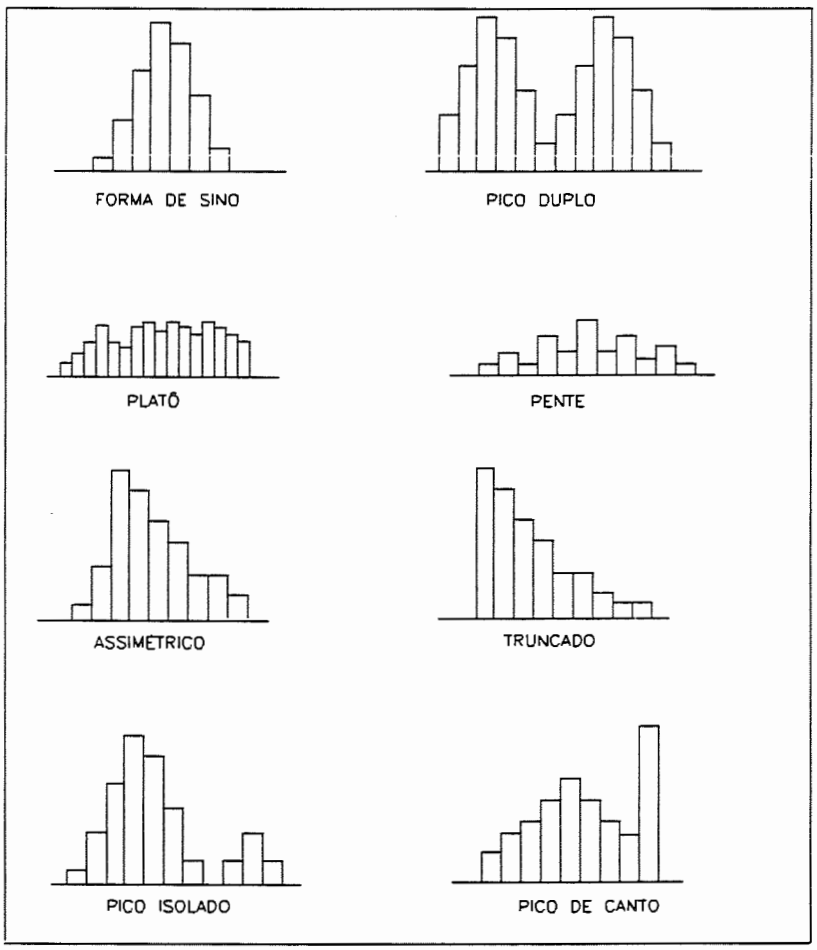


Figura 2.25 - Padrões comuns de histogramas.

4. Distribuição pente: Esse padrão indica tipicamente erros de medições, ou erros na maneira com que os dados foram agrupados para construir o histograma. Uma alternativa um pouco menos provável é compará-la com a distribuição platô. Antes de considerar possíveis características de processo, revisar o procedimento de coleta de dados e a construção do histograma, como causa do padrão.

5. Distribuição assimétrica: O padrão assimétrico ocorre tipicamente quando um limite prático ou uma especificação limite existir em um lado e for relativamente perto do valor nominal. Como exemplo, é o número de defeitos por 50m de tecido que nunca pode ser menor que zero. Essa distribuição não é má, mas

se deve questionar o efeito dos valores da inclinação suave. Pode causar insatisfação ao cliente? Pode gerar custos mais altos? Os valores extremos podem causar problemas nas operações seguintes? Se a inclinação suave tiver um impacto negativo na qualidade, deve-se investigar e determinar as causas desses valores.

6. Distribuição truncada: São frequentemente distribuições suaves e em forma de sino, com uma parte da distribuição removida ou truncada por alguma força externa, tal como inspeção 100% ou uma revisão de processo.

7. Distribuição com pico isolado: Esse padrão sugere uma combinação de dois processos diferentes, sendo que a pequena quantidade do segundo pico indica uma anormalidade, alguma coisa que não acontece regularmente. Ao analisar os dados do pico pequeno, atentar na isolação de um particular período, máquina, fonte de alimentação, procedimento, operador etc. É também possível que o pequeno pico represente erros em medições ou em transcrever dados. Convém reverificar as medições e os cálculos.

8. Distribuição pico de canto: Esse padrão do pico isolado numa extremidade de uma distribuição normal, freqüentemente indica relatórios sem precisão (ou seja, valores fora da faixa aceitável são colocados como estando meramente dentro da faixa).

Durante a interpretação de um histograma, a equipe responsável deve estar atenta para os seguintes pontos:

- Certificar que os dados em análise do histograma são representativos de condições normais e típicas do processo, antes de iniciar a análise;

- Não tirar conclusões baseadas numa pequena amostra de dados. Quanto maior o número de dados, mais confiável será a forma do histograma, oferecendo uma fotografia mais verdadeira do processo total ou do grupo de produtos. Um número recomendado dos dados de uma amostra é 40 ou mais, quando se deseja construir histogramas para examinar diferenças em variabilidade e a localização de picos;

- Interpretar o histograma é uma teoria que deve ser confirmada por análises adicionais e observações direta do processo em questão.

Em resumo, os pontos chaves de uma análise de um histograma são:

- Quantificar alguns aspectos do processo através de fatos e não de opiniões;
- Entender melhor a variabilidade inerente ao processo, obtendo uma visão mais realística da habilidade do processo em produzir resultados aceitáveis consistentemente;
- Ter novas idéias e teorias de como o processo opera e sobre as causas de um problema.

Os próximos passos devem ser:

- Esclarecer e concordar no que se aprendeu;
- Entender se o que se obteve são teorias para guiar esforços de investigação posteriores;
- Planejar observações diretas do processo para colecionar, estratificar e analisar dados adicionais, para confirmar a teoria antes de iniciar ações corretivas;
- Repetir regularmente o procedimento.

d. Quadros Demonstrativos

Uma boa informação é sempre baseada em dados (fatos); uma simples coleta de dados não assegura que se tenha informações úteis. Os dados devem ser coletados de maneira precisa, de modo a fornecer informações corretas.

A coleta de dados é como um tipo de processo de produção que necessita ser entendido e melhorado. Os passos para um bom processo de coleta de dados pode ser descrito em 10 pontos:

1. Formular boas questões que descrevam informações específicas necessárias para o projeto em questão;

2. Utilizar as ferramentas adequadas para coleta de dados, e se certificar que os dados necessários estão sendo coletados;

3. Definir os pontos de coleta de dados. Procurar selecionar o ponto de coleta de dados onde o processo sofra menor interferência. Um fluxograma detalhado do processo pode ajudar imensamente,

4. Selecionar uma pessoa para coletar os dados que não tenha vícios. Essa pessoa deve ter acesso fácil aos fatos;

5. Entender a pessoa coletora de dados e seu comportamento. O treinamento e experiência dessa pessoa determinará se pode haver manipulação nos dados;

6. Os formulários para coleta de dados devem ser simples, reduzir oportunidades de erros, capturar os dados para análise, para referências, e para rastreabilidade, ser auto explicável e profissional;

7. Preparar um treinamento ou mesmo uma simples instrução para a utilização dos formulários;

8. Testar os formulários e as instruções;

9. Treinar as pessoas encarregadas de coletarem os dados. O treinamento deve incluir a finalidade do estudo, quais dados serão necessários para preencher os formulários e uma discussão sobre a importância de informações completas e sem vícios;

10. Auditorar o processo de coleta de dados e validar os resultados. Verificar aleatoriamente os formulários preenchidos e observar a coleta de dados durante o processo.

Há três formulários para coleta de dados normalmente utilizados:

- Folha de Verificação: É um formulário de dados simples utilizados para interpretar prontamente os resultados sendo coletados. A figura 2.26 é um exemplo de uma folha de verificação onde é permitida a análise simultânea da tendência nos dados;

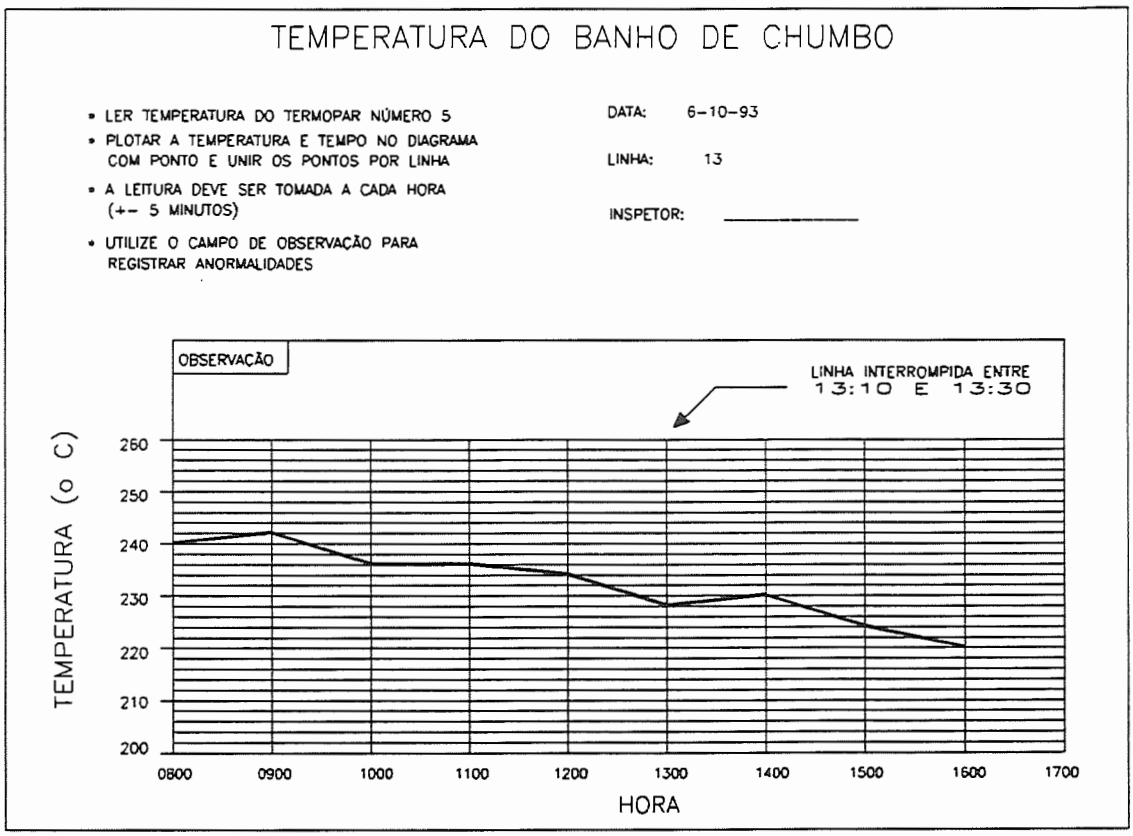


Figura 2.26 - Folha de Verificação

- Folha de dados: Os dados são coletados em um formulário tipo tabela, conforme ilustrado na figura 2.27. Caracteres dos dados específicos (números, palavras ou marcas) são colocados nos espaços da tabela;

- Lista de Verificações: Contém itens que são importantes para uma situação específica. São utilizadas sobre condições de operação para assegurar que todos os passos ou ações importantes tenham sido tomados. A sua finalidade primária é como um guia de operações e não para coleta de dados. A figura 2.28 é um exemplo de uma lista de verificações.

TEMPERATURA DO BANHO DE CHUMBO

- Ler temperatura no termopar nº 5 Data: 10/11/93
- Relatoriar a temperatura na tabela abaixo
- Tomar a leitura a cada hora (± 5 minutos) Linha: 13
- Usar o campo de observações para registrar anormalidades Inspetor: André

Hora	Temperatura °C	Hora	Temperatura °C
0800	240	1300	227
0900	242	1400	230
1000	236	1500	224
1100	236	1600	220
1200	234	1700	220

Observações: - Linha interrompida entre 13:10 e 13:30hs

Figura 2.27 - Folha de dados [Juran, 1990]

Existem outros tipos de formulários, específicos para cada situação. A maioria das ferramentas da qualidade depende da confiabilidade e da precisão dos dados. Se determinados dados não estão disponíveis, eles devem ser coletados. O processo de coleta de dados deve ser dirigido para a informação de questões formuladas em necessidades, ou seja, é preciso saber que questão deve ser respondida antes de iniciar uma coleta de dados [Juran, 1990].

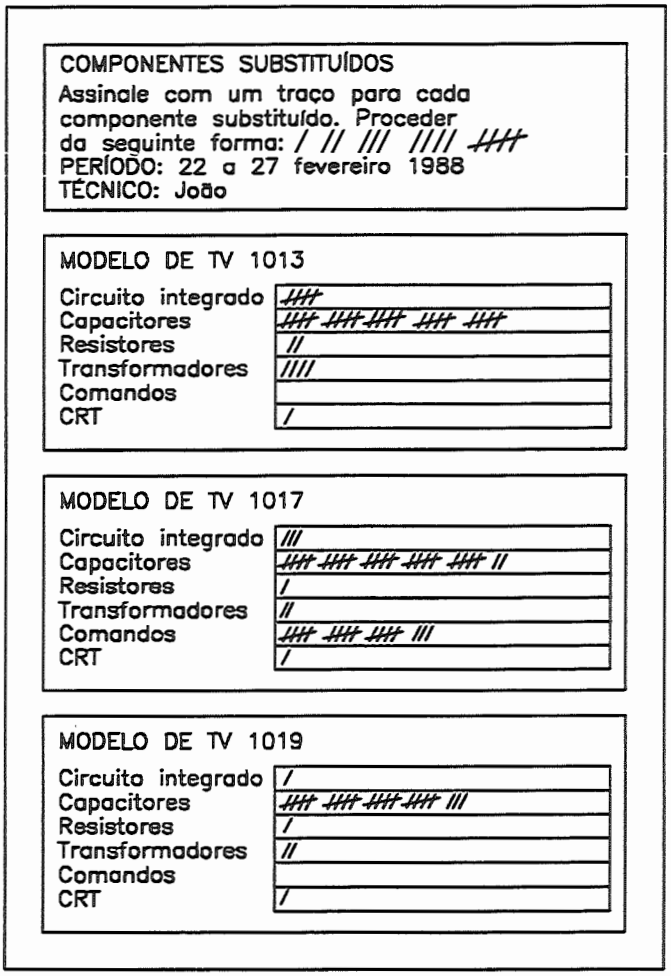


Figura 2.28 - Lista de Verificações

e. Diagrama de Dispersão

O diagrama de dispersão é a chave para analisar a relação entre duas variáveis. Porém, é importante notar que somente porque duas variáveis parecem estar relacionadas, não signfica que elas necessariamente estejam. Pode haver outras razões porque duas variáveis parecem estar relacionadas. Um exemplo de diagrama de dispersão é dado na figura 2.29.

Como toda ferramenta da qualidade, o diagrama de dispersão é muito poderoso, porém pode ser mau utilizado. O diagrama deve ser avaliado por pessoas conhecedoras do produto ou processo em análise [Burr, 1990].

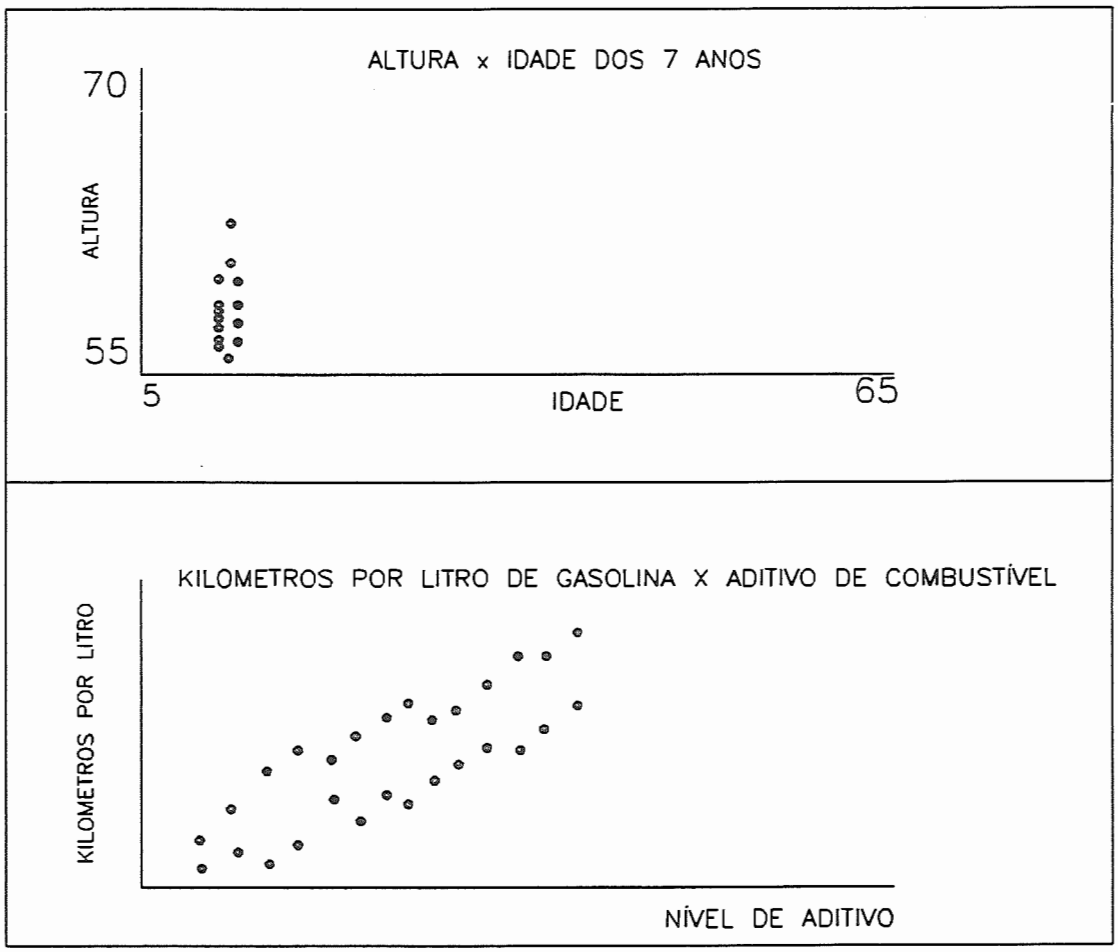


Figura 2.29 - Diagrama de Dispersão

f. Diagrama de Causa-e-Efeito.

O diagrama de causa-e-efeito é uma ferramenta valiosa e única para se obter informações sobre os processos e seus resultados. É um método para se analisar dispersão de processos, tendo como finalidade a de relatar causas e seus efeitos.

É também conhecido como Diagrama de Ishikawa e como Diagrama Espinha de Peixe. Não importa como possa ser chamado, essa ferramenta é julgada como uma das mais elegantes e largamente usada dentre as tão faladas Sete Ferramentas da Qualidade.

Um diagrama de Causa-e-efeito pode ser desenvolvido por um indivíduo somente, porém possui melhor desenvolvimento quando for feito por um time. Fornece um excelente meio para facilitar uma seção de "brainstorming".

A figura 2.30 descreve o formato básico de um diagrama de causa-e-efeito. Primeiramente se identifica o problema a ser resolvido e uma seta principal chega até esse efeito. As demais setas que chegam diretamente até essa seta principal são oriundas das causas julgadas como principais, e assim é transcrita uma relação hierárquica de efeitos para as causas principais e suas subseqüentes relações com as sub-causas. Por exemplo, a causa principal A tem uma relação direta para o efeito, e cada uma das sub-causas é relacionada em termos de seu nível de influência sobre a causa principal.

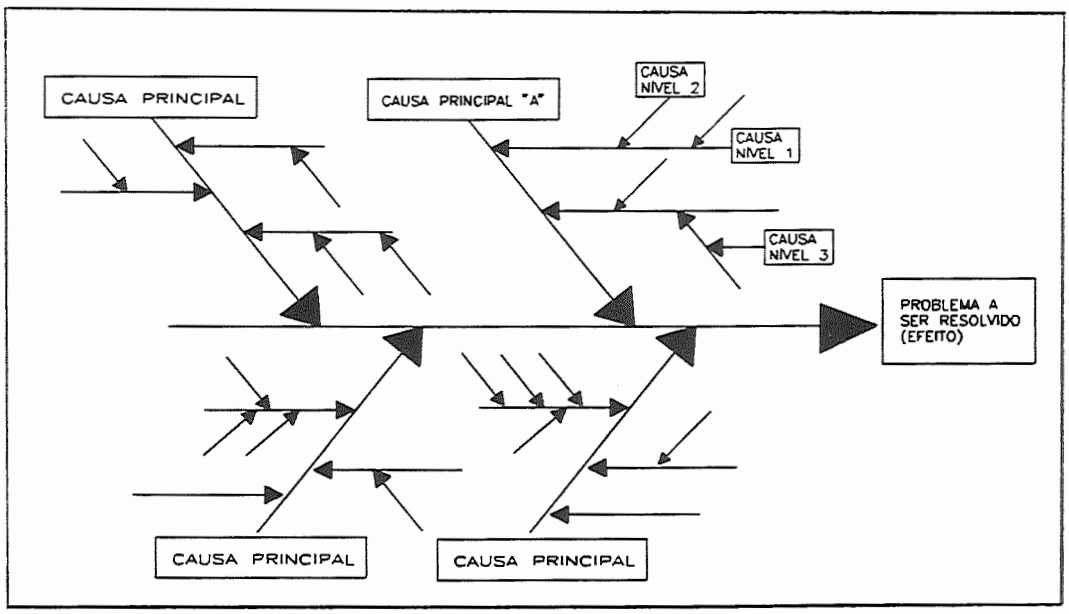


Figura 2.30 - Diagrama de Causa-e-efeito.

Após o preenchimento de um diagrama de causa-e-efeito, a próxima etapa é transformá-lo em ação. É feita uma quantificação do problema, para tantas causas quantas forem necessárias. Então se determina as áreas prioritárias para iniciar os trabalhos de melhoria.

Como o trabalho se move em direção à quantificação de causas, a utilização das outras ferramentas da Qualidade têm um papel muito importante, como o Diagrama de Pareto, Histograma, Carta de Controle e Diagrama de dispersão [Sarazen, 1990].

g. Fluxogramas

O primeiro passo para se controlar um processo é entendê-lo. O fluxograma é o primeiro passo para se entender um processo.

Para se elaborar um fluxograma é de fundamental importância que as pessoas certas sejam envolvidas. Incluem nessas pessoas, aquelas que farão o trabalho do processo, os fornecedores para o processo, clientes do processo, dentre outras pessoas.

Outro ponto importante é que se tenha tempo disponível para esse estudo. Normalmente se leva mais tempo do que normalmente se espera.

Os fluxogramas são importantes no chão de fábrica, sendo utilizados para explicar diagramas de equipamentos, diagramas de tubulações etc. Além do chão de fábrica, os fluxogramas têm importante uso nas funções administrativas.

Os principais benefícios do uso de fluxogramas, dentre outros, são:

- As pessoas que trabalham no processo passam a entendê-lo; passam a controlá-lo ao invés de serem vítimas dele;
- Melhoramentos podem ser facilmente identificados quando o processo é visto objetivamente no fluxograma;
- Melhorias de comunicação entre departamentos e áreas de trabalho, pois os funcionários se localizam dentro do processo como um todo, e começam a visualizar seus fornecedores e clientes no processo;
- Maior motivação por aqueles que participam das seções de elaboração do fluxograma, continuando a fornecer sugestões para melhoramentos futuros;
- O fluxograma de processos é uma ferramenta valiosa para treinamento de novos funcionários.

Talvez o benefício mais importante do uso de fluxogramas de processos é que as pessoas no processo irão entender o processo de uma maneira única. Este entendimento proporcionará motivação de funcionários que poderão controlar seus destinos, os processos se tornarão mais econômicos, haverá menos perdas nas funções administrativas e haverá um melhor relacionamento cliente-fornecedor entre departamentos [Burr, 1990].

2.6.6 AS SETE NOVAS FERRAMENTAS DA QUALIDADE

As sete novas ferramentas da qualidade são ferramentas que oferecem os melhores métodos para estimular o pensamento das pessoas de todos os níveis de uma empresa. São ferramentas melhores utilizadas em trabalho em grupo para, principalmente, encontrar problemas.

Essas ferramentas colaboram estreitamente com o objetivo básico do Controle de Qualidade Total (TQC - Total Quality Control) em trazer reformas nas empresas nas seguintes áreas: Projetos de desenvolvimento futuro, Planejamento para o futuro, Atenção para os processos, Priorização e focalização nos problemas, e Focalização no sistema da empresa. A finalidade principal em atacar essas áreas é a de promover que todos os funcionários da empresa, incluindo os gerentes e diretores, desenvolvam o talento de "pensar melhor".

Essas ferramentas são:

a. Diagrama de Relações;
b. Diagrama de Afinidades;
c. Diagrama em Árvore;
d. Diagrama em Matriz;
e. Análise dos Dados da Matriz;
f. Análise PDPC (Gráfico do Programa do Processo de Decisão);
g. Diagrama em Setas.

O objetivo não é detalhar cada uma dessas ferramentas, mas sim apresentar cada uma delas sucintamente.

a. Diagrama de Relações

O Diagrama de Relações esclarece relações causais entrelaçadas em problemas ou situações complexas a fim de encontrar soluções apropriadas.

Para analisar problemas com um emaranhado complexo de relações de causa e efeito, o diagrama de relações é construído para indicar a relação lógica que existe entre os fatores casuais. O diagrama facilita a solução de problemas, pois fornece uma visão geral de inter-relacionamento do problema como um todo. O diagrama pode também ser utilizado para destacar os elementos necessários para alcançar um certo objetivo.

Para resolver problemas usando esse diagrama, um time composto de tantas pessoas quantas forem necessárias, deve-se elaborar o diagrama várias vezes. Agindo dessa forma, o time pode gerar novas idéias que podem levar a uma solução mais efetiva. Uma ilustração desse diagrama pode ser visto na figura 2.31, onde fatores ou pontos problemáticos constam nas figuras ovais, e as relações de causa e efeito são indicadas por meio de setas, onde a seta aponta da causa em direção ao efeito. O problema a ser solucionado está dentro de uma figura oval, e os itens ou fatores importantes são sombreados de forma que possam ser mais prontamente identificados [Mizumo, 1993].

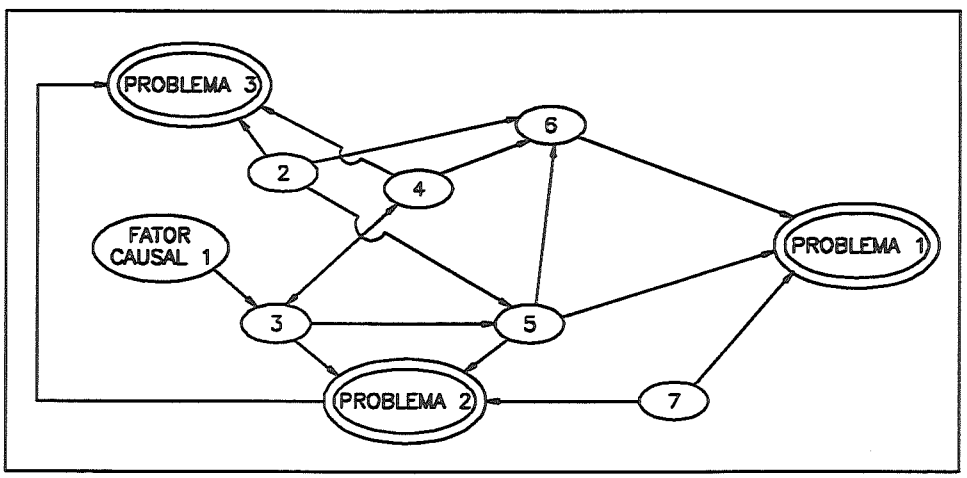


Figura 2.31 - Exemplo de Diagrama de Relações [Mizumo, 1993].

b. Diagrama de Afinidades

Também conhecido como Método KJ (Primeiramente desenvolvido por Kawakita Jiro), ajuda a esclarecer a natureza, forma e extensão de problemas em situações onde haja pouco ou nenhum conhecimento ou experiência anterior. Consiste em usar fatos, predições, idéias, opiniões e manifestações na forma de dados verbais e estabelecer um diagrama completo baseado no relacionamento comum e em similaridades encontradas entre os dados.

É uma técnica baseada em atuações de grupos de pessoas na forma participativa. Os problemas são resolvidos através da formação de times que unem as opiniões, idéias, e experiências dos membros e então coordenam e organizam esses dados em termos de afinidades mútuas [Mizumo, 1993].

c. Diagrama em Árvore

É o procedimento para a criação do diagrama que permite o desdobramento do problema em pauta. O diagrama em árvore mostra o sentido necessário para a busca de objetivos específicos, esclarecer a essência do problema fazendo o assunto subjetivo se tornar visível, e procurar os meios mais adequados para realizar os objetivos.

De uma maneira geral, pode-se utilizar o diagrama em árvore para esclarecer a implantação de planos e métodos; para avaliar os vários planos e métodos disponíveis para resolver um problema; para desenvolver uma abordagem para a solução de um problema cujas causas que o afetam já foram localizadas, mas que ainda não se conseguiu estabelecer um método para resolvê-lo, e assim identificar planos e métodos apropriados [Mizumo, 1993].

A figura 2.32 exemplifica o Diagrama em Árvore.

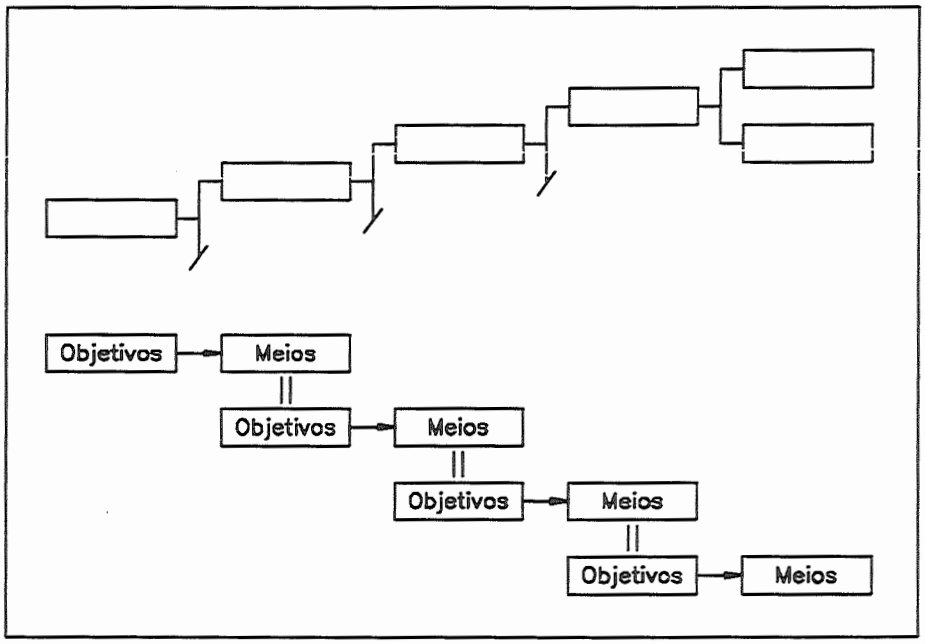


Figura 2.32 - Exemplo de um Diagrama em Árvore [Mizumo, 1993].

d. Diagrama em Matriz

É uma técnica que esclarece pontos problemáticos de uma maneira multidimensional. O método identifica os elementos correspondentes envolvidos numa situação ou evento problema. Esses elementos são arranjados na forma de colunas e linhas que mostram a presença ou ausência de relacionamento entre pares de elementos. De uma maneira otimista, esse método assistirá na especificação da natureza e/ou localização de problemas, permitindo a geração de idéias na base de relação bidimensional. A solução de problemas efetivos é facilitada pelos pontos de intersecção. Para facilitar a elaboração do processo de solução do problema, indica-se o grau de importância e de relacionamento entre dois conjuntos de fatores.

O diagrama em árvore é utilizado para esclarecer um problema quando suas causas e os métodos para solucioná-lo podem ser explicados numa única dimensão. Quando há dois conjuntos de fatores e métodos, o método do diagrama em matriz é mais efetivo, pois pode relacionar uns fatores aos outros. A figura 2.33, exemplifica um diagrama em matriz, com uma matriz tipo T.

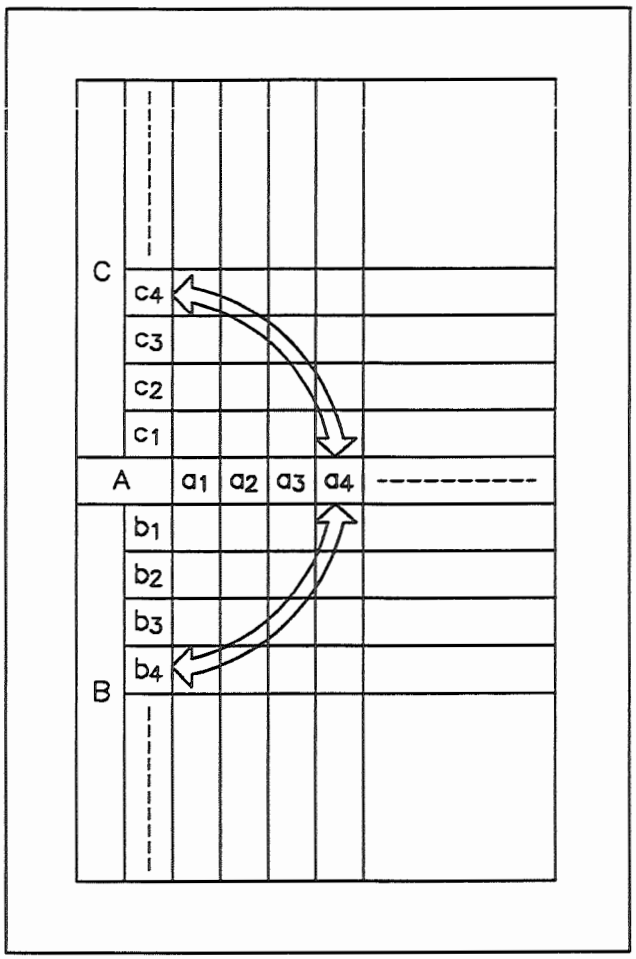


Figura 2.33 - Exemplo de Diagrama em Matriz [Mizumo, 1993].

e. Análise de Dados da Matriz

É uma técnica que dispõe os dados apresentados no diagrama em matriz de modo que os números possam ser facilmente avaliados e compreendidos. As relações entre os elementos mostrados no diagrama em matriz são quantificados pela obtenção de dados numéricos para as células de intersecção.

Das Sete Novas Ferramentas, esta é a única que utiliza métodos de análise numérica. A técnica principal desse método é a Análise do Componente Principal. Utiliza-se também as matrizes de priorização, um método mais simples que

identifica os processos de maior impacto em estudo, como exemplificado na figura 2.34. Na figura tem-se a matriz fatores chaves - processos, com a relação entre os dois itens, e a avaliação de desempenho - Q -, e a avaliação do impacto nos negócios - B. Dessa avaliação, elabora-se a matriz de priorização B-Q. Mizumo, 1993]

MATRIZ FATORES CHAVES - PROCESSOS FC - P

Fator chave / Processos	Pontualidade na entrega	Propaganda	Preço	Aferição do crédito ao consumidor	Atendimento com qualidade	Serviço ao consumidor	Controle de estoque	Credibilidade	B	Q
P1- Pesquisa de preferência dos consumidores		X	X						4	B
P2 - Aquisição de bens	X		X		X	X	X		4	C
P3- Comunicação aos consumidores		X						X	5	C
P4 - Atendimento aos consumidores					X	X	X	X	5	D
P5 - Verificação de crédito e cobrança				X					3	A
P6 - Distribuição dos bens	X		X		X				4	E
P7 - Reposição de estoque	X		X		X		X		3	C
P8 - Assistência técnica						X		X	3	B

1. P6 Distribuição dos bens
2. P4 Atendimento ao consumidor
3. P3 Verificação de crédito e cobrança
4. P2 Aquisição de bens

MATRIZ B-Q

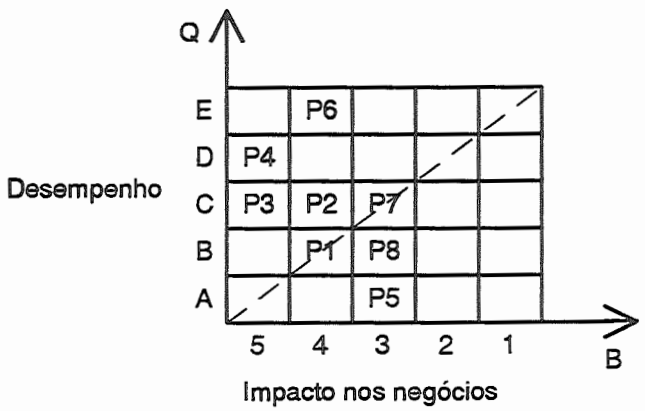


Figura 2.34 - Exemplo de Análise de Dados de uma Matriz - Matriz de Priorização

f. Método PDPC (Gráfico do Programa do Processo de Decisão)

Essa técnica ajuda a determinar quais processos utilizar para obter os resultados desejados pela avaliação do progresso dos eventos e a variedade de resultados concebíveis.

Um plano de implementação nem sempre progride como planejado antecipadamente. Quando os problemas, técnicos ou de outra natureza surgem, as soluções nem sempre são aparentes. Esse método antecipa os possíveis resultados durante o progresso das operações e prepara as medidas defensivas que irão direcionar para as melhores soluções. Por antecipar resultados possíveis potenciais de eventos, essa técnica permite ajustes de processos na luz do progresso em andamento.

Se um evento não antecipado ocorrer, torna-se necessário reescrever o PDPC de imediato de modo que possam ser tomadas as devidas medidas corretivas. É muito importante a utilização no planejamento de desenvolvimento de novos produtos e processos. A figura 2.35 exemplifica um gráfico PDPC.

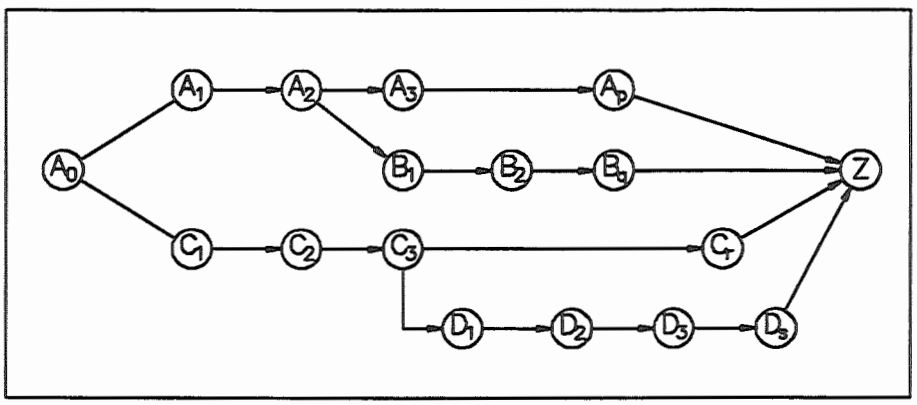


Figura 2.35 - Exemplo de Aplicação do PDPC [Mizumo, 1993].

g. Diagrama em Setas

Ao contrário do método PDPC, que planeja possíveis resultados de um determinado evento e estabelece os possíveis caminhos a seguir, o diagrama em

setas estabelece o plano diário mais adequado e monitora o seu progresso eficientemente para um processo ou um produto conhecido.

O diagrama em setas, utilizado pelo PERT e CPM, ilustra uma rede de linhas que conecta todos os elementos relacionados para a execução do plano. Ver figura 2.36.

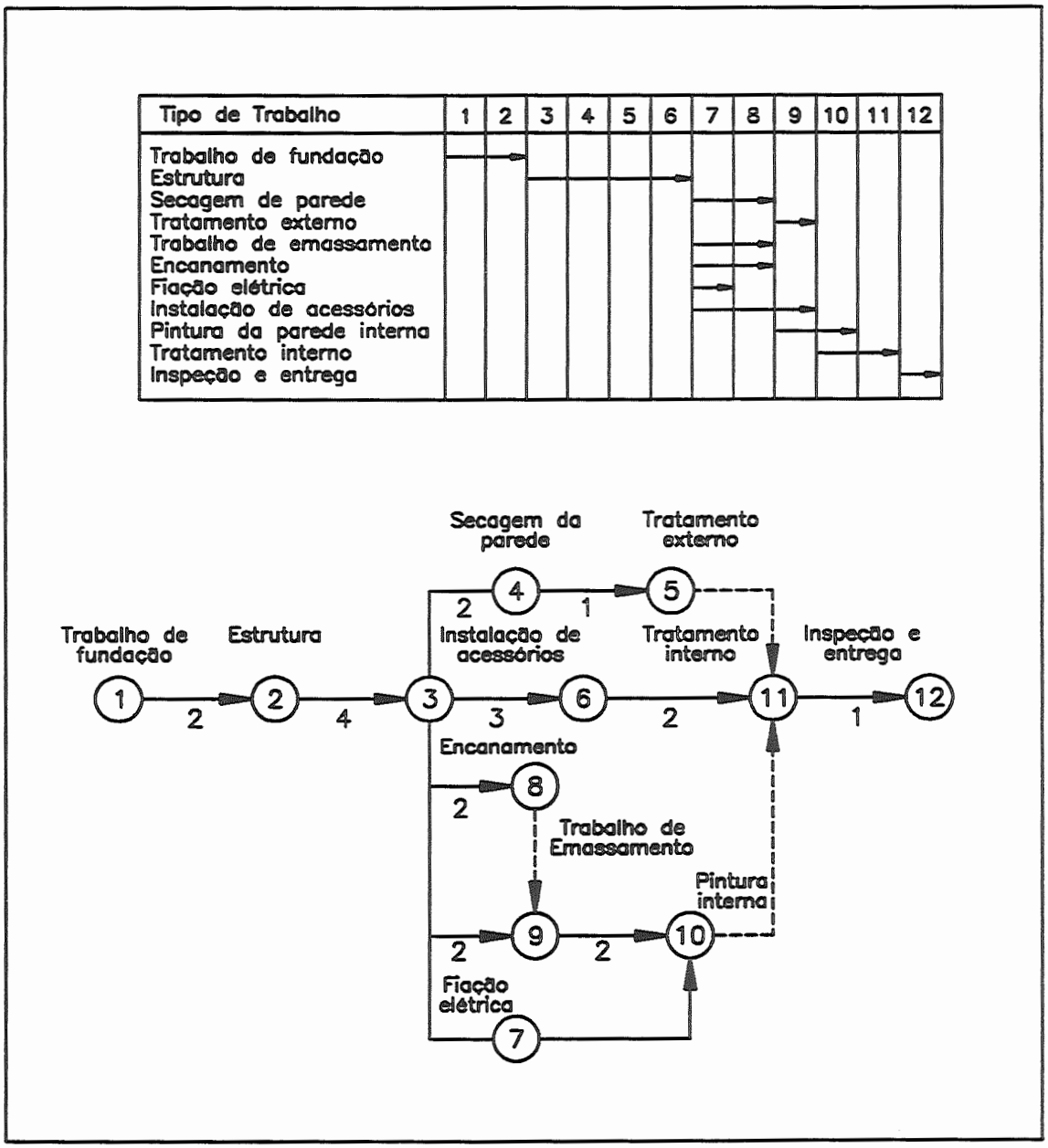


Figura 2.36 - Exemplo de um Diagrama em Setas [Mizumo, 1993].

Como todas essas novas ferramentas da qualidade são eficientes quando utilizadas por grupo de pessoas, a ES que é por definição o trabalho em times, tem nessas ferramentas um ponto de apoio muito importante para o melhor desempenho dos times de trabalho no desenvolvimento de novos produtos e processos. São ferramentas relativamente simples, que trazem inúmeros benefícios quando utilizadas no contexto geral das organizações.

2.6.7 HARDWARE E SOFTWARE

A tecnologia de ponta dos computadores está encabeçando a aplicação das técnicas de ES em produtos. Porém, os computadores sozinhos não assegurarão que a ES irá atingir os seus objetivos. Como já foi comentado, é necessário grandes esforços para mudar atitudes comportamentais para uma implantação com sucesso de ES. Os computadores e a malha de trabalho facilitam o processo simultâneo, tornando rápido e fácil a transferência de informações entre os membros de um time de trabalho. [Machine Design - Junho de 1989, pg 48].

No campo da ES, o computador deve fornecer mecanismos automatizados para coordenar e dirigir o trabalho em andamento entre as várias disciplinas de engenharia. A ES necessita de uma estrutura de computador altamente interativa que possa dirigir os dados e as metodologias de projeto paralelamente, com os vários trabalhos que estejam sendo executados. A estrutura deve oferecer todas as ferramentas, bancos de dados e disciplinas de engenharia num ambiente comum para dirigir o processo de projeto de acordo com as metodologias de trabalho [Eletronic Design - Junho de 1991, pg 65,].

O desenvolvimento da tecnologia eletrônica tende a trazer benefícios no ambiente de ES de uma maneira crescente, pois além do desenvolvimento, também o custo desses equipamentos está diminuindo, tornando mais acessível para não somente as grandes, como também para as pequenas e médias empresas.

Na sua forma mais elementar, uma malha de trabalho fornece serviços de correio eletrônico. É uma maneira onde os membros de um time de trabalho podem

compartilhar os seus pensamentos e idéias prontamente. Porém com o estreitamento dos ciclos de projetos, essa maneira de transferência de informação não se torna totalmente viável. Como o telefone tem substituído a carta escrita na comunicação do dia a dia, as tecnologias mais interativas, como a tele conferência por vídeo, irão substituir o correio eletrônico para a colaboração dos times de trabalho.

Nos dias atuais, muitas empresas de engenharia têm utilizado o correio eletrônico para o compartilhamento de arquivos. Os membros do time podem se utilizar de arquivos remotos para armazenar dados de projetos. Ajuda sim, nos requisitos de armazenamento de dados locais, e torna-se possível o compartilhamento de base de dados entre os membros de um time.

A tendência entretanto é o compartilhamento de base de dados completo na malha de trabalho, e não apenas arquivos.

Esse compartilhamento se tornará ainda maior quando nessa malha de trabalho estiverem envolvidos os subfornecedores e clientes e muitos membros de um time que não se encontrarem numa mesma cidade, estado, ou até mesmo num mesmo país.

a. Tendência do Futuro

Com a E.S. em ação numa malha de trabalho, a tendência do futuro é:

- Aumentar a velocidade de transmissão de dados na malha, através de novos e poderosos "hardwares" e meios de comunicação. Com o desenvolvimento da fibra óptica, é possível distribuir informações a velocidades de 100 Mbits/seg. Muitas empresas terão os ambientes de engenharia interligados por meio de cabos de fibras ópticas por volta de meados de 1990. Os membros do time de trabalho se aperfeiçoarão, compartilhando imagens como desenhos de CAD, representando um banco de dados CAD ao mesmo tempo que compartilharão de uma base de dados completa [Willett, 1992].

EESC - USP Biblioteca CAMPUS DE S. CARLOS

- Ter conectado todas as plataformas de engenharia na malha. Essa é uma questão de se obter preços acessíveis para os produtos "hardware" e "software" da malha.

b. Malhas Mundiais

Nos dias atuais, tentar enviar centenas de megabytes através de longas distâncias por linhas telefônicas resulta em numerosas quantidades de erros até se completar a transmissão.

O custo para se conectar uma malha de trabalho de organizações mundiais em duas regiões num mesmo continente é ainda muito alto.

Hoje as interconecções por linha de transmissão podem transmitir confiavelmente a 1 Mbits/s através de longas distâncias. Em 1995, pode-se chegar a 10 Mbits/s, tornando o compartilhamento de dados muito mais factível.

Por volta do ano de 2002, cada telefone terá o potencial para acessar a malha de trabalho utilizando linhas de telefone digital, tornando mais econômico para as empresas com filiais pelo mundo conectar todos os seus funcionários pela malha de trabalho [Willett, 1992].

c. A Conecção Global

Os avanços das malhas ajudarão as empresas a automatizar completamente a ES. Todos os recursos da empresa utilizados no desenvolvimento de novos produtos irão interagir mais eficientemente. Mesmo os talentos pessoais situados em continentes diferentes se tornarão parte do time de trabalho. Ao mesmo tempo, as empresas terão que desenvolver ferramentas de gerenciamento de times e de dados mais poderosas para coordenar essas oportunidades.

Pelo ano 2000, empresas inteiras, bem como clientes e vendedores, serão capazes de trocarem idéias e recursos através das malhas de trabalho. Os clientes podem liberar requisitos e ordens mais rapidamente e mais regularmente.

Os times podem colaborar com os fornecedores para que haja uma estimativa mais exata de custos e de prazo de entrega de produtos. Será necessária uma estrutura compatível com a época, com recursos computacionais e humanos, além de um sistema de gerenciamento da rede de informações.

Um aspecto significativo de desenvolvimento será a proliferação de times internacionais. Quando as malhas puderem transmitir milhões de bits/seg. confiavelmente entre duas cidades de continentes diferentes, os membros de um time poderão compartilhar grande parte do banco de dados de projetos, tão bem quanto se eles estivessem localizados no mesmo estabelecimento. O desenvolvimento tecnológico de vídeos de dois sentidos (ida e volta), irá tornar reuniões por vídeo sobre mesas num meio efetivo de colaboração de membros de times de outros continentes. Com monitores de computadores sobre as mesas, a comunicação por vídeo será disponível a qualquer pessoa, como um telefone é hoje.

Outro ponto significativo da malha de comunicação será o rápido crescimento de usuários, bancos de dados e de recursos disponíveis através da malha. As aplicações terão a opção de interagir com muitas centenas de outras aplicações, periféricos como impressoras e uma variedade de banco de dados.

Numa fase mais adiante, com todas as plataformas computacionais conectadas na malha de trabalho, as empresas poderão iniciar a padronização do acesso a bancos de dados, interfaces de usuários e compartilhar a potência de processamento de computadores. Poderá se encontrar consistência e interatividade nos métodos de comunicação e manipulação de informações.

Essa nova fase de ES automatizada irá melhorar ainda mais a eficiência e a produtividade [Willett, 1992].

d. CAD/CAM

A ES seria um disperdício sem o CAD/CAM. Os benefícios da ES são maximizados com o aumento da utilização do CAD/CAM. O projeto e os cálculos de engenharia podem trabalhar em paralelo, com a combinação de "hardware" e

"software", com a diminuição de protótipos e consequente redução do "lead time" significativamente.

Mesmo sem um sistema integrado, o uso do CAD ajuda a manufatura e os fornecedores de máquinas e componentes a ver o produto real, estando o projeto no estágio conceitual ou mesmo no estágio final. Diminui-se então a margem de erro, e com a imagem tridimensional computadorizada, as dimensões de produto são completas.

Muitos pacotes CAD mantêm um conjunto comuns de dados que podem ser utilizados para projeto ou para a manufatura, podendo estar disponíveis para a manufatura em:

- Distribuição ("Nesting") de "blanks" para a prensagem, corte e dobramento;
- Usinagem direta de ferramentas e matrizes para prensagem, fundidos e moldes;
- Dimensões diretas para dispositivos de soldagem e montagem;
- Dimensões diretas para moldes, núcleos ou fundidos;
- Percurso de ferramenta para qualquer componente.

O desenvolvimento de programas crescem rapidamente com a maturidade dos pacotes de "software" - CAD e o avanço rápido na razão potência/custo do computador.

Sistemas CAD parametrizados se tornarão parte integrantes da engenharia, tais como, cálculo de espessura de parede, raios de concordância e ângulos para fundidos, limites práticos em estampagem profunda, enrugamento e deformação de metais em estampagem e forjamento etc. Esses padrões serão inseridos por especialistas de manufatura e de projeto, capazes de aplicar esses programas nos projetos para eliminar algumas das impraticalidades. Porém, essa prática não elimina a prática de times, mas otimizará projetos. Esses sistemas inteligentes devem ser simples o suficiente para serem atualizados pelos especialistas no processo da empresa.

O sistema CAD permite que se faça simulações para se testar alternativas. Durante a evolução do projeto, tanto representantes da manufatura como do

projeto podem trabalhar simultaneamente em simulações, e o cliente pode ver alternativas de projeto sem que se tenha produzido uma peça sequer.

Entre os vários pacotes de simulações pode-se encontrar:

- Análise estrutural;
- Análise de dinâmica e estática linear;
- Análise de dinâmica e estática não linear;
- Simulação de estampagem de chapas;
- Testes aerodinâmicos;
- Etc.

Todo trabalho de desenvolvimento é feito no terminal, e quando o protótipo acusar, por exemplo, deflexões pouco maiores que o esperado, é feito o refinamento com simulação, provando ser efetivo e mais rápido do que modificar o protótipo fisicamente.

Após a aprovação de um protótipo, os mesmos dados do modelo são utilizados como base para a usinagem CNC de protótipos, com os caminhos da ferramenta sendo criados por um "software" específico. Neste estágio, o corte do metal pode ser simulado na tela, de modo que pequenos problemas possam ser eliminados, antes que os dados possam ser pós-processados para a linguagem apropriada para a máquina CNC.

Também existem "softwares" que projetam instalações elétricas e tubulações em veículos, aviões, casas etc., automaticamente partindo do "lay-out" esquemático do produto e então o projetista adiciona os componentes elétricos em forma de blocos. Posteriormente é adicionado os suportes/conduites para a instalação. Normalmente se reduz o "lead time" em até quatro vezes.

A meta a ser atingida portanto, é a obtenção de uma base de dados comum disponível para todos os departamentos de maneira necessária para os mesmos, e para o processamento automático desses dados quando for necessário.

Os dados devem estar disponíveis como:

- Dados de projeto para a engenharia de produto e para fornecedores de componentes;
- Especificação de projeto funcional para fornecedores especialistas;
- Dados de manufatura para a engenharia de manufatura;
- Especificações completas para análise de custos;
- Especificações em termos de produto para "Marketing".

A integração de dados CAD/CAM é um longo caminho, onde muitos programas permitem o uso dos dados do CAD para serem convertidos em dados de controle numérico. Há muitos "softwares" que podem ser usados para simular processos em máquinas como uma prensa, torno, cortadores a laser, e máquinas de corte por jato de água [Hartley, 1992].

Em paralelo tem-se a integração dos processos com o projeto, onde o sistema CAPP (Computer Aided Process Planning) capacita o time de trabalho a justificar decisões de projetos do ponto de vista de processos simultaneamente, satisfazendo os requisisrtos funcionais e estruturais da peça [Parsae, 1993].

Para que haja o aprimoramento na utilização do CAD/CAM, o custo das estações de trabalho está diminuindo, e as empresas estão conectando as estações de trabalho com o usuário e a malha, permitindo uma expansão a baixo custo.

Em muitos casos, o uso de sistemas CAD/CAM é inevitável para empresas que visam alcançar os padrões mundiais em "lead times" e Qualidade [Hartley, 1992].

2.6.8 "WORKFLOW" [Stark, 1992]

Para aumentar a efetividade de um setor fabril é necessário reduzir o "lead time" e os tempos entre as operações de produção. A utilização de células de fabricação em substituição ao "layout" funcional, e conseqüente redução de filas, e de transportes; programas para a redução do tempo de preparação de máquimas; manutenção preventiva total, são alguns pontos que ajudam a reduzir custos que não adicionam valores ao produto. O "Just-in-Time" (JIT) é uma técnica de programação que visa principalmente a redução de filas e inventário em processo no chão de fábrica.

O termo "Workflow" de engenharia se refere ao fluxo de trabalho total das atividades que criam ou usam dados de engenharia. O "Workflow" não se limita ao fluxo de trabalho dos departamentos clássicos de engenharia. Algumas dessas atividades são internas a empresas e outras são externas. Por exemplo, o uso de instruções de soldagem no chão de fábrica é uma etapa do "Workflow" de engenharia como um todo. Na teoria, o "Workflow" se inicia com a especificação inicial do produto e termina com o produto em uso com o cliente. Mas o "Workflow" de engenharia não é um processo linear, iniciando numa atividade bem determinada e continuando em série por outras atividades bem determinadas, até atingir a atividade final bem determinada. É um processo complexo onde algumas atividades correm em série e outras em paralelo.

No fim da década de 80, identificou-se a necessidade de implantação de sistemas de gerenciamento de "Workflow" e de dados de engenharia (EDM/EWM) para gerenciamento de todos os dados de engenharia - todos os dados relacionados ao produto e processos utilizados para projetar, fabricar, e dar suporte ao produto - e também do fluxo de trabalho de todas as atividades que geram ou utilizam dados de engenharia. Esses sistemas suportam técnicas (Como a ES por exemplo) que ajudam a melhorar o "Workflow" de engenharia.

Esses sistemas ajudam diferentes grupos de pessoas a compartilharem informações e a se comunicarem efetivamente, contribuindo para que os times de trabalho formados por pessoas de diferentes departamentos possam trabalhar em paralelo, dando suporte às aplicações das ferramentas de ES.

Os sistemas EDM/EWM oferecem o potencial para o melhor uso de recursos, melhor acesso a informações, melhor reutilização de informações de projeto (desde que o projeto esteja sobre controle), melhor controle de alterações de engenharia, uma redução no custo do projeto, uma redução no "lead time" e aprimorar a segurança das informações de engenharia. Ajudam a melhorar a produtividade do processo de engenharia e permitem que as empresas sejam mais flexíveis nos processos de manufatura. Ajudam a melhorar a qualidade dos produtos e permitem que as empresas sejam mais adaptáveis às exigências do mercado.

A implantação desses sistemas é de longa duração, sendo que para empresas de médio e grande porte, essa implementação gira em torno de dois a sete anos. Envolve a conscientização dos usuários, constante treinamento, e ajuste do sistema de acordo com a evolução da utilização do projeto piloto. É importante realçar que o "Workflow" é específico para cada tipo de empresa, e que não existe soluções fáceis disponíveis que permitam que uma empresa aprimore o seu "Workflow" sem primeiramente entender todos os detalhes do seu "Workflow" [Stark, 1992].

2.6.9 REENGENHARIA [Hammer,1990]

Na época de rápidas mudanças tecnológicas e com o ciclo de vida de produtos cada vez menor, o desenvolvimento de produtos continua a passos da idade da pedra. Na era do cliente, o cumprimento do contrato apresenta erros e as solicitações do cliente demoram semanas para serem respondidas. As empresas não estão preparadas para operar nos anos 90.

Os métodos convencionais para auxiliar a melhoria da performance das empresas, ou seja, racionalização de processos e automação, não têm surtido o efeito que as empresas necessitam para atender as atuais exegências do mercado. Particularmente, os investimentos pesados em tecnologia de informação tiveram resultados ineficientes. A principal causa para essa ineficiência foi que as empresas utilizaram essa tecnologia de informação para mecanizar os processos antigos de executar o negócio. Foi deixado os processos existentes intactos e foi utilizado o computador para acelerá-los. Mas muitos dos projetos de trabalho, "Workflows", mecanismos de controle e estruturas organizacionais, surgiram de um ambiente competitivo diferente e antes do advento do computador. Eles foram gerados em torno de eficiência e controle, enquanto que a nova década está em torno de inovação e rapidez, serviço e qualidade.

Não é surpresa em se descobrir que os atuais processos e estrura de uma empresa estão fora de moda e obsoletos, ou seja, as estruturas de trabalho e processos não se mantiveram atualizadas com as mudanças na tecnologia e nos objetivos do negócio. Em muitas empresas o trabalho foi organizado como uma

seqüência de tarefas separadas e foram empregados mecanismos complexos para dirigir e controlar seus passos.

Deve-se aplicar a reengenharia nesses processos de negócio, ou seja, utilizar a potência da tecnologia de informação moderna para reprojetar radicalmente os processos de negócio a fim de alcançar o desempenho necessário para a nova situação mercadológica. Na sua análise, a reengenharia reconhece e rejeita alguns dos processos antigos e encontra novos caminhos que se ajustam à nova situação.

A reengenharia não pode ser planejada detalhadamente e finalizada a passos curtos e cautelosos. É uma proposição de tudo ou nada com um resultado incerto. Porém, muitos negócios nos quais foram aplicados com sucesso o processo de reengenharia nos seus processos, estão servindo de exemplos para outras empresas.

Alguns dos princípios descobertos pelas empresas que tiveram seus processos atualizados pelo processo de reengenharia que podem ajudar outras empresas a implantar a reengenharia nos seus processos de negócio são:

a. Organizar-se por resultados e não por tarefas: Esse princípio diz para se ter uma pessoa para executar todos os passos em um processo. Projetar o trabalho de uma pessoa em torno de um objetivo ou resultado no lugar de uma simples tarefa. Essa pessoa passa a ter a visão do processo como um todo.

b. O usuário do resultado do processo deve ser o executor do mesmo: Os indivíduos que utilizam o resultado de um processo podem fazê-lo. Por exemplo, utilizando sistemas computacionais e banco de dados, os departamentos podem fazer suas próprias compras sem sacrificar os benefícios de compradores especializados. Nestes casos, há pouca necessidade de supervisão e as interfaces e ligações podem ser eliminadas, como também os mecanismos utilizados para coordenar aqueles que executam o processo e os que se utilizam do resultado.

c. Quem gera informação faz o processamento da mesma: Os dois princípios anteriores se referem a comprimir o processo linear; enquanto esse sugere a

movimentação de trabalho de uma pessoa ou departamento para outro, aquele departamento que produz uma determinada informação também deve processá-la.

d. Tratar recursos como dispersos geograficamente mesmo que eles estejam centralizados: Descentralizar um recurso gera melhores condições de serviço para os que o utilizam, porém o sistema não pode perder o controle do mesmo.

e. Fazer fluir atividades paralelas, e não integrar seus resultados: É o caso típico de desenvolvimento de um produto, onde se tem vários times de trabalho atuando em diferentes etapas de desenvolvimento simultaneamente.

f. Dar o poder de decisão para aqueles que executam o trabalho e elaborar o controle para o processo: Esse princípio sugere que as pessoas que executam um serviço devem tomar as devidas decisões relacionadas a ele e que o processo por si só tenha pontos de controle. Com isso a estrutura piramidal de organização pode ser "achatada", com apenas alguns níveis hierárquicos.

g. Obter informação da fonte, uma única vez: As informações geradas podem ser armazenadas num banco de dados "on line" para todos os que as necessitam [Hammer, 1990].

O processo de reengenharia visa antes de tudo contribuir para o trabalho da ES, pois objetiva a redução do "lead time" e contribuir para que uma empresa alcance as exigências do mercado que são inovação e rapidez, serviços e qualidade para produtos com ciclos de vida curtos.

Com o tópico Reengenharia finaliza-se a descrição sucinta das ferramentas utilizáveis pela ES, sendo que nos capítulos seguintes é apresentado estudos de aplicação de algumas dessas ferramentas numa empresa produtora de bens de capital sob encomenda.

3 - EXEMPLOS DE APLICAÇÃO

Os exemplos apresentados a seguir, são de componentes de hidrogeradores para usinas hidrelétricas de uma empresa produtora de bens de capital sob encomenda.

A metodologia de ES aplicada difere em alguns pontos dos apresentados na revisão bibliográfica (capítulo 2), pois a empresa não trabalha num ambiente de ES.

Estes exemplos não tiveram uma implantação de "cima para baixo" na escala hierárquica da organização, mas sim de esforços de funcionários que sentiram a real necessidade da utilização dessa metodologia de trabalho para alcançar as metas estabelecidas pela organização.

Já as técnicas descritas nas ferramentas da ES utilizadas foram seguidas exatamente conforme o descrito no capítulo 2 dessa dissertação.

Todos os exemplos partiram de projetos existentes, elaborados através do sistema convencional (seqüencial) de estrutura de trabalho. Em virtude das dificuldades normalmente encontradas (nesse sistema convencional) para melhorar o processo de trabalho e para maximizar os recursos produtivos existentes foram elaborados esses trabalhos como orientação para o projeto em questão e para os demais projetos que venham a surgir. Os resultados foram bastantes significativos.

As maiores dificuldades encontradas foram:

- A resistência das pessoas a trabalhar diferentemente do estabelecido pelas diretrizes do departamento funcional o qual pertencem;
- Dificuldade de trabalhar em equipe;
- Resistência pessoais a mudanças.

Essas dificuldades exigiram e exigem um esforço maior dos envolvidos para se obter o êxito esperado.

Esses exemplos estão mostrando às pessoas da organização que existem maneiras mais produtivas e eficiêntes de se trabalhar para alcançar as exigências do mercado atual, ou seja a metodologia da ES.

Os exemplos a seguir ilustram componentes de três áreas de fabricação dentro da empresa ou seja: área de Caldeiraria e Solda, área de conformação de tubos (área de montagem) e área de usinagem.

3.1 EXEMPLO 1 - COMPONENTE DE CALDEIRARIA: DIAFRAGMA

3.1.1 OBJETIVO

Este exemplo está dividido em duas etapas: a primeira referente à metodologia de trabalho até então utilizada para o desenvolvimento, projeto e fabricação de um produto, que serviu de base para um aperfeiçoamento do projeto e dos métodos de fabricação; a segunda etapa se refere a utilização de algumas ferramentas de ES no desenvolvimento, projeto e fabricação de um produto. A metodologia utilizada foi a de uma equipe multifuncional constituída de representantes de projeto, métodos e de fabricação que utilizaram as ferramentas de Projeto para a Manufatura e Montagem (DFMA) com as técnicas de projetar com um número reduzido de peças, minimizar a variedade de peças, reduzir os ajustes na montagem, facilitar o manuseio e facilitar a montagem com a utilização tão somente de equipamentos de fabricação existentes; utilizou-se também o sistema CAD/CAM para executar o desenvolvimento de chapas, de programas CN e de simulações de montagem durante a fase de desenvolvimento e de detalhamento do novo projeto. O produto analisado foi um componente de um Gerador, chamado de Diafragma.

3.1.2 DESCRIÇÃO DO COMPONENTE DIAFRAGMA

O diafragma é um componente estrutural do equipamento gerador/turbina para Usinas Hidrelétricas, constituído de vários segmentos de chapa fina (normalmente 4,75mm de espessura), unidos através de parafusos, cuja função é separar o ambiente do gerador do ambiente da turbina hidráulica. A figura 3.1, é um corte

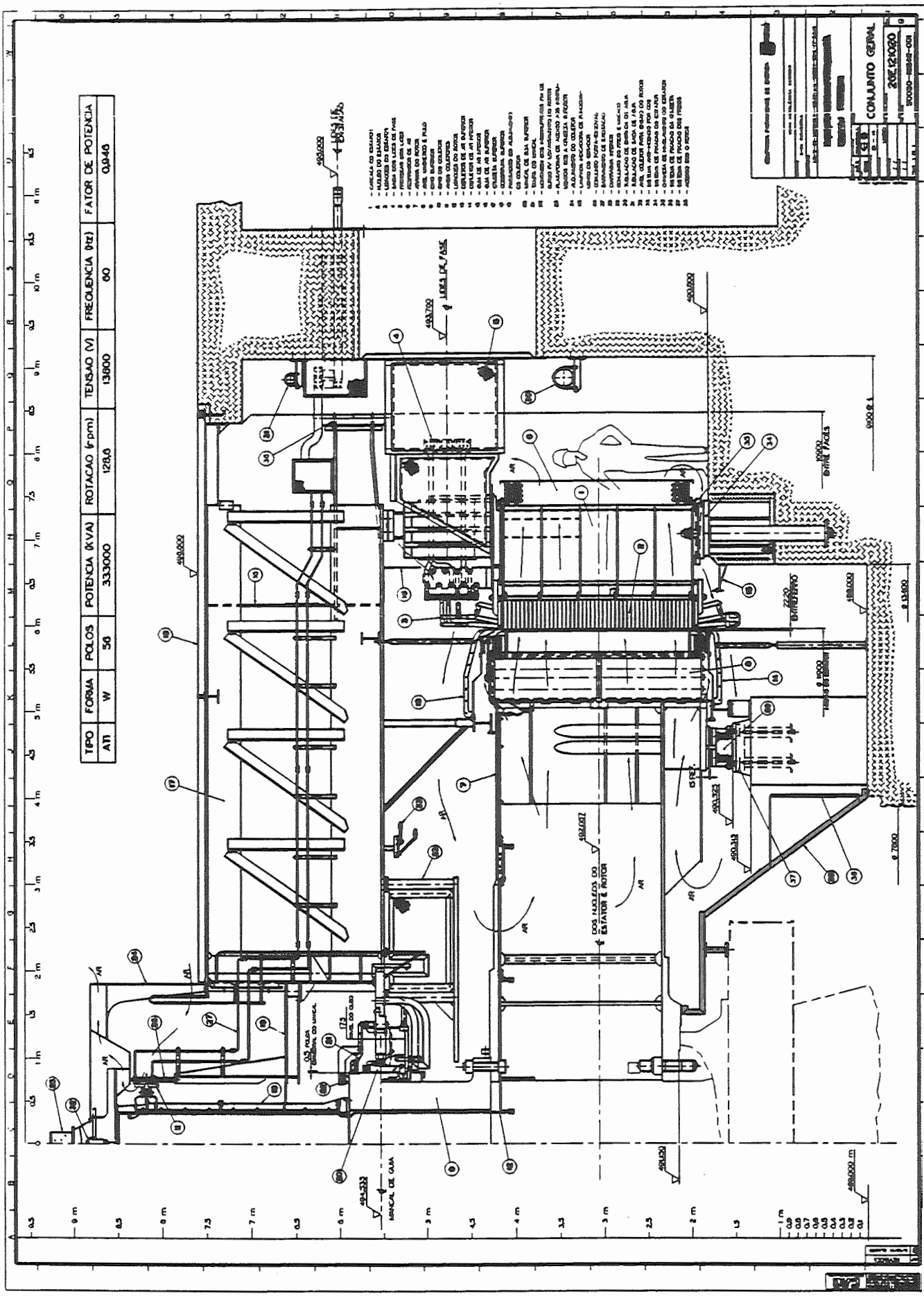


Figura 3.1 - Vista em corte de um Gerador mostrando o componente Diafragma

transversal do gerador hidráulico e indica o componente Diafragma no canto inferior esquerdo. Para uma melhor visualização, o Diafragma foi pintado de vermelho. A figura 3.2 é uma vista tridimensional somente do componente. Sua forma é de um anel, cujo furo central permite a passagem do eixo e o diâmetro externo permite a fixação, geralmente no concreto. Dependendo das dimensões externas do componente, utilizam-se suportes intermediários, apoiando o conjunto numa estrutura inferior, podendo ser a cruzeta inferior do gerador ou estruturas da própria turbina hidráulica. As figuras 3.3 e 3.4 mostram esses detalhes.

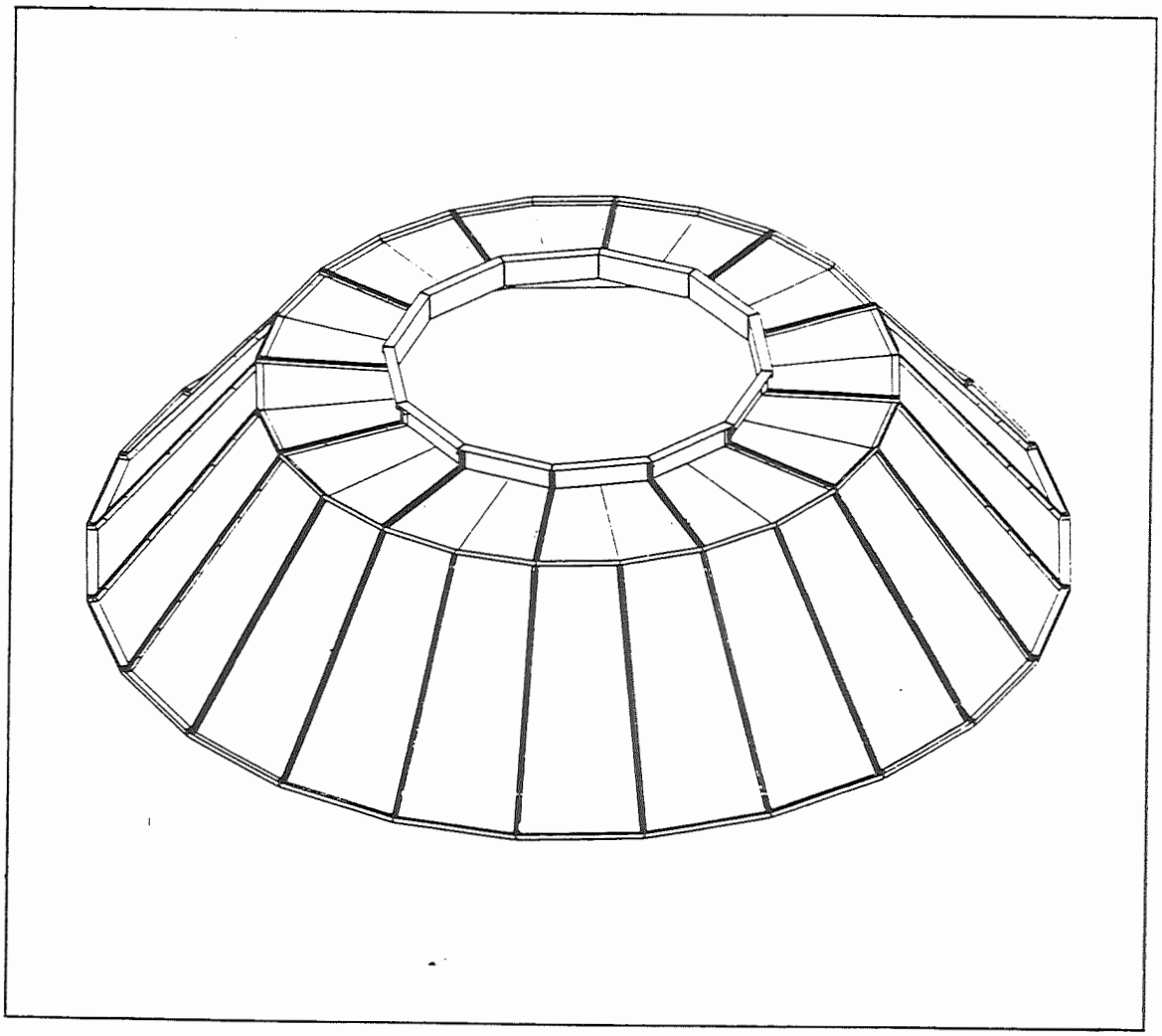


Figura 3.2 - Vista Tridimensional do Diafragma

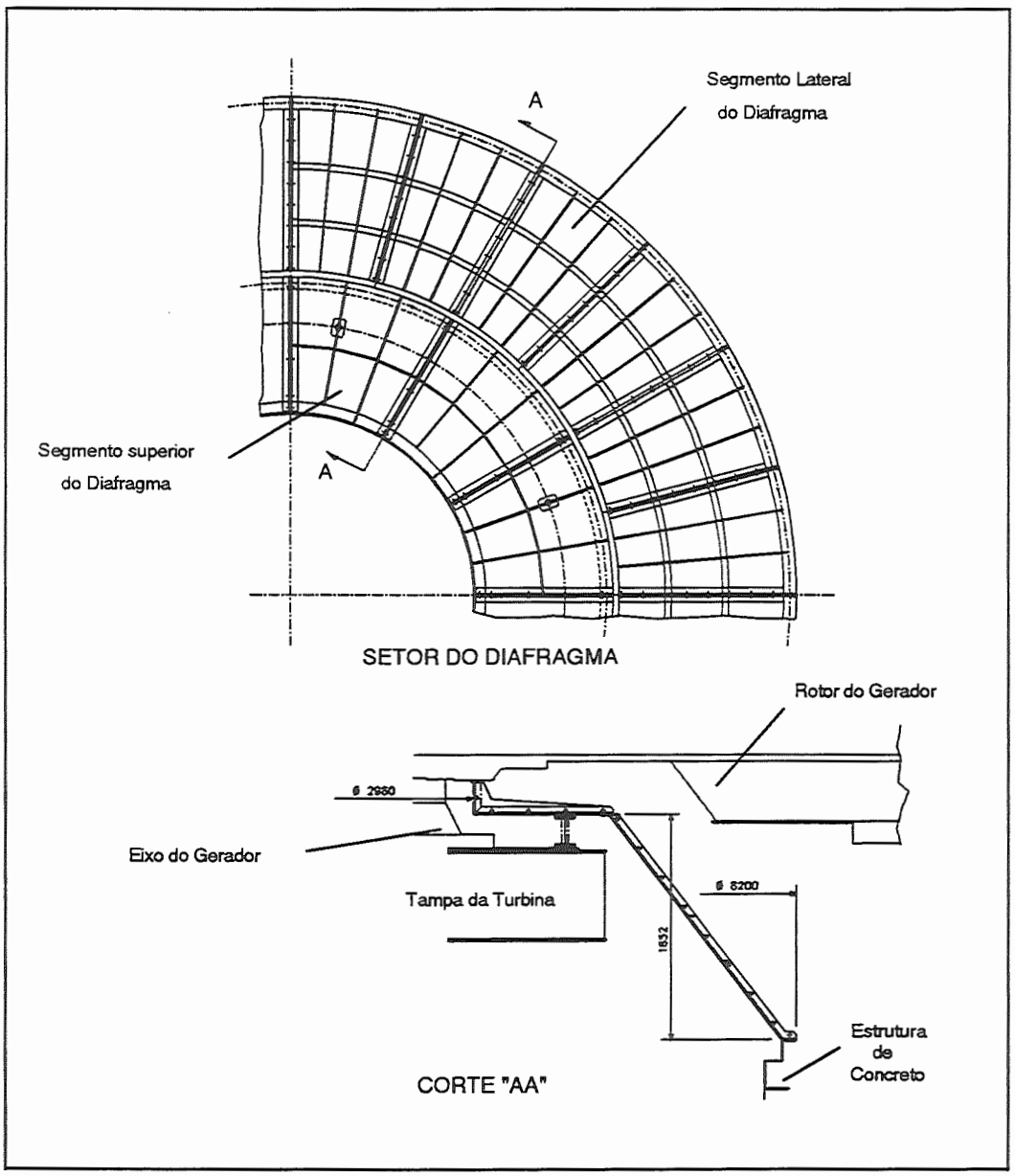


Figura 3.3 - Diafragma como Projetado convencionalmente

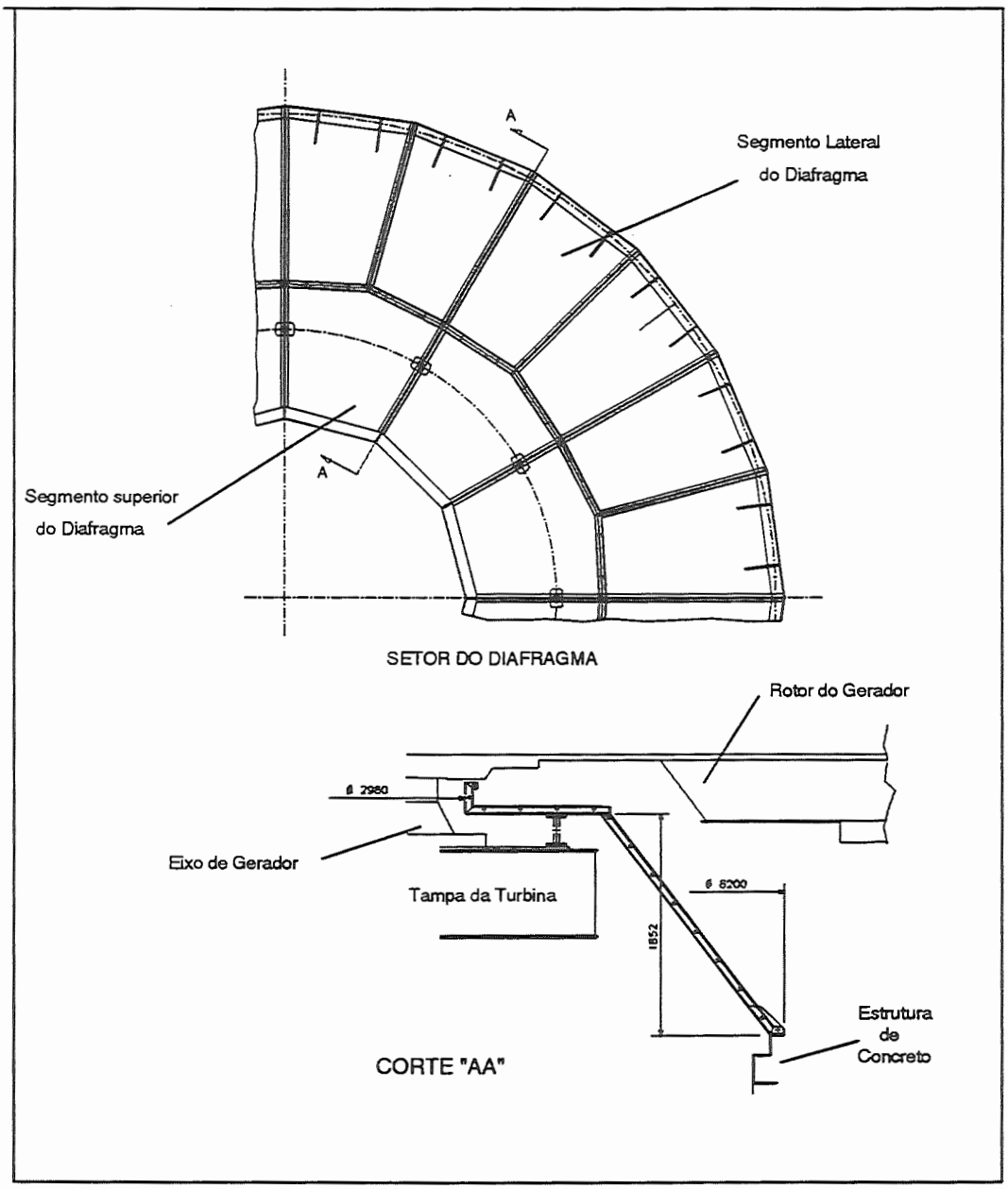


Figura 3.4 - Diafragma como Projetado com técnicas de Engenharia Simultânea

3.1.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA APLICAÇÃO

3.1.3.1 PROJETO CONVENCIONAL

O Diafragma era convencionalmente projetado para ser fabricado através de chapas recortadas e soldadas umas às outras formando os segmentos. Para se obter maior rigidez no conjunto, soldavam-se nervuras na face superior de cada segmento. A figura 3.5 ilustra o aspecto construtivo de um segmento e suas partes.

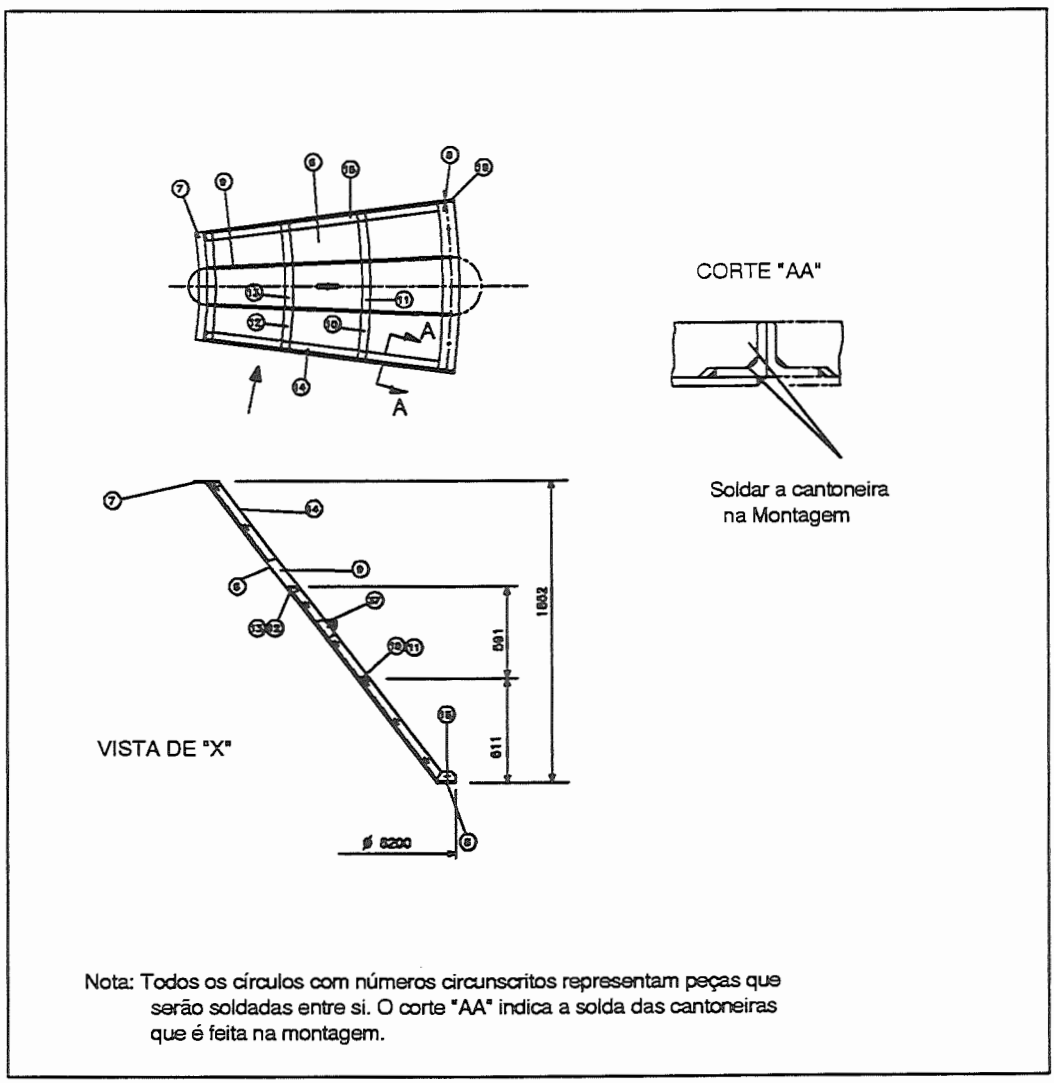


Figura 3.5 - Segmento como projetado convencionalmente

Do ponto de vista de fabricação tinha-se:

a - Equipamentos Utilizados:

- Puncionadeira a Controle Numérico: É uma máquina de corte com punções para chapas de até 5mm de espessura. É caracterizada pela rapidez com que corta, executa furos (redondos, oblongos), recortes, marcações de referências, enfim, qualquer formato uma vez programado para tal;
- Puncionadeira Manual: É uma máquina para furar e recortar chapas através de punções de maneira manual;
- Dobradeira de chapas;
- Furadeira de Bancada;
- Equipamento de Oxicorte a controle numérico;
- Serra de fita.

b - Processo de Fabricação

- O corte dos componentes constituídos de chapas de até 5mm de espessura era executado através de programa de controle numérico para a máquina puncionadeira a controle numérico.
- As cantoneiras de contorno eram cortadas em serra, com cerca de 50% dos furos feitos por traçagem e furação em puncionadeira manual. Os outros 50% dos furos eram feitos durante a montagem do conjunto para garantir uma montagem com qualidade.
- As demais chapas com espessuras acima de 5mm de espessura eram cortadas no sistema oxicorte a controle numérico, e a furação feita por traçagem e furadas em furadeira de bancada.
- A área de montagem recebia todas as peças dos diversos setores em caçambas, separava-as e iniciava o agrupamento dos componentes, unindo-os por pontos de solda. Após o fechamento do círculo, com todos os componentes montados e ponteados, e os segmentos unidos por parafusos provisórios, executava-se a solda por completo.

Os problemas normalmente encontrados eram:

- Número excessivo de pequenas peças;
- Número excessivo de programas a controle numéricos;
- Manuseio e transporte de grande quantidade de pequenas peças, oriundas de setores diferentes da fábrica;
- A preparação para a montagem era demorada, pois era necessário aguardar que todas as peças estivessem disponíveis. O processo de identificação e separação de peças era dificultado pelo grande número de diferentes peças, consumindo muito tempo;
- Muitos furos a serem executados durante a montagem utilizando-se furadeira de bancada ou puncionadeira manual;
- Necessidade de pequenos ajustes em muitas pequenas peças;
- Grande volume de solda, para um componente relativamente leve. Essa solda geralmente causava deformação nos segmentos, necessitando de retrabalho manual de desempenamento, tornando a qualidade prejudicada muitas vezes.

3.1.3.2 FORMAÇÃO DA EQUIPE MULTIFUNCIONAL

Os desenhos do Diafragma foram inicialmente emitidos da engenharia do produto para a área de manufatura nos padrões de projeto feito da maneira convencional. A experiência anterior de fabricação de Diafragmas similares sugeriu inovações no projeto desse tipo de componente. Criou-se então uma equipe constituída de representantes das seguintes áreas: Planejamento Industrial, Engenharia de Manufatura e Métodos, Engenharia do Produto, Contra Mestre de fabricação e o envolvimento dos operadores dos equipamentos durante a elaboração dos protótipos. Esses elementos tinham a característica de serem conhecedores da parte técnica e com um bom relacionamento profissional entre eles. Cientes da necessidade de melhoria, os representantes trabalharam como um time de trabalho para alcançar as metas estabelecidas para o grupo.

As principais metas estabelecidas para o grupo foram:

- Eliminar o máximo de solda, utilizando reforços através de dobramento de chapa (vincos);
- Reduzir o número de itens que formam os segmentos;
- Utilizar o máximo a puncionadeira CN para corte/furação, bem como fazer a marcação de referência para dobra;
- Substituir furos circulares para oblongos, permitindo ajustes na montagem;
- Eliminar a execução de furos durante a operação de montagem;
- Redução da Mão de Obra de fabricação.

3.1.3.3 PROJETO REVISADO

Essa equipe passou a se reunir periodicamente e trabalhou-se na elaboração de um segmento protótipo que atendesse as metas estipuladas e garantisse a qualidade necessária para o componente. Desenvolvido o componente, o Diafragma foi reprojetado rapidamente, com os desenhos contendo somente as informações necessárias já pré-estabelecidas pelo grupo. Utilizou-se recursos do CAD para se fazer a simulação de montagem do diafragma como um todo.

Aprovado o novo projeto, procedeu-se a fabricação e montagem do Diafragma. Após a montagem do conjunto, notou-se ainda que o projeto poderia ser melhorado nos seguintes itens:

- Eliminar o olhal de içamento soldado no segmento, fazendo-o como parte da própria chapa que forma o segmento, cortado na puncionadeira CN, e dobrado em dobradeira, conforme indicado na figura 3.6;
- Eliminar os reforços nos segmentos inferiores, pois a rigidez e resistência dos segmentos após a dobra/solda eram suficientes para garantir a resistência do conjunto;
- Execução dos furos oblongos para uma melhor ajustagem dos painéis superiores nos inferiores durante a montagem.

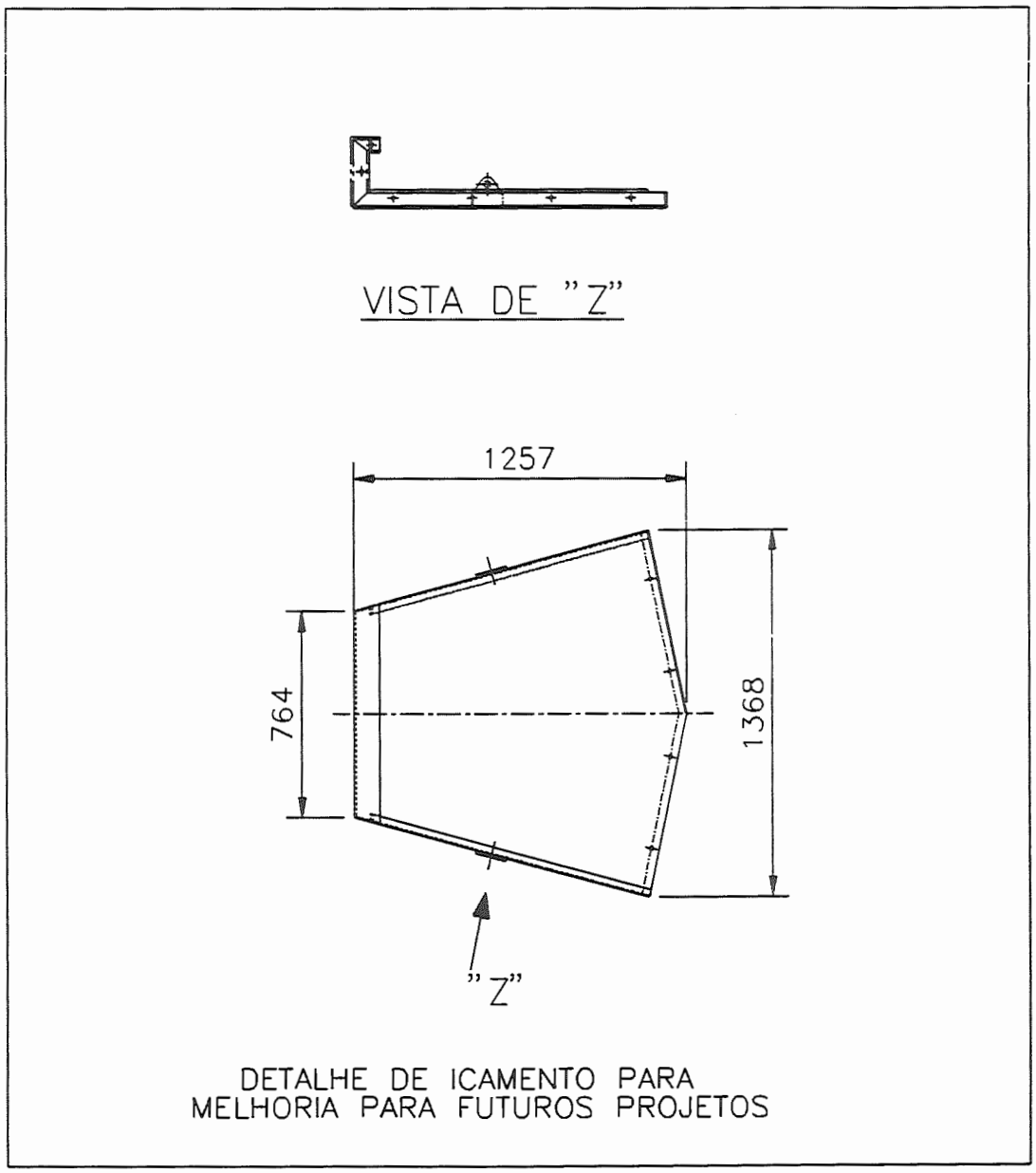


Figura 3.6 - Detalhe de melhoria para os futuros projetos

O quadro abaixo mostra a comparação das situações/alterações obtidas nas diferentes fases do projeto:

	PROJETO CONVENCIONAL	PROJETO REVISADO	PROJETO FUTURO
Número de itens para caldeiraria	584 + ferragens	240 + ferragens	159 + ferragens
Quantidade de solda em metros	450 solda filete 4mm 52 solda fechamento	16 solda filete 4mm 37 solda filete 3mm 44 solda fech. quadro	7 solda filete 4mm 44 solda fech. quadro
nº de furos feitos na puncionadeira CN	24	744	864
nº de furos feitos na puncionadeira manual	552	--	--
nº de furos feitos na furadeira de bancada	336 sendo 132 roscados	192 sendo 96 roscados	144 sendo 96 roscados

Observação : Outras sugestões foram feitas após a elaboração da montagem, porém serviu como alerta para outros componentes em projeto.

3.1.4 RESULTADOS

3.1.4.1 REDUÇÃO DE CUSTOS

Para esta análise, faremos uma comparação com o Diafragma de uma obra "x", uma peça de referência recentemente fabricada, que serviu de base para o orçamento do Diafragma da obra "y" (Diafragma em estudo), subdividido em "Orçado", "Projeto Original" e "Projeto Revisado".

O "Orçado" leva em conta as características estimadas de peso, espessura da chapa dominante e da mão de obra (M.O.D.) de fabricação. Esta estimativa foi feita durante a fase de orçamento da máquina. A base utilizada para esses dados foi o diafragma da obra "x".

O "Projeto Original" descreve as características do Projeto Convencional (item 3.1.3) descrito anteriormente.

O "Projeto Revisado" descreve as características do item 3.1.5

PROJETO DO COMPONENTE DIAFRAGMA				
	Obra "X"	Orçado Obra "Y"	Projeto Original Obra "Y"	Projeto Revisado
Espessura das chapas (mm)	4,75	4,75	4,75	4,75
Peso total (Kg)	7.130	4.620	4.200	3.200
Diâmetro externo (mm)	10.630	---	8.000	8.000
Diâmetro Interno (mm)	3.900	---	2.980	3.000
Altura (mm)	830	---	2.115	2.110
Número de segmentos sup.	24	---	24	24
Número de segmentos inf.	24	---	12	12
M.O.D. prevista de caldeiraria (hs)		800	720	375
M.O.D. realizada (hs)	1.200	---	---	300
Ciclo de fabricação/montagem	7 meses	---	5 meses	2 meses

Concluímos dessa tabela que houve um ganho de 500 hs (63%) em relação ao orçado e uma diminuição de 60% do ciclo previsto para a fabricação/montagem.

3.1.4.2 CICLO DOS TRABALHOS

O figura 3.7 ilustra comparativamente os ciclos dos trabalhos para as duas situações: do projeto convencional e do projeto revisado.

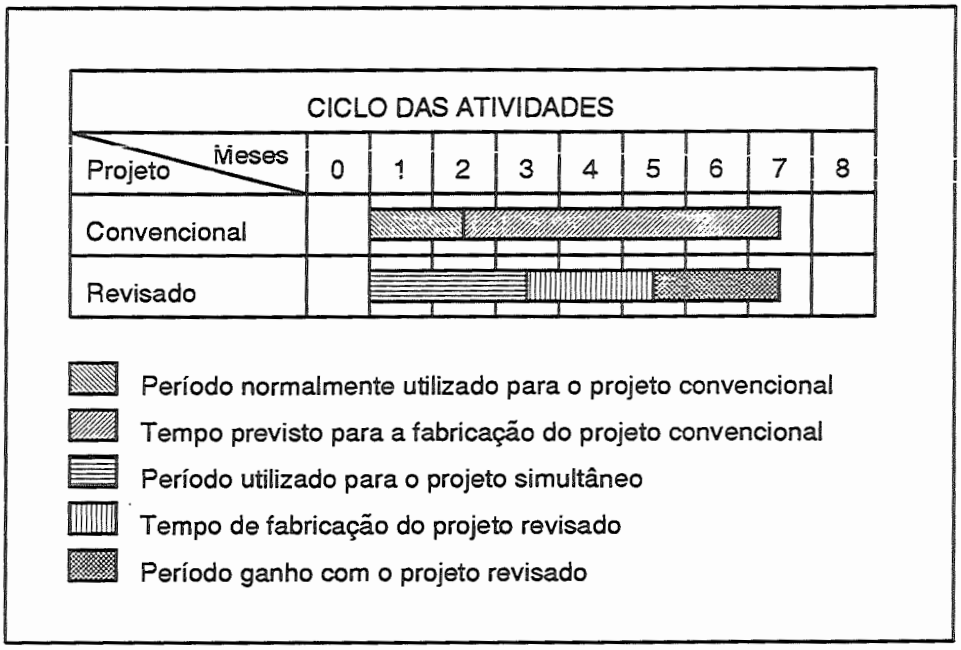


Figura 3.7 - Ciclo comparativo de atividades entre o projeto convencional e o revisado.

Analisando a figura 3.7, observa-se que apesar do tempo utilizado para o projeto ter sido maior no projeto revisado que no projeto convencional, o ciclo total ficou menor em dois meses.

O motivo para essa redução de ciclo foi que como a produção tinha tido participação na fase de projeto, todas as etapas de engenharia industrial foram feitas simultaneamente, incluindo os programas de controle numérico e a simulação da montagem no sistema CAD (com essa simulação pôde-se verificar e corrigir possíveis erros de desenvolvimento/programação, minimizando assim problemas para a produção).

Também pode-se citar que houve uma maior produtividade com maior qualidade na fabricação/montagem, devido ao envolvimento de elementos da produção na fase de projeto, criando um comprometimento para o projeto. Não houve necessidade de qualquer alteração do projeto para se adaptar aos equipamentos, pois o mesmo já havia sido projetado para a manufatura.

3.1.5 CONCLUSÃO

Sabe-se que cerca de 70 a 80% do custo de manufatura de um produto é definido no projeto do mesmo, e que as atenções voltadas para o projeto devam ser cada vez mais atuantes.

O exposto acima mostra que o trabalho conjunto e simultâneo entre membros do projeto e membros da produção (planejamento industrial, engenharia de manufatura e métodos e produção) gera não somente redução no custo do produto final, como também redução no ciclo de fabricação (inventário em processo e prazo final), mesmo que a operação de projeto se prolongue devido ao intercâmbio de informações das diversas áreas envolvidas.

As alterações elaboradas foram fruto do conhecimento das diversas áreas utilizando apenas e tão somente os recursos existentes e disponíveis.

Com o aprimoramento deste método de trabalho, o amadurecimento da equipe e a utilização em outros componentes, certamente se diminuirá o ciclo do produto, o custo e melhorará a qualidade do produto final.

3.2 EXEMPLO 2 - COMPONENTE DE CONFORMAÇÃO: LIGAÇÕES DO ESTATOR

3.2.1 OBJETIVO

O objetivo deste estudo é de mostrar algumas das ferramentas da ES - Projeto para Manufatura (DFM) assistido por computador atuando principalmente nos detalhes de facilidade de fabricação e padronização de ferramentas, pela utilização do sistema CAD parametrizado através de um "software" - atuando na fase de projeto do produto. Um "software" desenvolvido para uma máquina de dobra específica, capaz de informar e de verificar as condições de manufatura quanto a existência de ferramenta e quanto às limitações físicas do equipamento e das ferramentas durante a fase de detalhamento do projeto. Análise esta feita pelo próprio projetista.

3.2.2 DESCRIÇÃO DO COMPONENTE LIGAÇÃO DO ESTATOR

O objeto em estudo é uma série de tubos de cobre que formam as chamadas de Ligações dos estatores de Hidrogeradores. É normalmente utilizado em hidrogeradores de alta potência e é constituído de tubos de cobre de parede de alta espessura que unem as barras estatóricas entre si e os anéis de circuito, e estes anéis as saídas de fases e de neutro. Sua função é de formar o enrolamento do estator e de transmitir corrente elétrica.

A figura 3.8 exemplifica um setor de um estator com as devidas ligações.

O formato dessas ligações é o mais variado possível, contendo várias dobras de diferentes ângulos no tubo. A figura 3.9 exemplifica alguns tipos de ligações.

O problema a ser abordado é o da conformação dos tubos que formam as ligações do estator, que por razões de precisão de montagem , executada na grande maioria das vezes no canteiro de obras, necessita ter uma certa precisão e repetibilidade.

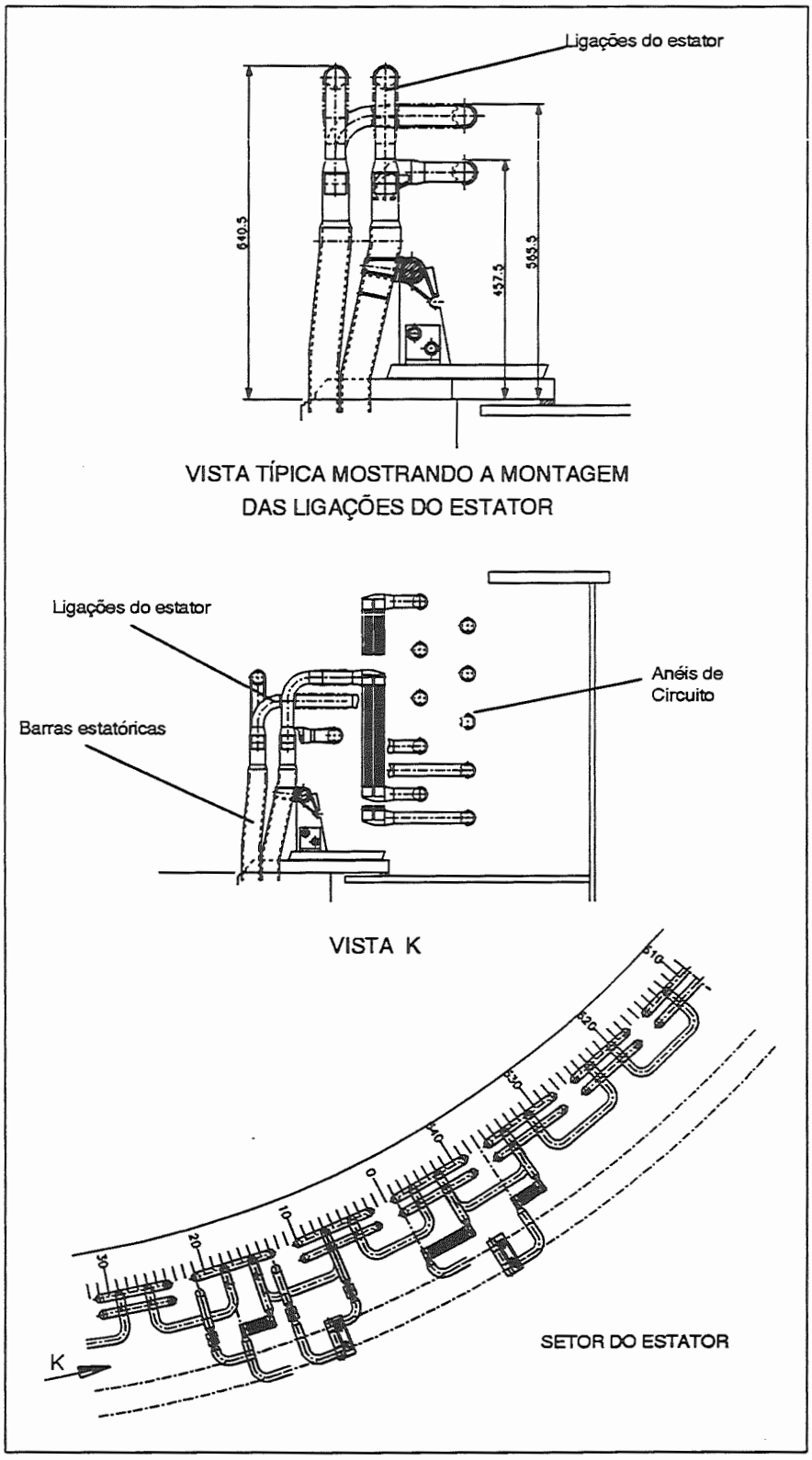


Figura 3.8 - Setor de um estator mostrando algumas ligações

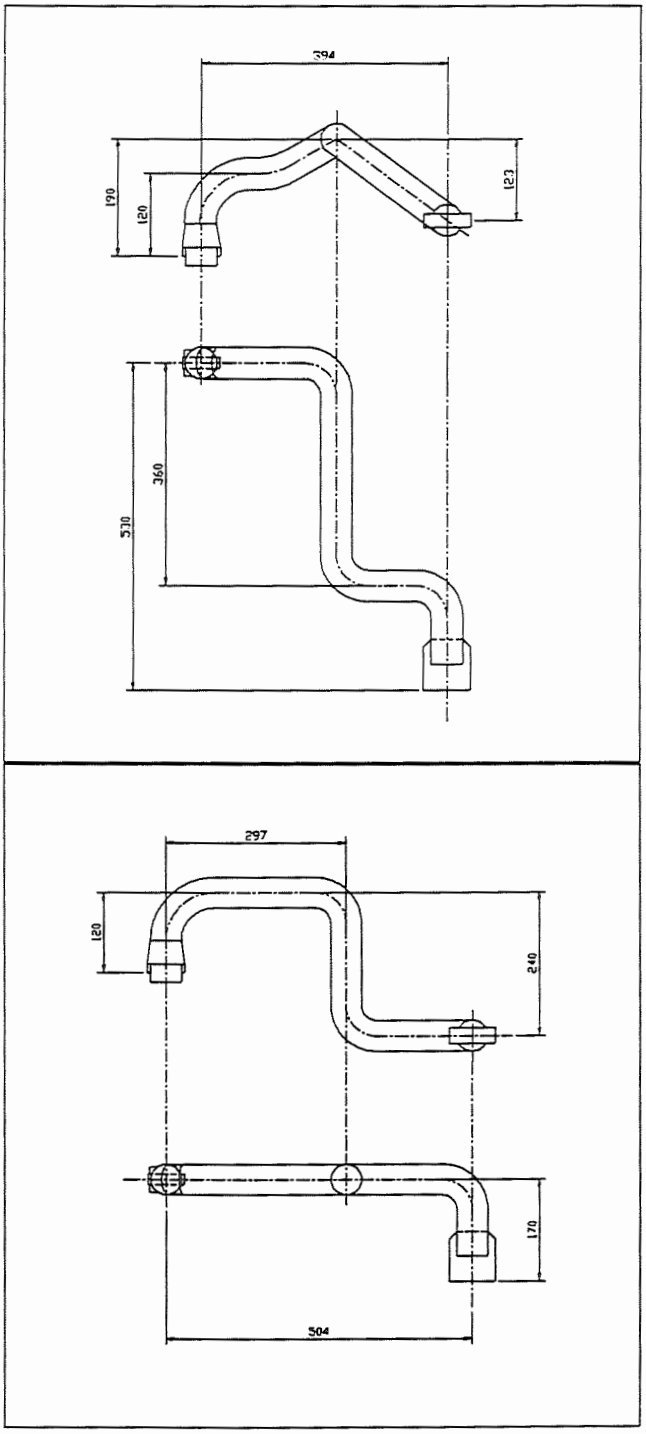


Figura 3.9 - Exemplos de ligações do estator

3.2.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA APLICAÇÃO

3.2.3.1 MÁQUINAS E FERRAMENTAS

As dobras das ligações são efetuadas numa máquina mecânica convencional de curvar tubos cuja constituição básica da área atuante de dobra se compõe das seguintes ferramentas (figura 3.10):

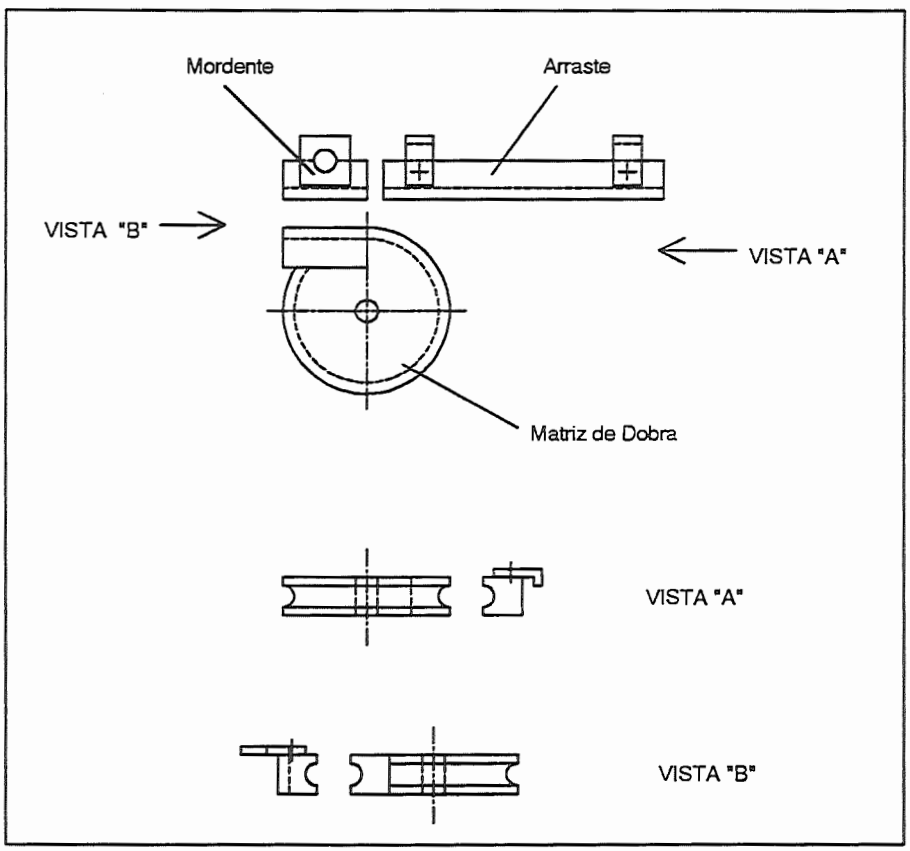


Figura 3.10 - Ferramentas para a máquina de dobrar tubos

- 1- Matriz de dobra - é uma matriz com um raio de dobra de um determinado diâmetro externo específico.

- 2- Arraste - para tubos de diâmetro externo e comprimento de atuação específicos, atua na fixação do tubo para a execução da dobra.

- 3- Mordente - para tubos de diâmetro externo específico, acompanha o tubo durante a execução da dobra.

3.2.3.2 PROCEDIMENTO NORMAL PARA SE DOBRAR UMA LIGAÇÃO

Primeiramente se corta o tubo no comprimento desenvolvido. Então é necessário saber o ponto de início de cada dobra, o ângulo de dobra e o ângulo de posicionamento no espaço (ângulo de rotação).

Para facilitar o entendimento, considerar o tubo abaixo; os passos que o operador, de posse da ferramenta e do tubo mostrado na figura 3.11, deverá executar são:

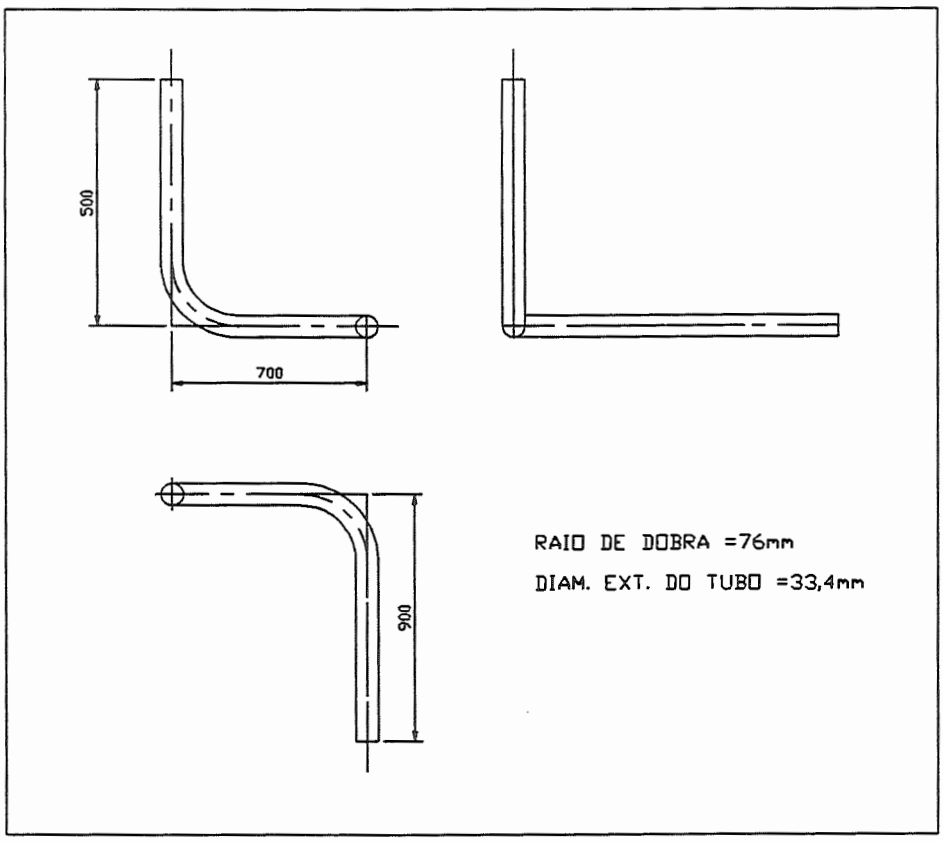
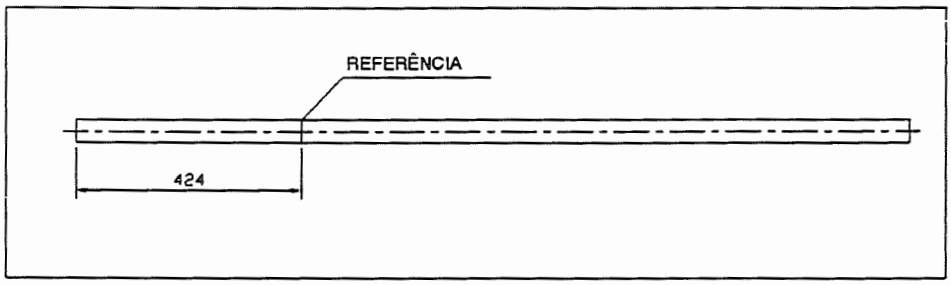


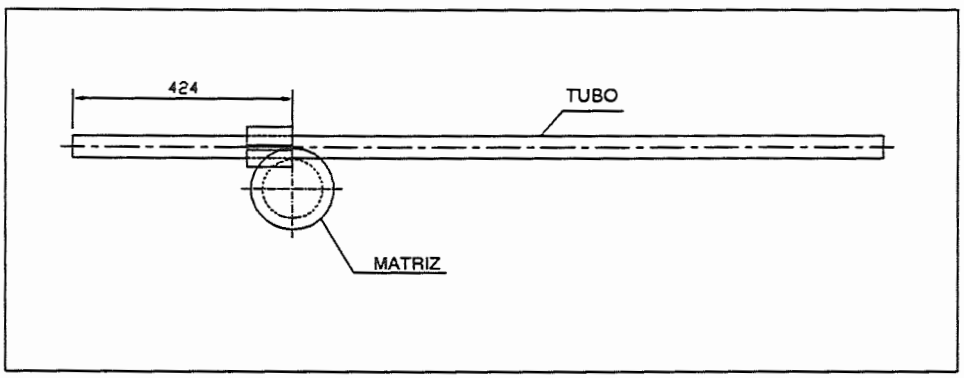
Figura 3.11 - Peça Exemplo - Ligação do Estator

a. Marcar a referência para o início da primeira dobra no tubo reto;

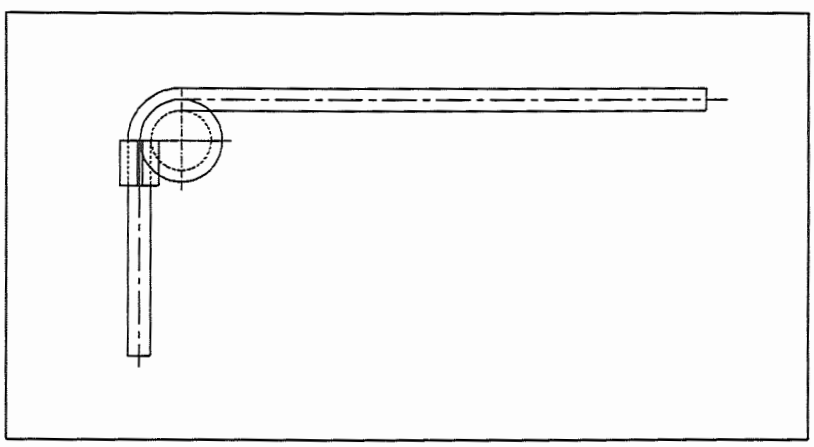


(A medida 424 foi obtida subtraindo-se 76 de 500, pois nesse caso os ângulos de dobra são todos de 90°, que é o início da primeira dobra.)

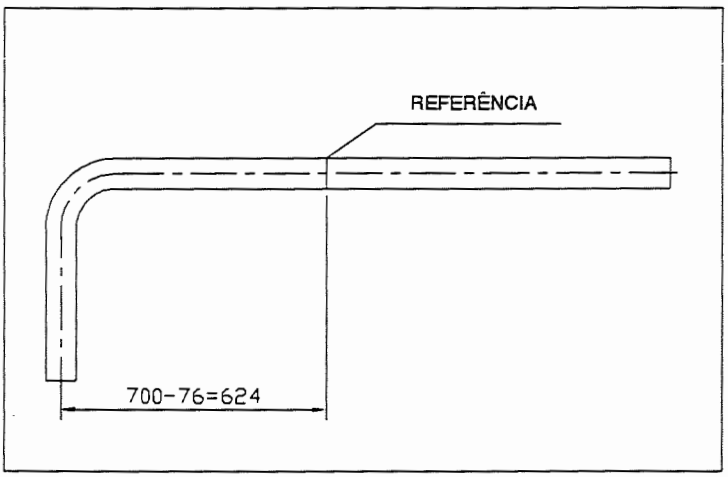
b. Posicionar o tubo na máquina fixando-o pelo mordente na matriz de dobra, na referência marcada;



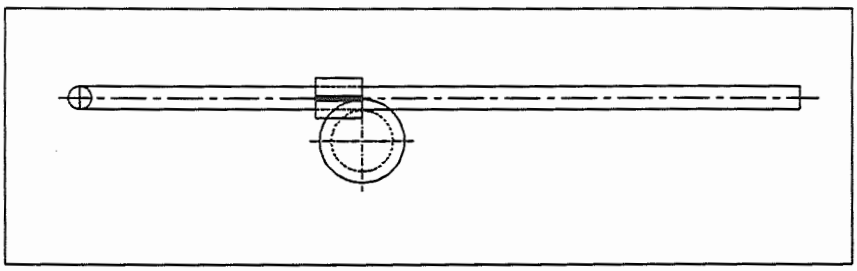
c. Dobrar a primeira dobra à 90°;



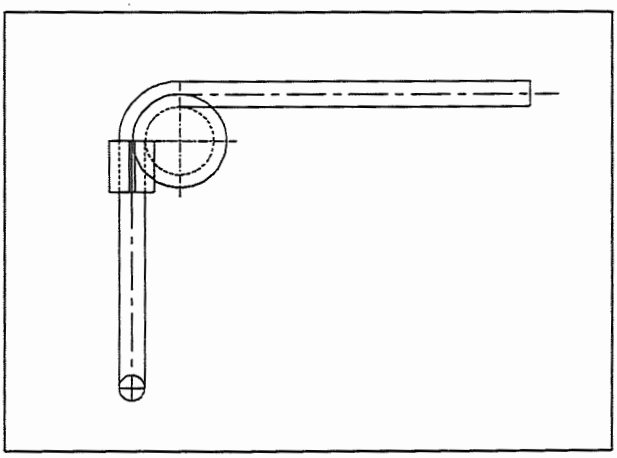
d. Com o tubo fora da máquina marcar referência para a segunda dobra;



e. Posicionar novamente o tubo na máquina devidamente, tanto na posição para a dobra como para a posição em relação à dobra anterior;



f. Dobrar o tubo;



g. Ajustar extremidade se necessário.

Esse procedimento é muito eficaz quando os ângulos de dobra são de 90°, onde os cálculos para encontrar as referências de posicionamento na máquina são simples. Complica-se tremendamente quando tanto o ângulo de dobra como o de rotação do tubo no espaço forem diferentes de 90°.

O procedimento até então utilizado era de montar uma tabela batizada de tabela de dobra, onde as informações necessárias estavam presentes, independente do desenho da peça, conforme indicado na figura 3.12.

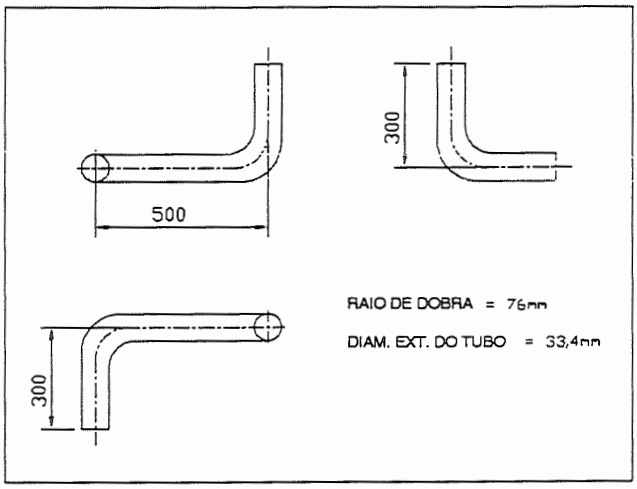
Esse processo elimina as dificuldades de interpretação dos desenhos por parte do operador, aumentando assim a sua produtividade na operação de dobra.

Porém, essa dificuldade passa para o processista, pois se encontram os seguintes problemas:

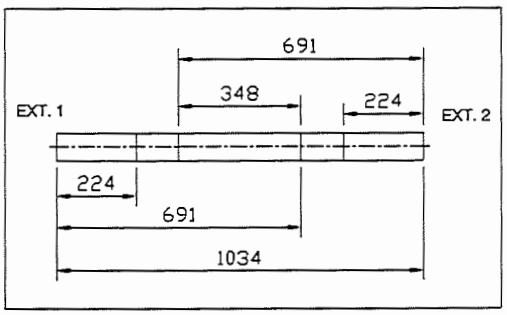
- As informações contidas nos desenhos não transmitem a necessidade para cálculo da tabela de dobras, sendo necessário até redesenhar o tubo em escala para se obter essas informações.

- Após o desenvolvimento da tabela, nota-se que o projeto da ligação não atende as limitações físicas do equipamento e do ferramental. Neste caso se propõe alteração no desenvolvimento do tubo. No caso de impossibilidade, opta-se por executar a dobra ao calor (processo improdutivo e de baixa qualidade) ou fabricar ferramentas especiais que atenda a necessidade, normalmente única.

- Todos esses pontos geram perda de tempo processual, aumentando o "lead time" e perda de produtividade na produção quando a opção é trabalhar com aquecimento. Outro ponto importante é o custo de análise de alterações de desenhos para atender a produção.



O tubo reto com o desenvolvimento das cotas é:



A tabela de dobra correspondente a esse tubo é:

Conprimento reto (mm)	Ângulo de dobra (°)	Ângulo de rotação (°)	Distância da extremidade 1 (mm)	Distância da extremidade 2 (mm)
224	0	90	224	691
348	90	90	691	224
224	0	0	1034	—

Figura 3.12 - Exemplo da tabela de dobra e o tubo correspondente

3.2.3.3 PROCESSO EM "SOFTWARE"

Para facilitar os trabalhos e padronizar o sistema, elaborou-se um "software" com as seguintes características:

- Um módulo de gerenciamento de ferramental existente, onde todas as ferramentas existentes e suas características limitantes como raio de dobra,

diâmetro externo do tubo comprimento reto mínimo para fixar o tubo estão indicados, podendo ser incluídos, modificados e até se excluírem dados;

- Um módulo de entrada de dados através de dados de coordenadas cartesianas dos vértices de dobras;

- Um módulo de cálculo da tabela de dobra, cujos dados de entrada são as coordenadas cartesianas xyz dos vértices das dobras, conforme indicado na figura 3.13;

- Um sistema de verificações de existência de ferramental, limitações do ferramental para o dobramento total do tubo (são incluídos neste item: diâmetro externo do tubo, raio de dobra, distância mínima entre duas dobras consecutivas), e de limitações físicas de dobra (distância até o chão e formato do tubo que pode interferir com o barramento da máquina);

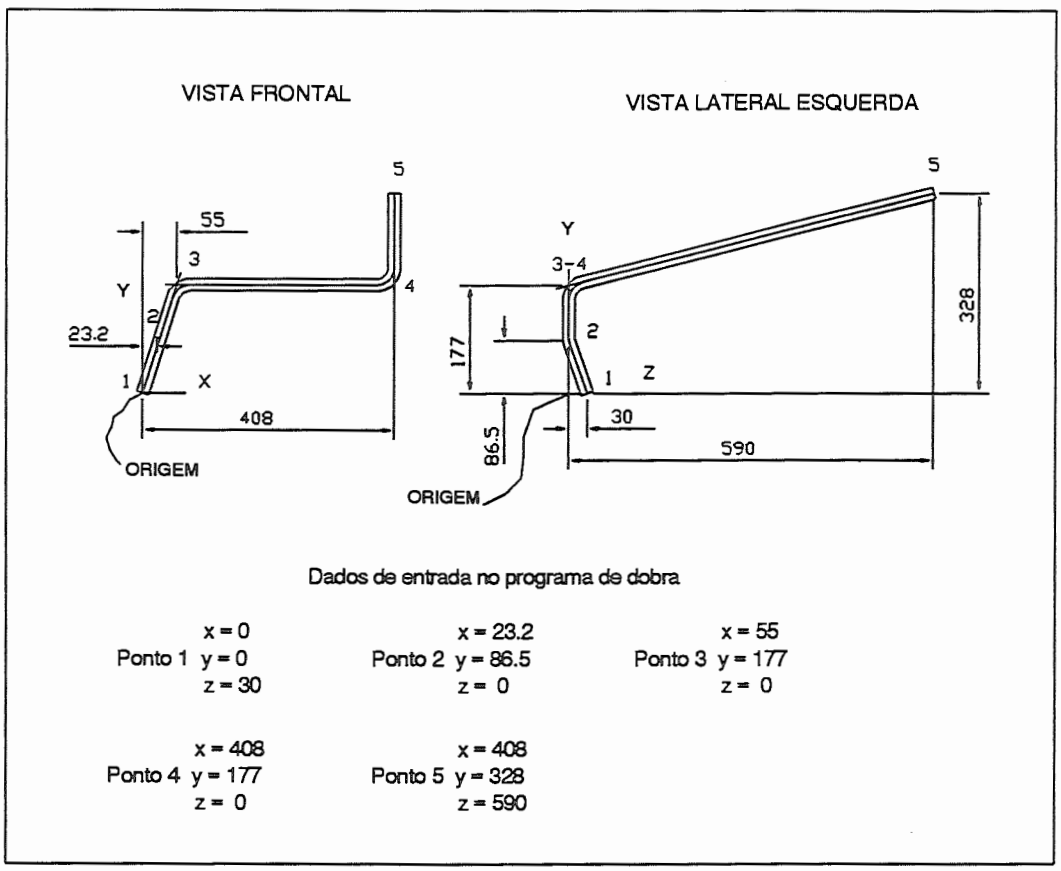


Figura 3.13 - Sistema de cotas dos tubos

- Um sistema de saída de dados, na forma da tabela simplesmente ou na forma de um processo padronizado para a produção. Essa folha de processos é ilustrada na figura 3.14.

PROCESSO PADRONIZADO

Nome da Peça	Nº do Desenho	Aplicação	Produto
BARRAS DE SAÍDA	45A228302X05	45A228300	HXJ003

Máquina	Lote Teórico	Peso Kg	Rev. Des.	Oper.Roteiro	Seção
D54	5	32,8	2	100	HJ13

Croquí : TABELA DE DOBRAS DE TUBOS

Comprimento reto	Ângulo de Rotação	Ângulo de Dobras	Dist. a Partir da extr. nº 1	Dist. a Partir da Extr. nº 2	Raio de Dobra
473	0	101	473	1233	74
368	-90	14	970	848	74
149	180	14	1137	681	74
681	0	0	1836	0	0

DIÂMETRO EXTERNO DO TUBO: 47,6
COMPRIMENTO DO TUBO.....: 1844,9
DIMENSÕES EM MILÍMETROS

OBS: Ângulos de rotações negativos significam sentido de rotação anti horário quando vistos da extremidade nº 1.

SEQ.	DESCRIÇÃO DA OPERAÇÃO	TEMPO		
		PREP.	OPER.	TOTAL
10	Preparar máquina	0,30	---	0,30
20	Posicionar tubo na bancada	---	0,02	0,10
30	Marcar referências para dobra	---	0,02	0,10
40	Dobrar tubos conforme tabela de dobra	---	0,04	0,20
45	Inspecionar	---	---	---
	TOTAL	0,30	0,08	0,70

SEQ.	QTDE	FERRAMENTA	CÓDIGO
20	01	Lápis	Exist.
30	01	Matriz para dobra	731401
30	01	Prendedor matriz	731219
30	01	Matriz de dobra	731220

SEQ.	QTDE	INSTRUM/O	CÓDIGO
30	01	Trena	402112
45	01	Transferidor	403005

EMITENTE		
DATA	SEÇÃO	VISTO
20/10/92	PDD	

DISTRIBUIÇÃO				
SEÇÃO	PDD	FFL		
CÓPIAS	1	2		

Figura 3.14 - Folha de processos de dobra de tubos.

3.2.4 RESULTADOS

PROCESSOS NO PROJETO

Para minimizar as dificuldades já citadas, o programa foi entregue para a engenharia do produto que pode projetar a ligação de acordo com a capabilidade fabril existente, dentro das condições de operabilidade, e com o sistema de cotas compatível com a necessidade do programa, onde qualquer processista pode facilmente utilizar.

Seguindo o procedimento estabelecido, as etapas subseqüentes de trabalho fluem sem dificuldades, uma vez que todo o trabalho de verificação já foi executado, facilitando assim o trabalho do processista e na obtenção de maior produtividade na área de fabricação, com maior probabilidade de se obter produtos isentos de problemas de qualidade.

3.2.5 CONCLUSÃO

O sistema implantado atribuiu uma função de elaboração do processo padronizado para o projeto, aumentando o tempo normal do mesmo, porém as perdas e a qualidade melhoraram sensivelmente como um todo, e basicamente eliminaram-se as solicitações de alterações de projeto nos estágios pós projeto.

Através de um "software" de verificação, interativo e adaptável, utilizado durante a fase de detalhamento de projeto, se garante a manufaturabilidade das peças sem a necessidade de investimentos em ferramental e com produtividade. O projetista passa a ter a visão do produto como um todo, inclusive do processo em detalhe.

A próxima etapa é de implantar o "software" no sistema CAD de modo a substituir o desenho pela folha de processos somente, diminuindo assim o tempo de projeto também.

3.3 EXEMPLO 3 - COMPONENTE DE USINAGEM: SEGMENTOS DE MANCAIS GUIA

3.3.1 OBJETIVO

O objetivo é mostrar que com a integração Projeto e Manufatura se pode otimizar o processo e diminuir o investimento em ferramental, com o conhecimento das necessidades fabris pelos membros do projeto durante a fase de elaboração do projeto propriamente dito; e mostrar também os benefícios da automação da manufatura diminuindo a interferência do ser humano na probabilidade de ocorrência de danos ao produto.

A ferramenta da ES utilizada nesta aplicação foi a do Projeto para a Manufatura (DFM), pela padronização e conseqüente diminuição de variedade de peças, pelo projeto de peças para fácil fabricação e pela diminuição do manuseio de peças durante o processo de fabricação; e da maximização da utilização da automação para a usinagem dos Segmentos de Mancais Guia.

3.3.2 DESCRIÇÃO DO COMPONENTE SEGMENTOS DE MANCAIS GUIA

Os hidrogeradores de usinas hidrelétricas possuem geralmente dois jogos de mancais guias e muitas vezes um mancal de escora também. Para este caso, o objeto em estudo são os segmentos dos mancais guias.

Os segmentos de mancais de guia, compostos de sapatas com metal patente, possuem na operação de usinagem a grande parte do ciclo de fabricação. (É um processo delicado, pois o metal patente é um elemento "mole" que não resiste a choques).

De gerador para gerador, há variações dimensionais e de número de segmentos, porém o processo de fabricação permanece o mesmo.

Sua forma e detalhes construtivos estão indicados na figura 3.15.

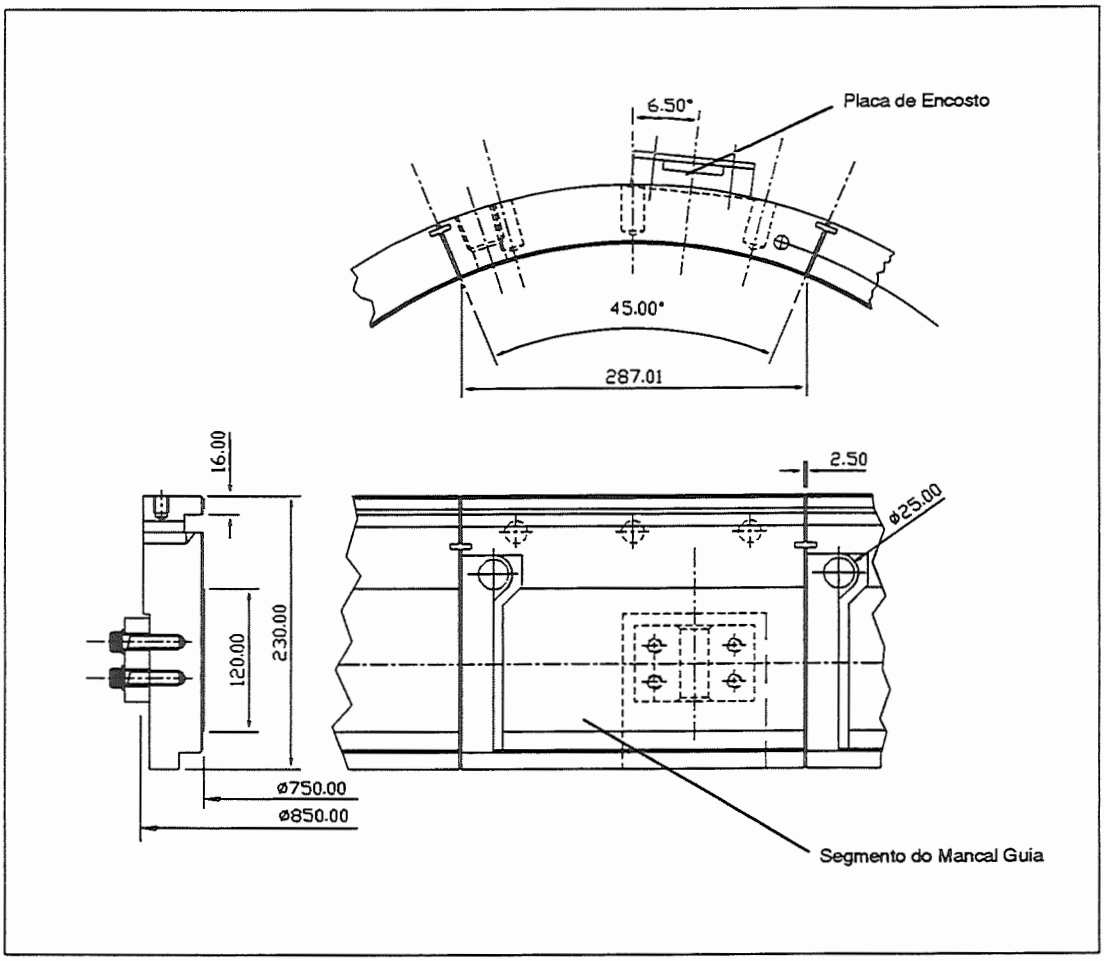


Figura 3.15 - Detalhe construtivo de um Segmento de Mancal Guia

3.3.3 DESCRIÇÃO DAS ETAPAS DA APLICAÇÃO

3.3.3 1 DIFICULDADES NORMALMENTE ENCONTRADAS NA FABRICAÇÃO

Os segmentos de Mancais de Guias têm uma particularidade especial, por terem em uma das faces a aderência do metal patente, material "mole" e sujeito a danos provocados por choques de qualquer peça/ferramenta nesta superfície, muitas vezes levando-os à sucata.

A necessidade então foi de desenvolver um processo, o mais automatizado possível, para evitar que os segmentos sejam manuseados muitas vezes durante o processo.

O processo elaborado enfrentou os seguintes problemas:

- A indexação da mesa da máquina CN possue divisões de 5 em 5º;
- Para a automação do processo cujas cotas em ângulos forem diferentes da divisão de 5 em 5º, é necessário o investimento em ferramental da ordem de $ 10.000,00;
- Mesmo com esse ferramental, o processo fica restrito à integração futura com sistemas mais modernos de fabricação, no caso o CNC e FMS.

3.3.3.2 LIMITAÇÕES PARA FUTUROS PROJETOS

Para que o projeto se enquadre perfeitamente nas condições dos equipamentos fabris integrantes do processo, as seguintes observações devem estar presentes durante a fase de projeto e detalhamento. O número ideal de segmentos é:

Número de segmentos	Ângulo do segmento
18	20°
12	30°
9	40°
6	60°
4	90°

- Todos os furos radiais executados na superfície cilíndrica e o fresamento e furação da placa de encosto devem possuir cotas angulares e múltiplas de 5º.
- Limitar a usinagem da superfície plana para a placa de encosto somente para a região de encosto da placa.

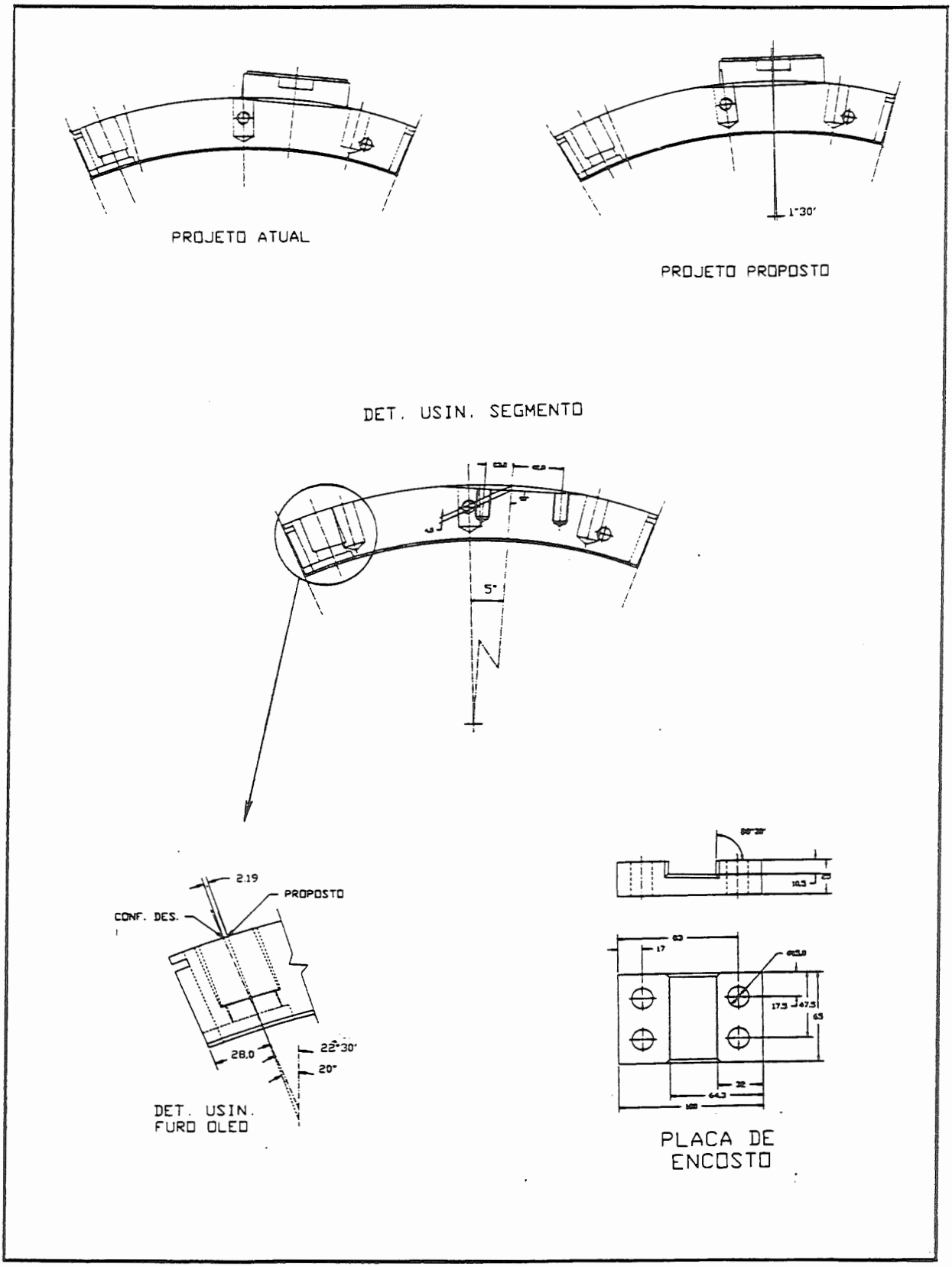


Figura 3.16 - Detalhes das alterações de projeto necessárias para melhor se adaptar às condições de fabricação existente.

- Se for necessário, transferir a alteração do ângulo da superfície plana de apoio de placa de encosto para a usinagem da placa de encosto em si. Exemplos dessas observações estão contidos na figura 3.16.

3.3.4 RESULTADOS

- Viabilizar produtos com ciclos de fabricação baixo, de acordo com as novas exigências de prazos de mercado, através de:

  - Otimização de recursos produtivos;
  - Automação de operações rotineiras;
  - Realização de maior número de operações em máquinas CN;
  - Redução de riscos de retrabalhos e má qualidade oriundos de manuseio excessivo de peças críticas.

- Reduzir custos industriais através de:

  - Padronização de ferramentas e dispositivos;
  - Minimização da interferência do operador no processo produtivo.

3.3.5 CONCLUSÃO

Pode-se concluir que com a introdução de algumas modificações no aspecto construtivo de um componente sem alterar o aspecto funcional, pode-se otimizar a utilização dos recursos produtivos, contribuir para a melhoria da qualidade do produto e diminuir os investimentos em ferramentas e dispositivos especiais. Podem também colaborar para a automação de operações e para diminuir o ciclo produtivo. Estas modificações são oriundas das características de manufatura, e são introduzidas durante a fase de geração do projeto e detalhamento do componente.

4 - CONCLUSÃO

A ES é uma metodologia de trabalho que é uma tendência mundial e está se tornando inevitável pelas condições do mercado.

O mercado, cada vez mais está solicitando novos produtos com novidade tecnológica e a uma frequência constante; isto significa que é necessário inovar sempre e rapidamente. Os clientes também estão procurando cada vez mais um produto que tenha a melhor qualidade e a um custo mais acessível. Transferindo essas necessidades para dentro de uma empresa, significa resumidamente o desenvolvimento de novos produtos no menor tempo possível, de acordo com os desejos do consumidor. A qualidade está embutida no "desejo do consumidor".

Todos esses conceitos estão direcionados para empresas de Bens de Consumo. Porém, como que ES pode ajudar numa empresa de Bens de Capital?

Primeiramente, é bom lembrar que as técnicas e ferramentas descritas são procedimentos que levam a uma melhoria da qualidade e dos processos, e que podem ser enquadradas para qualquer tipo de empresa, bastando que se defina que produto ou componente do produto se deseja desenvolver ou melhorar, e definir quem serão os envolvidos e qual o grupo de pessoas que se complementam tecnicamente para atuar nesse desenvolvimento ou melhoria, e o plano de treinamento.

As novas ferramentas da qualidade são instrumentos que buscam nas pessoas, no trabalho em grupo, os problemas e as soluções, e os caminhos para uma melhor solução dos mesmos.

A valorização do funcionário como meio de consulta técnica, investindo em seu treinamento e aprimoramento de suas habilidades, se torna peça fundamental para o sucesso de uma organização no mercado competitivo atual. A automação é uma ferramenta muito poderosa para facilitar e agilizar o andamento dos processos e produtos, sendo uma ferramenta fundamental de desenvolvimento e integração das pessoas. Como foi explanado, é um campo potencial de desenvolvimento tecnológico para atender a metodologia da ES. Porém, é

importante lembrar que não é o suficiente, é apenas uma ferramenta. Ela não tem o poder de decisões sobre alterações e inovações tecnológicas de produtos para atender as necessidades dos Clientes por si só. É necessário o ser humano como peça fundamental para todo esse arranjo organizacional.

Nas aplicações apresentadas, pode-se observar que:

Na aplicação do Diafragma, se torna visível que o envolvimento das pessoas participando, gerando idéias, no estágio inicial do detalhamento do projeto, trouxe como resultados, a diminuição de ciclo de trabalho, diminuição do custo de fabricação e melhoria acentuada na qualidade do produto final.

Na aplicação das Ligações do Estator, salienta que a ferramenta automação quando aplicada inteligentemente, voltada para o processo no estágio inicial do projeto, elimina distúrbios nas fases posteriores do processo produtivo e também contribui para melhoria da qualidade.

Na aplicação dos componentes do Mancal Guia, também as informações de manufatura, quando conhecidas de maneira consciente, no estágio de geração do projeto e aplicadas convenientemente, eliminam custos de fabricação e de investimentos em ferramental e contribuem para a melhoria da qualidade dos processos de produção e do produto, com a eliminação da influência do elemento humano na operação.

Nos três casos, é fundamental que as decisões sejam tomadas na fase conceitual e de detalhamento dos projetos. Esses são exemplos de alguns componentes, porém, esse procedimento deve ser feito para todos os componentes de um equipamento para as indústrias de Bens de Capital, também com o envolvimento de outros setores, como Suprimentos, Subfornecedores, Engenharia de Campo etc., o que for necessário para o componente em estudo.

De uma maneira geral, no futuro, as divisões de departamentos funcionais deixarão de existir e as pessoas se juntarão em Times e gerarão o projeto/processo e requisitos para compras, de acordo com as necessidades do Cliente/Consumidor, em apenas uma etapa de trabalho.

O uso do computador diminuirá o tempo de desenvolvimento pela contribuição em simulação que normalmente são feitas em protótipos e aumentará a integração e troca de informações entre os membros dos times formados.

Como resultado, ter-se-á a geração e fabricação de produtos rapidamente e com qualidade assegurada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADDISON, J.; Engineering Management. *Application Institute - IBM Corporation,* Setembro de 1989.

AHM, T. & FABRICIUS, F.; How to Design Products Suited for Rational Production from the Very Start. *Symposium on Industrial Robots,* pg. 63 - 72, Outubro de 1990.

BARTLETT, C. A. & GHOSHAL, S.; Matrix Management: Not a Structure, a Frame of Mind. *Harvard Business Review*, pg. 138 - 145, Julho - Agosto de 1990.

BOLLER, P.; Simultaneous Engineering - The Role of the Automation Equipment Supplier. *Symposium on Industrial Robots,* pg. 51-56, Outubro de 1990.

BOOTHROYD, G. & DEWHURST, P.; Design for Assembly: Manual Assembly, *Machine Design,* pg. 140 -145, Dezembro de 1983.

BRAZIER, D. & LEONARD, M.; Concurrent Engineering: Participating in Better Designs. *Mechanical Engineering,* pg. 52 e 53, Janeiro de 1990.

BURR, J. T.; The Tools of Quality - Part I: Going With the Flow (chart). *Quality Progress,* pg. 64 - 67, Junho de 1990; The Tools of Quality - Part VI: Pareto Charts. *Quality Progress,* pg. 59 - 61, Novembro de 1991; e The Tools of Quality - Part VII: Scatter Diagrams. *Quality Progress*, pg. 87 - 89, Dezembro de 1990.

CLELAND, D. I. & KOCAOCLU, D. F.; Engineering Management. *Mc Graw Hill ,* 1980.

CONTI, T.; Process Management and Quality Function Deployment. *Quality Progress,* pg. 45 - 48, Dezembro de 1989.

DENTON, D. K.; Building a Team. *Quality Progress,* pg. 87 - 91, Outubro de 1992.

DEWHURST, P. & BOOTHROYD, G.; Design For Assembly: Selecting the Right Method. *Machine Design,* pg. 94 - 98, Novembro de 1983

DEWHURST, P. & BOOTHROYD, G.; Design for Assembly: Automatic Assembly. *Machine Design,* pg. 87 - 92, Janeiro de 1984.

EUREKA, E. W. & RYAN, N. E.; QFD Perspectivas Gerenciais do Desdobramento da Função Qualidade. *Copyright 1988 by American Supplier Institute.*

FOKINTHER, M.J.; Design for Assembly - an Integrated Approach. *Symposium on Industrial Robot,* pg. 57 - 62, Outubro de 1990.

GOPALAKRISHNAN, K. N.; MACLATYRE, B. E. & SPRAGE J. C.; Implementing Internal Quality Improvement With the House of Quality. *Quality Progress,* pg. 57 - 60, Setembro de 1992.

HAMMER, M.; Reengineering Work: Don't Automate, Obliterate. *Harvard Business Review,* pg. 104 - 112, Julho - Agosto de 1990.

HARTLEY, J. R.; Concurrent Engineering - Shortening Lead Times, Raising Quality, and Lowering Costs. *Productivity Press Inc.* 1990.

HAUSER, J. R. & CLAUSING, D.; The House of Quality. Design is a Team Effort, but How do Marketing and Engineering Talk to Each Other? *Harvard Business Review,* pg. 63 - 73, Maio - Junho de 1988.

HURTHWAITE, B.; Rockwell takes Aim at Shuttle Costs - Concurrent Engineering Keeps Designs Competitive. *Design News,* Pg. 54 e 55, Abril de 1992.

JURAN, J.M. & GRYNA, F. M.; Failure Mode/Falure Effect Analysis. *Quality Planning and Analysis,* T M H Edition, 1978, cap. 9, pg. 144 -147.

JURAN INSTITUTE INC.,THE; The Tools of Quality - Part IV: Histograms. *Quality Progress,* pg. 75 - 78, Setembro de 1990; e The Tools of Quality, Part V: Check Sheets. *Quality Progress,* pg. 51 - 56, Outubro de 1990.

JURAN, J. M. & GRYNA, F. M.; Product Development - Failure Mode, Effect, and Criticality Analysis; Fault Tree Analysis. *Juran's Quality Control Handbook,* 4th ed. Mc. Graw Hill, 1988, section 13, pg. 13.28 - 13 30.

KATZENBACH, J. R. & SMITH, D. K.; The Discipline of Teams. *Harvard Business Review;* pg. 111 - 120, Março - Abril de 1993. E *Why Teams Matter* do livro *The Wisdom of Teams: Creating the High-Performance Organization.* The McKinsey & Company, 1992, número 3.

KEN KEYS, L. ; RAO, R; BALAKRISHMAN; Concurrent Engineering for Consumer, Industrial Products, and Government System. *1991 IEEE/CHMT - 11th International Eletronic Manufacturing Tecnology Symposium,* pg. 44 - 47.

KIRCK, W.; Simultaneous Engineering: A Method to Improve the Implementation of New Products. *Symposium on Industrial Robots,* pg. 29 - 35, Outubro de 1990.

KUMAR, S. & GUPTA, Y.P.; Cross Functional Teams Improve Manufacturing At Motorola's Austin Plant. *Industrial Engineering,* pg. 32 - 36, Maio de 1991.

LEON, G. P.; É Hora de Derrubar Todos os Muros. *Exame.* Pg. 82 - 85, Julho de 1993.

MAJOR, MICHAEL J.; Gambles on Billion-Dollar Technology Center. DesignNet, pg. 36 -38, e 80, Fevereiro de 1992.

MANUFACTURE MANAGEMENT HANDBOOK; Design for Manufacture. *Society of Manufacture Engeneering - SME.,* Chapter 5, 1991.

MIZUMO, S.; Gerência para Melhoria da Qualidade - As Sete Novas Ferramentas da Qualidade. *LTC Livros Técnicos e Científicos da Qualidade Editora,* 1993.

MOORE, M.; Siemens Taps CAD/CAM To Secure Phone Design Leadership Role. *DesignNet,* pg.78 - 80, Março de 1992.

NOAKER, P. M.; Manufacturing by Design. *Manufacturing Engineering,* pg. 57 - 59, Junho de 1992.

OTIS, I.; Design For Manufacture And Assembly To Improve Efficiency And Quality. *Industrial Engineering,* pg. 60 -62, Agosto de 1992.

OWEN, J.V.; Doing Things the Old Way is an Undercurrent That Can Turn Into Undertow - Fight It with CONCURRENT ENGINEERING. *Manufacturing Engineering,* pg. 69 - 73, Novembro de 1992.

PARSAE, U. R. & SULLIVAN, W. G.; Concurrent Engineering, Contemporary issues and modern design tools. *Chapman & Hall,* 1993.

PLONSKI, G. A. & FARINHA, J.M.B.B.; O Modelo do "Concurrent Engineering" em Novos Empreendimentos. *Anais - XII ENEGEP - Encontro Nacional de Engenharia de Produção - Volume I .* Pg. 1 - 6.

ROSS, P. J.; Aplicação das Técnicas Taguchi na Engenharia da Qualidade. *McGraw-Hill, Ltda. e Makron Books do Brasil Editora Ltda.* 1991.

SARAZEN, J. S.; The Tools of Quality - Part II: Cause-and-Effect Diagrams. *Quality Progress,* pg. 59 - 62, Julho de 1990.

SAVAGE, C. M.; Fifth Generation Management - Integrating Enterprises through Human Network. *Digital Equipment Corporation,* 1990.

STARK,J.; Engineering Information Management Systems, Beyond CAD/CAM to Concurrent Engineering Support. *Van Nostrand Reinhold,* 1992.

SHAININ, P. D.; The Tools of Quality - Part III: Control Chart. *Quality Progress,* pg. 79 - 82, Agosto de 1990.

SULLIVAN, L. P.; Quality Function Deployment. A System to Assure That Customer Needs Drive the Product Design and Production Process. *Quality Progress,* pg. 39 - 50, Junho de 1986.

TAGUCHI, G. & CLAUSING, D.; Robust Quality - Design Products not to Fail in the Field; You will Simultaneously Reduce Defectives in the Factory. *Harvard Business Review,* pg. 65 - 75, Janeiro - Fevereiro de 1990.

WHITELEY, L. ; New Roles for Manufacturing in Concurrent Engineering. Industrial Engineering, pg. 51 - 53, Novembro de 1991.

WILLETT, K.; Networking Advances will Anchor Concurrent Engineering - To Keep Pace in the 1990's, Networks will Need to Be Faster and More Economical. *Eletronic Design,* Janeiro de 1992.

WHITNEY, D.E.; Manufacturing by Design. *Harvard Business Review,* pg. 83 - 91; Julho - Agosto de 1988.

YANG, D. J.; Boing Knocks Down the Wall between the Dreamers and the Doers. *Business Week*, Pg. 120 e 121; Outubro de 1991.

YUILE, K.D. & MOONEY, S.; Design for Manufacture in Practice at NCR. *Symposium on Industrial Robots*, Pg 43 -50; Outubro de 1990.

Artigos sem referência:

Machine Design - Junho de 1989, pg. 48.
Eletronic Design - Junho de 1991, pg. 65 - 72.