

4

ARNALDO BRAZIL FERREIRA

CAD/CAM:

CONCEITOS E APLICAÇÕES EM PROJETOS MECÂNICOS
E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E UTILIZAÇÃO EM ENGENHARIA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da USP para obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

São Paulo, 1990

FD-1116

ARNALDO BRAZIL FERREIRA
Eng. Mecânico, Faculdade de Engenharia FAAP, 1982

CAD/CAM:
CONCEITOS E APLICAÇÕES EM PROJETOS MECÂNICOS
E CRITÉRIOS PARA SELEÇÃO E UTILIZAÇÃO EM ENGENHARIA

Dissertação apresentada à Escola
Politécnica da USP para obtenção
do título de Mestre em Engenharia.

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

São Paulo, 1990

Ao meu pai

À minha mãe (em memória)

À Natália

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Ronaldo de Breyne Salvagni, pela orientação e apoio, também pela amizade que surgiu da convivência e troca de idéias que iam muito além dos temas acadêmicos e profissionais, durante esses anos.

À Natália, amiga e esposa que com paciência datilografou o trabalho e nunca permitiu que eu desistisse do objetivo.

A todos aqueles que, ou na Universidade ou na Indústria, estão envolvidos com CAD/CAM para domínio e expansão da tecnologia e seu uso eficaz na produção de bens e serviços de qualidade.

RESUMO

O trabalho procura estabelecer os conceitos e fundamentos para aplicação e utilização de sistemas CAD/CAM na Engenharia Mecânica e analisa os requisitos para sua operação com sucesso. Faz uma comparação dos tipos de modelamento geométricos existentes e estabelece sua adequação aos diversos campos de projetos mecânicos para obter os melhores resultados.

Também comenta o efeito dessa tecnologia nas atividades de engenharia, seu alcance e as novas áreas de estudo que se abrem.

Finalmente, propõe um roteiro para implementação e seleção de sistemas CAD/CAM, considerando a justificativa para sua implantação e proposta de treinamento para sua utilização eficaz.

ABSTRACT

This essay aims at establishing the concepts and fundamentals for CAD/CAM application/utilization in Mechanical Engineering branches and analyses the requirements for successful operation.

It appraises the available modeling techniques to establish a suitable relationship between them and mechanical design activities to get the best results.

Also, this essay comments on CAD/CAM technology effects on engineering manufacturing routines, its future and new branches for study that have coming up.

Finally, it proposes an implementation routine and system selection for mechanical applications considering CAD/CAM system justification, and training proposal for skilled operation.

PREFÁCIO

Este trabalho reflete a experiência profissional adquirida na utilização, implantação e gerenciamento de sistemas CAD/CAM para aplicações em projetos mecânicos na indústria automobilística; indústria essa que, por sua abrangência e complexidade, cobre a maioria das atividades de Engenharia Mecânica. Apresenta em único texto resultados de experiências pioneiras em desenvolvimento de treinamento interno, migração das técnicas de trabalho manual para ambiente CAD/CAM, facilidades e dificuldades da utilização de sistemas CAD/CAM; comparação de técnicas de modelamento e sua adequação a projeto.

A utilização de CAD/CAM é uma decisão que envolve análises criteriosas de seus efeitos na atividade de projeto além de representar considerável investimento.

Propomos, portanto, alguns critérios para seleção de sistemas CAD/CAM para uso em projetos mecânicos e seu gerenciamento. Essas atividades são em grande parte responsáveis pelo sucesso na utilização da tecnologia.

Esperamos que este trabalho contribua para o aperfeiçoamento das nossas técnicas de projeto na indústria e faça com que CAD/CAM deixe de ser apenas uma sigla com forte apelo mercadológico e sinônimo de modernidade e se torne de fato um investimento com retorno esperado com produção efetiva de trabalhos e venha a confirmar a observação a seguir:

"CAD/CAM tem maior potencial para aumentar radicalmente a produtividade do que qualquer desenvolvimento desde a eletricidade" (The National Science Foundation of the United States)(1).

O trabalho é apresentado do ponto de vista da utilização da tecnologia, portanto não apresentaremos desenvolvimentos matemáticos para entidades geométricas e nem tão pouco arquiteturas computacionais, porque essas áreas possuem vasta bibliografia (1) (4) (20) (26) (27) (28).

OBSERVAÇÕES

Quando se trata de um trabalho que aborda o uso de tecnologia recente no país é comum o uso de expressões / siglas estrangeiras. Sempre que encontramos uma palavra para designar o termo estrangeiro com precisão, fizemos uso da palavra em português. Quando não foi possível mantivemos o termo estrangeiro, com tradução no rodapé. Dessa forma mantivemos termos hardware e software por serem de uso comum no país. Sempre que possível usamos o termo compugrafia para designar computação gráfica, seguindo a tendência dos autores brasileiros (4). As seguintes obras serviram de inspiração e consulta na difícil tarefa de usar termos técnicos com precisão:

TORI, R. et Alli - Fundamentos de computação gráfica - Compugrafia. Rio de Janeiro, RJ., Livros Técnicos Científicos, 1987.

SUCESU - Dicionário de Informática, 3.ª ed. Rio de Janeiro, RJ. Livros técnicos Científicos, 1982.

FERREIRA, A.B.H - Novo Dicionário da Língua Portuguesa. São Paulo, SP. Editora Nova Fronteira, 1979.

LAPEDES, D.N. - McGraw-Hill Dictionary of Technical Terms, 2.ª ed., New York, NY., McGraw-Hill, 1978.

NOTAÇÃO

() - Significa referência citada no final do texto.

ÍNDICE GERAL

ITEM	PAG.
PARTE I: ASPECTOS TÉCNICOS E APLICAÇÕES DE CAD/CAM EM ENGENHARIA MECÂNICA	
1- Introdução	1
1.1-Considerações Gerais	1
1.2-Visão Panorâmica da Evolução Histórica de CAD/CAM	4
1.3-CAD/CAM: Panorama Brasileiro	13
2- Fundamentos de CAD/CAM na Engenharia e Indústria	22
2.1-Considerações Gerais	22
2.2-Elementos Constitutivos de Sistemas CAD/CAM	29
2.3-CAD/CAM na Engenharia e Manufatura	87
2.4-Uso de CAD/CAM na Indústria	94
2.5-Transferência de Dados Entre Diferentes Sistemas	112
3- Modelamento Geométrico e Aplicações	122
3.1-Considerações Gerais	122
3.2-Modelamento em Fio-de-Arame	135
3.3-Modelamento em Superfície	142
3.4-Modelamento em Sólidos	153
3.5-Aplicações de Modelamento 2D vs. 3D	167
4- CAD/CAM em Engenharia Mecânica	173
4.1-Projeto e Desenvolvimento de Produto	173
4.2-Modelos Geométricos e Projetos Mecânicos	182
4.3-CAD/CAM e Tecnologia de Manufatura	188
4.4-Observações	190

PARTE II: ASPECTOS GERENCIAIS DE SISTEMAS CAD/CAM NA ENGENHARIA MECÂNICA

5- Sistemas CAD/CAM: Decisão Estratégica	193
5.1-Considerações Gerais	193
5.2-Razões para Instalar Sistemas CAD/CAM	194
5.3-Quando Instalar um Sistema CAD/CAM	196
5.4-Facilidades e Dificuldades em CAD/CAM	198
5.5-Automatização Industrial: Prós e Contras	202
5.6-Observações	207
6- Estudos Preliminares para Instalação de CAD/CAM	209
6.1-Considerações Gerais	209
6.2-Seguimento de Informação no Desenvolvimento do Produto.	213
6.3-Uso de Sistema Próprio x Compra de Serviços/Aluguel de Sistemas	218
6.4-Sistemas CAD/CAM baseados em Microcomputadores	221
6.5-Sistemas CAD/CAM baseados em Minicomputadores	225
6.6-Sistemas CAD/CAM de grande porte	226
6.7-Sistemas Concentrados x Sistemas Distribuídos	228
6.8-Observações	230
7- Seleção de Sistemas CAD/CAM em Engenharia Mecânica	232
7.1-Considerações Gerais	232
7.2-Avaliação de Fornecedores	234
7.3-Benchmark	238
7.4-Processo de Seleção de Sistemas CAD	244
7.5-Observações	254
8- Análise e Justificativa Econômica de Sistemas CAD/CAM	255
8.1-Estimativa de Custos e Benefícios com CAD/CAM	256
8.2-Ganhos de Produtividade em CAD/CAM	260

ITEM	PAG.
8.3-Retorno do Investimento e Ganhos de Produtividade na Indústria	263
8.4-Observações	266
9- Contratos de Compra e Manutenção	267
9.1-Contrato de Compra e Venda	267
9.2-Contrato de Manutenção e Serviços	270
10- Gerenciamento de Sistemas CAD/CAM	272
10.1-Considerações Gerais	272
10.2-Organização de Banco de Dados	276
PARTE III: TENDÊNCIAS EM CAD/CAM - CONCLUSÕES - OBSERVAÇÕES FINAIS	
11- Tendências em CAD/CAM e Trabalhos Futuros	279
11.1-Tendências de CAD/CAM	279
11.2-Trabalhos Futuros	283
12- Conclusões e Observações Finais	285
12.1-Conclusões	285
12.2-Observações Finais	287
PARTE IV: APÊNDICES	
A- Implantação Prática	
A 1-Divulgação e Comprometimento	289
A 2-Pré-Instalação	291
A 3-Instalação	293
B- Projeto Piloto	
B 1-Início de Operações	294
B 2-Recomendações	296

ITEM	PAG.
C- Treinamento	
C 1-Treinamento: Preparação Adequada do Pessoal	297
C 2-Treinamento Operacional	299
C 3-Observações	302
 PARTE V: REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	 303

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA	PAG.
Figura 1.1 - Os ingredientes básicos de um sistema CAD/CAM.	3
Figura 1.2 - Desenvolvimento histórico de CAD/CAM.....	12
Figura 1.3 - Projetos aprovados pelo comunicado STI/SEI n.º 4/85.....	15
Figura 2.1 - Monitoramento versus controle por computador..	26
Figura 2.2 - CAM para suporte de manufatura.....	27
Figura 2.3 - Constituição de um equipamento compugráfico interativo mínimo.....	30
Figura 2.4 - Sistema CAD com minicomputador, três terminais e periféricos para aplicações mecânicas.....	30
Figura 2.5 - Estação de trabalho e seus componentes.....	31
Figura 2.6 - Estação de trabalho autônoma.....	32
Figura 2.7 - Diagrama de um tubo de raios catódicos.....	33
Figura 2.8 - Sistema vetorial para gerar imagens em compugrafia.....	34
Figura 2.9 - Sistema de varredura para gerar imagens em compugrafia.....	35
Figura 2.10- Fluxo de dados num sistema gráfico com terminal vetorial de refrescamento.....	36
Figura 2.11- Terminal vetorial de armazenamento.....	37
Figura 2.12- Terminais de varredura fixa.....	39
Figura 2.13- Classificação dos diversos tipos de plotadores mais encontrados no mercado.....	41
Figura 2.14- Plotador de pena, movimento x,y da pena em relação ao papel.....	42
Figura 2.15- Plotador de tambor.....	42
Figura 2.16- Plotador de mesa.....	43
Figura 2.17- Plotador de correia	44
Figura 2.18- Plotador de roletes.....	45
Figura 2.19- Mecanismos do plotador eletrostático.....	46

Figura 2.20-	Plotador eletrostático.....	46
Figura 2.21-	Teclado.....	47
Figura 2.22-	Joistique.....	48
Figura 2.23-	Bolota.....	49
Figura 2.24-	Mouse ou ratinho.....	49
Figura 2.25-	Mesa digitalizadora e caneta eletrônica.....	50
Figura 2.26-	Plotador digitalizador.....	51
Figura 2.27-	Estrutura de um software para sistema gráfico.....	61
Figura 2.28-	Geração de superfícies por varredura de linha.....	62
Figura 2.29-	Transformação através de rotação e rebatimento.....	63
Figura 2.30-	Cotas.....	64
Figura 2.31-	Aplicativos de CAD/CAM.....	65
Figura 2.32-	Tratamento visual de modelo na tela.....	66
Figura 2.33-	Elementos geométricos básicos e aplicativos..	67
Figura 2.34-	ZOOM: ampliação de detalhes.....	70
Figura 2.35-	Reposicionamento de imagens.....	70
Figura 2.36-	Ampliação de detalhes através de janelas.....	71
Figura 2.37-	Vistas ortogonais em sistemas CAD/CAM.....	72
Figura 2.38-	Usos de planos auxiliares.....	73
Figura 2.39-	Remoção de linhas escondidas.....	74
Figura 2.40-	Modificação de apresentação.....	74
Figura 2.41-	Uso de níveis em projeto.....	75
Figura 2.42-	Exemplo de modelo bidimensional construído por subtração.....	77
Figura 2.43-	Modelo diagramático do tetraedro.....	85
Figura 2.44-	Operação Booleana $\bar{C}(A+B)$ realizada nos elementos em (b) para obter o sólido em (a)..	85
Figura 2.45-	Sólido geométrico de forma complexa.....	86
Figura 2.46-	Relação entre banco de dados e CAD e CAM.....	88

Figura 2.47- Melhoria da visualização de imagens para vários tipos de desenhos e recursos gráficos...	92
Figura 2.48- Distribuição das responsabilidades no custo..	97
Figura 2.49- Viabilidade e custo das modificações de produto.....	98
Figura 2.50- Uso de CAD/CAE/CAM na indústria aeronáutica..	100
Figura 2.51- Banco de dados e seu uso múltiplo em projeto de automóvel.....	102
Figura 2.52- Estudo ergonômico no interior do veículo..	102
Figura 2.53- Uso de CAD/CAM na indústria naval.....	104
Figura 2.54- Tradutores diretos. Troca de informação entre diferentes sistemas.....	113
Figura 2.55- Tradutor universal-IGES.....	114
Figura 2.56- Tradutor de ida e volta entre diferentes sistemas.....	114
Figura 2.57- Transformação na comunicação técnica com advento de CAD/CAM.....	116
Figura 2.58- Exemplo de transferência de linhas.....	117
Figura 2.59- Exemplo de transferência de anotações.....	118
Figura 2.60- Teste cíclico de transferência.....	119
Figura 2.61- Teste inter-sistema.....	120
Figura 2.62- Teste de pós-processador.....	120
Figura 3.1 - Evolução dos modelos na engenharia.....	124
Figura 3.2 - Exemplo de modelo organizacional.....	126
Figura 3.3 - Modelos computacionais permitem múltiplos usos.....	128
Figura 3.4 - Relação do modelo, programa aplicativo e sistema gráfico.....	130
Figura 3.5 - Modelo de coletor de escapamento e seus usos múltiplos.....	132
Figura 3.6 - Trajetórias de ferramentas desenvolvidas em CAD/CAM sobre o modelo de coletor de escapamento ...	133

Figura 3.7 - Modelo 3D da superfície do coletor de escapamento.....	134
Figura 3.8 - Representação de algumas formas através de linhas.....	135
Figura 3.9 - Processo de criação de um modelo 3D em fio-de-arame.....	136
Figura 3.10- Modelo de fio-de-arame.....	137
Figura 3.11- Cubo de Necker.....	137
Figura 3.12- Escada que parece ter duas perspectivas.....	138
Figura 3.13- Projeção ortográfica 3.ª diedro.....	139
Figura 3.14- Cubo projetado para o infinito.....	140
Figura 3.15 - Exemplo de modelo fio-de-arame ambíguo.....	141
Figura 3.16 - Modelo de objeto não realizável.....	141
Figura 3.17 - Uma utilidade de modelo em fio-de-arame.....	142
Figura 3.18 - Suporte de alavanca de câmbio.....	143
Figura 3.19 - Seção curva com aproximação poligonal.....	144
Figura 3.20 - Rede poligonal	144
Figura 3.21 - Junção de segmentos de curva.....	147
Figura 3.22 - Curvas cúbicas paramétricas de Hermite com comprimentos variáveis.....	148
Figura 3.23 - Curvas paramétricas de Hermite com diversos ângulos de tangentes.....	148
Figura 3.24 - Curva de Bézier e seus pontos de controle...	149
Figura 3.25 - Superfície bi-cúbica de Hermite.....	150
Figura 3.26 - Gomos de Hermite conectados.....	151
Figura 3.27 - Gomo de Bézier.....	152
Figura 3.28 - Cálculo de volume de um modelo de superfície.....	152
Figura 3.29 - Modelo de superfície da carroçaria de um automóvel.....	153

Figura 3.30 - Dois métodos para representar modelos sólidos: geometria de representação por fronteira e geometria de sólidos construtivos.....	155
Figura 3.31 - Elementos de modelamento sólido por sólidos construtivos.....	156
Figura 3.32 - Resultado de operações específicas com geometrias sólidas construtivas.....	156
Figura 3.33 - Operações de translação (a) e rotação (b) de sólidos primitivos em torno de um eixo de simetria.....	157
Figura 3.34 - Modelo sólido na construção de componentes..	159
Figura 3.35 - Esboço de um terminal de barra.....	161
Figura 3.36 - Operações de modelamento sólido.....	161
Figura 3.37 - Representação de sólido por varredura de superfície.....	162
Figura 3.38 - Elementos usados nas relações de Euler.....	163
Figura 3.39 - Uso conjunto de sólidos e superfícies na obtenção de matriz de estampagem.....	165
Figura 3.40 - Tipos de aplicações e modelamento geométrico.....	166
Figura 3.41 - Definição de vistas para modelamento 3D. Projeção 3. ^o diedro.....	167
Figura 3.42 - Exemplo de colocação de cotas.....	169
Figura 3.43 - Detalhamento de um tubo curvo de seção circular.....	169
Figura 4.1 - Processo geral de projeto.....	175
Figura 4.2 - Influência de CAD/CAM no processo geral de projeto.....	176
Figura 4.3 - Três vistas do modelo fio-de-aramé.....	181
Figura 4.4 - Malha grosseira de elementos finitos que representa aproximadamente a estrutura da peça.....	183

Figura 5.1 - Comparação de custos e tempo de desenvolvimento de produto entre método convencional (manual) com recursos de CAD/CAM e com CAD/CAE/CAM.....	197
Figura 6.1 - Seguimento da informação no desenvolvimento de projeto.....	210
Figura 6.2 - Seguimento de informação no desenvolvimento de novos produtos.....	213
Figura 6.3 - Seguimento de informação no desenvolvimento de produto em processo convencional.....	214
Figura 6.4 - Seguimento de informação no desenvolvimento de produto sob influência de sistema CAD/CAM.....	215
Figura 10.1 - Generalização do uso de banco de dados.....	277
Figura 11.1 - Mercado CAD/CAE/CAM projetado para 1993....	280

ÍNDICE DE TABELAS

TABELA	PAG.
Tabela 1.1 - Oferta nacional de sistemas CAD/CAM baseados em micros.....	19
Tabela 1.2 - Volume de importações de estações gráficas em unidades.....	20
Tabela 1.3 - Participação de mercado das empresas nacionais.....	21
Tabela 2.1 - Comparação entre os recursos de terminais gráficos.....	40
Tabela 2.2 - Os seis níveis de Software CAD/CAM.....	54
Tabela 2.3 - Linguagens em computação.....	56
Tabela 2.4 - Métodos de definição de elementos em sistemas gráficos.....	79
Tabela 2.5 - Recursos de edição de elementos mais comuns em sistemas gráficos.....	81
Tabela 2.6 - Áreas assistidas por CAD/CAM.....	87
Tabela 2.7 - Relação de potenciais benefícios que podem resultar da implementação de CAD como parte de um sistema CAD/CAM integrado.....	89
Tabela 2.8 - Distribuição de usuários de sistemas CAD/CAM no Brasil.....	94
Tabela 2.9 - Aplicação de CAD/CAM por setores.....	95
Tabela 3.1 - Aplicações de modelos 3D versus 2D.....	170
Tabela 5.1 - Benefícios mais comuns do uso de CAD/CAM.....	195
Tabela 8.1 - Ganhos de produtividade utilizando-se sistemas CAD/CAM.....	264

PARTE I: ASPECTOS TÉCNICOS E APLICAÇÕES DE CAD/CAM
EM ENGENHARIA E PROJETO MECÂNICO

" Novas tecnologias e descobertas normalmente geram duas reações: receio ou deslumbramento. O conhecimento de aspectos técnicos envolvidos e informação sobre tipos de utilização propiciam o meio termo na reação: desafio - que resume entusiasmo e estudo."

1. INTRODUÇÃO

1.1 - Considerações Gerais

Desde que Euclides escreveu Os Elementos em 300 a.C., compilando toda a geometria por nós utilizada no dia-a-dia, o processo de criar formas geométricas regulares ou não é através do uso de papel, lápis, régua, compasso, etc., que manipulados adequadamente, seguindo procedimentos bem determinados, geram as mais diversas figuras representando objetos.

O surgimento da computação provocou um impacto muito grande em praticamente todas as atividades industriais e científicas, onde se expandiu rapidamente. Havia porém uma área ainda intocada pelos computadores: a linguagem de formas construtivas, geométricas, enfim, a criação com a linguagem de desenhos. O uso da computação exigia, então, conhecimentos de programação; linguagens e metodologias computacionais, etc., que não eram exatamente do âmbito dos usuários: projetistas, desenhistas, engenheiros, arquitetos etc.

Na década de 60, no MIT, Sutherland (2) lançou as bases daquilo que seria a computação gráfica. Pela primeira vez então passou-se a interagir com o computador através da linguagem usual de desenho, ou seja, solicitando-se o desenho de linhas, círculos etc., que eram mostrados nas telas dos terminais.

A utilização dos recursos de CAD/CAE/CAM, requer do profissional basicamente aquilo que já faz parte do seu universo de trabalho, não requerendo portanto, profundos conhecimentos de ciência computacional.

Uma boa definição de computação gráfica (Compugrafia, segundo ABNT, Comitê QB-21) pode ser a seguinte: " Computação gráfica é a arte ou ciência de produzir imagens gráficas com o auxílio de computador." (3)

Porém, nenhuma definição resumida de computação gráfica poderá captar todas as suas múltiplas aplicações.

O que é CAD/CAE/CAM?

A tradução simples da sigla é: Computer Aided Design / Computer Aided Engineering/ Computer Aided Manufacturing, que em português é aproximadamente: Projeto Auxiliado por Computador/ Engenharia Auxiliada por Computador / Manufatura Auxiliada por Computador. Traduzido para português, o sentido perde um pouco da exatidão, porque "projeto" em português, aplica-se desde a desenhos arquitetônicos, mecânicos e estende-se até ao social como por exemplo "projeto social do Governo". No inglês, "design" quase sempre está associado ao aspecto criativo de formas e produtos com sua consequente materialização através de engenharia e manufatura. O mesmo ocorre no caso de Engenharia, em que se pode fazer um programa para resolver uma equação, sem que isso signifique CAE; ou na Manufatura, em que se pode ter o controle de produção com o auxílio do computador, sem que isso signifique CAM. O conceito CAD só passa a existir quando se juntam recursos computacionais ao desenvolvimento do produto, através de ação sobre seu modelo computacional. O conceito CAM passa a existir, somente quando se juntam recursos computacionais a máquinas-ferramentas para geração de peças e formas automaticamente.

Portanto, o que distingue CAD/CAM de outras aplicações de engenharia e manufatura em computador é, basicamente:

- . Uso de recursos gráficos interativos
- . Modelamento geométrico
- . Reutilização da informação de produto armazenada

Para alguns autores, a ênfase no agrupamento CAD/CAM quase fez com que CAD e CAM perdessem sua identidade. Essa forma atrelada de apresentação é um conceito mercadológico, pois os sistemas consistem basicamente de justaposição de hardware e software, não sendo fruto de uma concepção original integrada de projeto e fabricação (12).

Embora possam operar de forma independente acreditamos que somente com um banco de dados integrado e compartilhado, o uso de CAD e de CAM se torne eficaz e produtivo a fim de assegurar o retorno do investimento. Portanto, usaremos as siglas CAD/CAM para nos referirmos às atividades integradas de projeto e manufatura, que às vezes

virá acompanhada da sigla CAE.

Em nossa opinião CAD/CAE/CAM devem ser mantidas como siglas que significam uso de computador dotado de recursos de software e hardware, que permitam ao usuário dele se utilizar, sem necessitar de conhecimentos da ciência da computação ou linguagens de programação e, somente com seus conhecimentos profissionais, interagir com o computador para obter os resultados procurados.

Assim, usaremos neste trabalho as siglas CAD/CAM, ou CAD/CAE/CAM por ser de utilização generalizada e com significado exposto anteriormente.

A atividade CAD/CAM é multiplicadora de ações como círculos concêntricos das ondas em um lago. O fundamento é que um banco de dados inicial, gerado na concepção do projeto, se torne comum para as atividades de produção, documentação, expedição, etc. da empresa. Sem isso não se pode falar em sistema CAD/CAM.

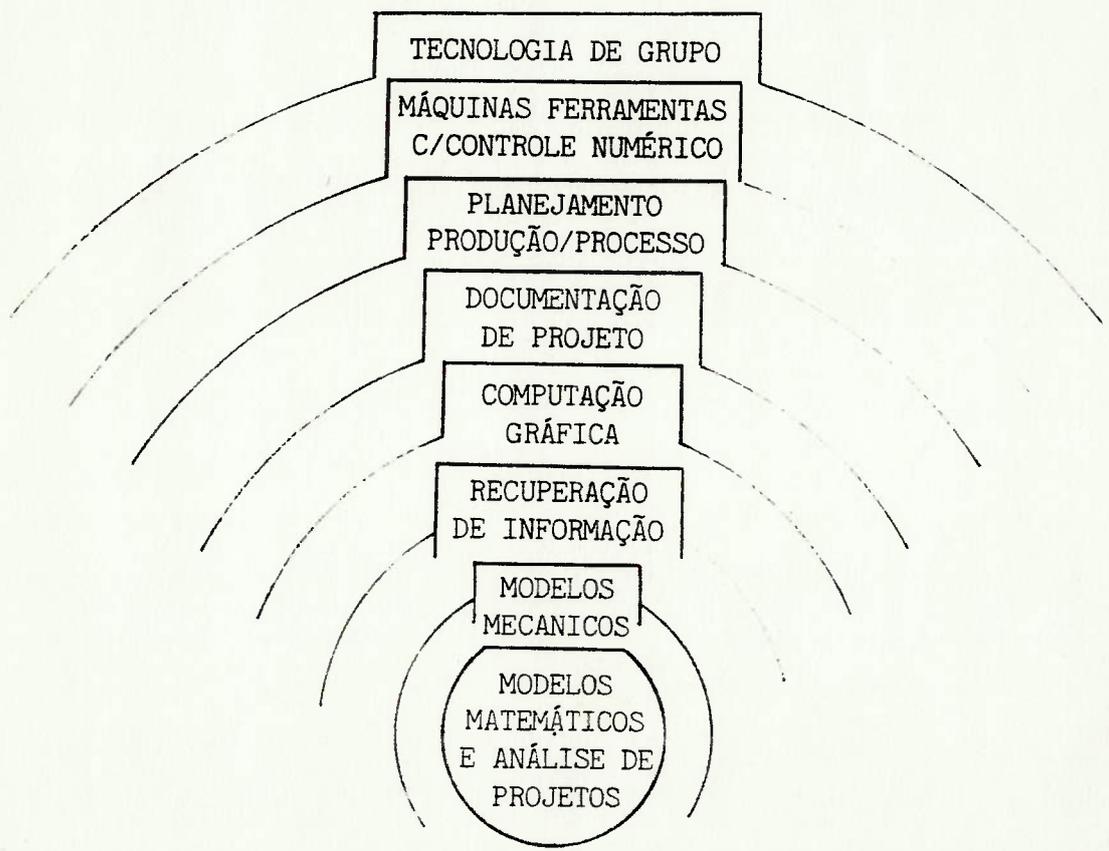


Figura 1.1

Os ingredientes básicos de um sistema CAD/CAM: modelos matemáticos, mecânicos, recuperação de informação, documentação de projeto, planejamento de processo, máquinas ferramentas CN e tecnologia de grupo têm sido utilizados nos últimos 20 anos. (36).

1.2 - Histórico

A história da compugrafia propriamente dita está por ser escrita, o que é perfeitamente compreensível partindo-se do ponto de vista da História das Ciências, uma vez que essa atividade não completou ainda três décadas de atividade efetiva. Porém, se compararmos com a evolução ocorrida, tem-se a impressão que tudo começou há muito tempo. Em compugrafia e naturalmente na informática, um ano equivale a décadas em termos evolutivos se comparada com outras ciências.

O primeiro desenvolvimento é naturalmente o computador, porém não vamos aqui repetir a história dos computadores e sim daquilo que se convencionou chamar de Estações de Trabalho, conceito esse, que vai se delineando à medida que caminhamos pelo nosso texto. Entretanto, não podemos deixar de considerar a importância da microeletrônica no conceito e materialização de CAD/CAM. O primeiro computador operacional, o ENIAC (Electronic Numerical Integrator and Calculator) construído entre 1942-1945, continha cerca de 1800 válvulas e a temperatura chegava a 200°C no seu interior. Com os contínuos aperfeiçoamentos e reduções ficou evidente que o uso de válvulas era um problema sério para o futuro desenvolvimento da eletrônica.

A Bell Telephone Laboratories, que financiava pesquisas em semicondutores desde 1936, foi recompensada em 1947, quando três dos seus cientistas descobriram o transistor. Daquele ano em diante a microeletrônica decolou e hoje é praticamente impossível imaginar o mundo sem semicondutores.

Tubos de raios catódicos surgiram no início de 1951 e os traçadores gráficos eram utilizados em 1953. As canetas eletrônicas surgiram em 1958 e as mesas digitalizadoras em 1964. De fato, a maioria da tecnologia disponível surgiu ou se consolidou na década de 60.

Durante 1962, Ivan Sutherland no MIT estabeleceu na sua tese de doutorado, que sistemas gráficos interativos eram viáveis. O resultado do seu trabalho foi um filme mostrando a computação gráfica que, resultado de ampla divulgação, criou grande interesse no con-

ceito. Sutherland introduziu e desenvolveu muitas das idéias fundamentais e técnicas, que ainda estão em uso hoje em dia.

No mesmo período, a General Motors e Lincoln Laboratories demonstraram independentemente a possibilidade da utilização dos tubos de raios catódicos (CRT) como terminais gráficos.

Na área de CAM, as novas tecnologias foram na direção de fazer a ferramenta trabalhar a peça mais rapidamente.

Provavelmente, a tecnologia CAM mais conhecida e amadurecida seja Controle Numérico (CN). As duas primeiras linguagens de programação desenvolvidas no final dos anos 50 foram APT e PRONTO. Isto permitiu que os programadores se comunicassem com a máquina através de comandos e dados que faziam parte de uma operação de geração de uma peça. Ambas ainda hoje são utilizadas sendo que APT (Automatic Programming Tool) é a linguagem mais utilizada no mundo.

A seguir veio a robótica, que deriva da palavra robô. A palavra robô vem da palavra tcheca ROBOTITI, que significa pessoa que faz trabalhos repetitivos, cansativos, como escravos. Passou a ser usada a partir de 1921 depois que a peça escrita pelo dramaturgo tcheco Karel Capek chamada R.U.R. foi encenada. As iniciais de Rossum's Universal Robots e ele a escreveu em protesto contra trabalho compulsório.

De fato, o primeiro robô industrial não foi desenvolvido até 1950, quando George Devol começou a patentear seu conceito de um robô industrial. Em 1958, Devol entrou com um acordo de licenciamento com a Consolidated Control Corp, subsidiária da Condec Corp.

Por volta de 1960 um modelo de laboratório estava em operação e em 1962 os protótipos estavam prontos. Durante aquele ano, Condec e Pulman Inc. se fundiram para formar a Unimation. Assim a indústria de robótica nascia (37).

A partir de 1971 a indústria de CAD/CAM e a informática adquiriram a forma que as conhecemos hoje, com o conceito de microprocessadores. Os microprocessadores surgiram por volta de 1971 e desde aquele tempo o termo microprocessadores tem sido geralmente referido como o conceito de um computador em chip. Antes de 1971 e em casos iso

lados daí em diante, o termo tinha um significado diferente.

Antes de 1971, um microprocessador era um processador que executava microinstruções, por isso era um processador que era microprogramado. Esse uso do termo surgiu particularmente no meio acadêmico. Desde 1971 o termo passou a referir-se a um computador em chip.

Esses microprocessadores incluem sistemas integrados de larga escala (LSI) com velocidade e poder de computação equivalente ou até maior, que muitos dos minicomputadores dos últimos anos.

Seguindo essa evolução chegamos ao advento dos microcomputadores que colocaram enfim o computador na nossa mesa de trabalho em casa ou no escritório. A título de ilustração vamos citar apenas a evolução dos PC's da IBM por ser o equipamento padrão dos sistemas CAD/CAM baseados em micros.

-Agosto de 1981- IBM lança PC (Personal Computer) com 0,25 mips, RAM 256 a 640 kbytes e com 1 ou 2 leitores para disquetes de 360 kbytes. Processador Intel 8088, de 16 bits.

-Março de 1983- IBM lança PC-XT, com 0,25 mips, RAM 640 kbytes com disco rígido de 10 a 20 Mbytes (5 vezes mais rápido que os disquetes). Processador Intel 8088, de 16 bits.

-Junho de 1984- IBM lança PC-AT com velocidade de 1 mips, RAM 640 a 1 Mbyte e disco rígido de 20 a 60 Mbytes. (5 a 8 vezes mais rápido que PC-XT). Processador Intel 80286, de 16 bits.

O modelo PC-AT com processador Intel 80286 ou 80386 tornou-se o hardware padrão para sistemas CAD/CAM baseados em microcomputadores hoje existentes. O PC-XT embora com processador de 16 bits, comunicava-se com periféricos em grupos de 8 bits, enquanto no PC-AT essa comunicação era em 16 bits. Portanto o PC-AT foi o primeiro PC efetivamente de 16 bits.

Uma forma interessante de se observar a evolução histórica da compugrafia é aquela sugerida por Marchover (5), que será por nós adotada. Seguimos uma divisão dos períodos conforme apresentado por Stark (33).

Trata-se de uma análise por épocas, atribuindo-se a cada uma um nome que resuma a característica central do desenvolvimento naquele

período. Assim, de meados dos anos 50 ao início dos anos 60 chamaremos de Genesis. A era dos anos 60 foi a época do deslumbramento com o que a indústria Aeroespacial e Automobilística realizavam em computação gráfica. Do final dos anos 60 a meados dos anos 70 foi o período de surgimento de centenas de empresas de computação gráfica. Pelo final dos anos 70 e meados dos anos 80 começaram novos avanços no software (sólidos) e a explosão dos microcomputadores.

1950-1960: Genesis

No início da década de 50, a computação digital começava seus primeiros passos. As primeiras aplicações tais como programação de controle numérico, cálculo por elementos finitos eram processos em "batch" e não podem ser considerados CAD/CAM. Como já foi dito, o que distingue CAD/CAM é o uso de computação gráfica interativamente, o modelamento geométrico e a reutilização da informação armazenada no computador. Assim, antes que os gráficos pudessem ser usados interativamente, os terminais precisavam ser inventados e fabricados. Do mesmo modo, antes do banco de dados poder ser reutilizado, os modos de se representar a geometria do produto tiveram que ser descobertos e implementados. Esses foram os problemas abordados e resolvidos nessa época.

1960-1965: Primeiros passos

Nesse período, as duas dificuldades acima citadas estavam sob desenvolvimento. Naquela época somente computadores de grande porte eram disponíveis regularmente (em particular IBM e CDC) e os terminais gráficos em desenvolvimento usavam a tecnologia de vídeo a vetoriais reavivados (refreshs). O custo elevado do hardware, do desenvolvimento de software e a disponibilidade limitada de novas tecnologias em hardware, restringia os usuários de CAD/CAM às principais indústrias aeroespaciais e automobilísticas dos Estados Unidos, que desenvolviam os sistemas para uso próprio.

O acontecimento mais marcante em hardware foi a consolidação dos terminais gráficos, mesas digitalizadoras, canetas eletrônicas. Em

software foi o desenvolvimento de formulações matemáticas para representação da geometria para modelamento de peças e produtos.

CASTELJAU (1963): usou formas triangulares como gomos, que unidos formavam a superfície (6).

FERGUSON (1964): usou representação paramétrica em vez de cartesianas para curvas e interpolações (7).

1965-1970: Novos negócios/Novas empresas

De 1965 a 1970 as bases não se modificaram. Um computador de grande porte e um terminal vetorial com custos elevados ainda persistiam como únicos equipamentos disponíveis para uso em CAD/CAM. Ainda não haviam softwares CAD/CAM disponíveis em pacote, assim, os usuários de CAD/CAM eram obrigados a desenvolver seus próprios softwares.

Começou nesse período a se difundir o uso de CAD/CAM, lentamente a princípio, nos Estados Unidos, Europa e Japão, nas áreas da indústria aeroespacial, naval e automobilística. Em 1970 o uso de CAD/CAM em engenharia mecânica e manufatura estava limitado a 50 companhias, em todo o mundo. Nessas empresas o uso de CAD/CAM era restrito a aplicações específicas, como por exemplo, projeto e geração de peças com superfícies esculturais.

A percentagem de peças projetadas e fabricadas com CAD/CAM era muito baixa, em média menos de 1%. (33)

A falta de softwares aplicativos e de um equipamento já integrado, ensejou a criação de muitas empresas nesse período: Computervision, Intergraph, Calma, Applicon, que se tornaram então fornecedoras de sistemas CAD/CAM completos, chamados "turn Key".

CURRY and SCHOENBERG (1966): começam a explorar os recursos das curvas Splines e B-Splines (8).

COONS (1967): mostrou como quatro curvas de fronteira poderiam tornar-se superfícies (gomos) se fossem interligados (9).

BEZIER (1968): desenvolve os estudos para obtenção de superfícies para controle numérico (10).

1970-1975: CAD/CAM: Uma nova era

Esse período foi marcado por novas tecnologias: minicomputadores, vídeos matriciais (raster scan) e memória virtual. Esses novos equipamentos mais baratos que os computadores de grande porte e vídeos vetoriais, tornaram o hardware de CAD/CAM mais acessível. Os softwares não específicos começaram a ser desenvolvidos em linguagem estruturada e os sistemas prontos para usar (turn key) (composto de minicomputador, vídeo matricial, software básico) a ser comercializados. O software era especialmente para desenhos 2-D, embora alguns, por vezes, tivessem capacidade limitada de modelo 3-D em fio-de-arame (wireframe). Esse período viu o crescimento de companhias como Computervision e Applicon. O uso de CAD/CAM ainda era restrito a um pequeno número de empresas nas áreas de engenharia de projeto mecânico e de manufatura. Para a média das companhias o custo dos sistemas CAD/CAM ainda era muito alto. A maioria dos sistemas "turn key" foram para as indústrias aeroespaciais e automobilísticas.

BEZIER (1971): reformulou os conceitos lançados por Ferguson e criou o projeto de superfícies. (11)

GORDON e RIESENFELD (1974) (Superfícies de Bezier): explorou as B-Splines fornecendo recursos para modificações locais em curvas e superfícies. (12)

1975-1980: Consolida-se a indústria CAD/CAM

Somente no período 1975-1980 CAD/CAM rompe suas fronteiras tradicionais. Descobrem-se novas aplicações, multiplica-se seu efeito, abrem-se possibilidades inimagináveis para a indústria, não somente em termos de ganho de produtividade, mas também na possibilidade de desenvolver novas formas, novos produtos: torna-se mais rápido atender as necessidades do mercado.

O período não apresentou nenhum avanço em hardware e software que representasse uma nova fronteira. Porém, multiplicaram-se os congressos e seminários sobre o assunto. O meio acadêmico avalizava a tecnologia, grande número de trabalhos e publicações foram edita-

das (quase todos apresentando vantagens e benefícios, muito poucos comentavam as dificuldades). Como resultado, as direções das empresas começaram a ver em CAD/CAM uma resposta para atender o aumento de produtividade.

Nesse período justificava-se facilmente um sistema CAD/CAM, baseando-se em estimativas, que não propiciavam nenhuma base real para a decisão (como poderia um gerente saber que a produtividade seria de três para um, quando o vendedor dizia que era de dez para um?).

No final do período toda a indústria do ramo aeronáutico ou automotivo possuía pelo menos um sistema CAD/CAM e procuravam outros para aplicações específicas. Também a maioria da indústria naval, de geração de energia e de fornecedores da indústria aeronáutica e automotiva estavam usando técnicas de CAD/CAM.

Consolidava-se assim a tecnologia, através da credibilidade do mercado, como uma opção para aumento de produtividade e qualidade.

1980-1985: Generaliza-se o uso de CAD/CAM

Nesse período começou efetivamente o uso de CAD/CAM em um grande número de aplicações de Engenharia Mecânica e Manufatura. Entre as razões para isso, podemos citar: mudança na tecnologia, experiência acumulada em CAD/CAM, necessidade de aumento de produtividade, pressão de fornecedores, aumento de competição, etc. Enquanto em 1970-1975 novas possibilidades eram oferecidas pela introdução de minicomputadores e vídeos matriciais em 1980-1985 novas possibilidades surgiram da introdução de microcomputadores e tubos de imagem com telas de varredura.

Surgiu o conceito de "estação de trabalho". A introdução de estações de trabalho e microcomputadores levaram ao desenvolvimento de novos softwares para se adequar ao novo hardware, resultando em um barateamento global dos sistemas. Esse período marca a introdução de softwares europeus no mercado até então dominado pelos americanos. Os sistemas europeus, tendiam a ser mais orientados para modelamento geométrico. Nesse período que os modeladores de sólidos

começaram a ser usados, embora raramente, para aplicações industriais.

As empresas fornecedoras de grandes sistemas "turn key" sofreram um grande impacto, resultando em queda de vendas. Reescreveram seus softwares e partiram para sistemas baseados em PC AT e estações de trabalho, dando início a uma nova etapa do uso da tecnologia.

O aumento da necessidade de ganhos de produtividade, a direção dada pelos governos nos investimentos em CAD/CAM e uso generalizado de CAD/CAM levaram os dirigentes das empresas a concluir que CAD/CAM era realmente necessário. Em muitos casos era evidente, que não havia alternativa fora de CAD/CAM. Quando o fabricante de automóveis não mais transferia desenhos ao fornecedor e sim uma fita contendo dados de CAD/CAM, o fornecedor era virtualmente forçado a usar CAD/CAM. Do mesmo modo, a empresa que achasse que seu concorrente estava usando CAD/CAM para colocar produtos no mercado em seis meses em vez de dezoito tinha poucas alternativas fora do CAD/CAM.

O período de 1980-1985 viu o uso de CAD/CAM sair do seu ambiente tradicional "alto custo, alta tecnologia" na indústria automobilística e aeronáutica para companhias envolvidas em projeto mecânico no dia-a-dia do tipo "baixo custo, alta tecnologia". Ao mesmo tempo CAD/CAM começa a ser usado em praticamente toda a tecnologia de produção.

A idéia da fábrica automática, fábrica do futuro parece ser questão de tempo, figura 1.2.

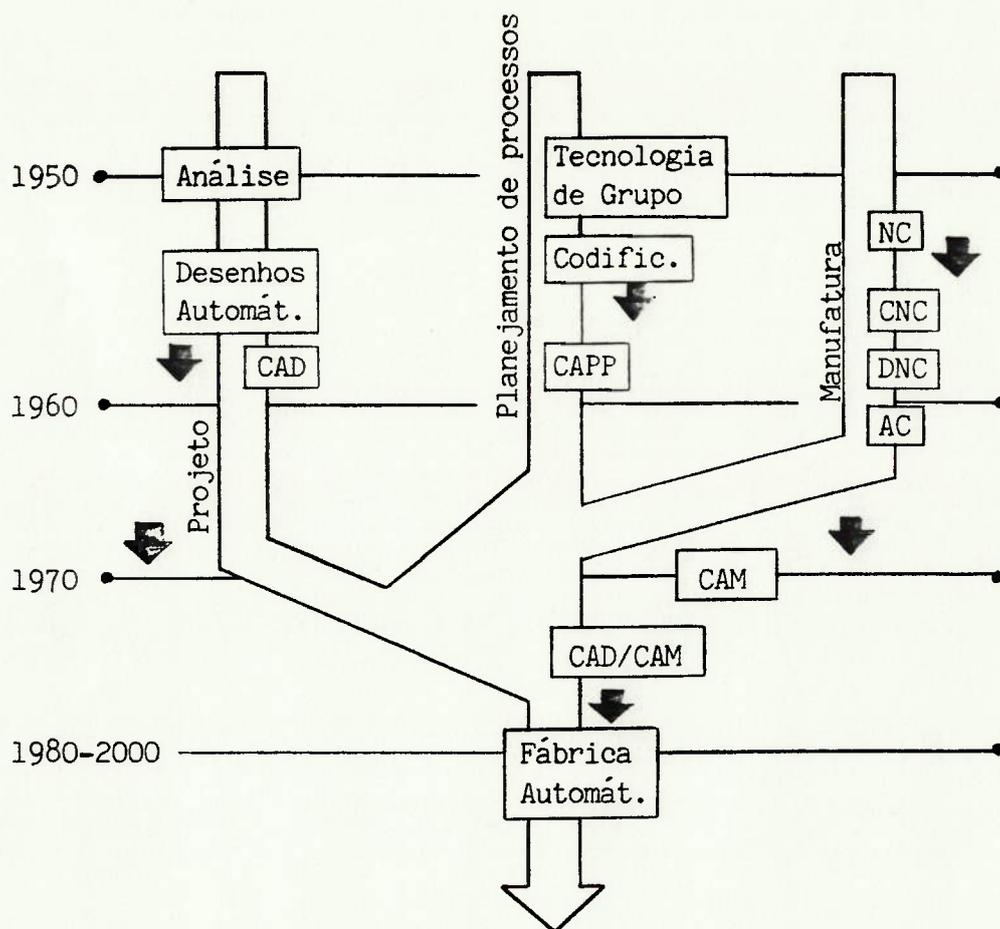


Figura 1.2 Desenvolvimento histórico de CAD/CAM. (31)

A evolução do CAD/CAM foi acompanhado por toda uma evolução em atividades de suporte à fabricação, tais como planejamento de processo, controle de produção, movimentação de material e meios de comunicação entre a máquina na linha de produção e o computador. A figura 1.2 ilustra essa evolução e indica que tudo levará de fato à fábrica automática.

1.3 - CAD/CAM - Panorama Brasileiro

A introdução e evolução de aplicações de CAD/CAM no Brasil aconteceu de modo similar à dos países pioneiros (EUA e Europa Ocidental). Com a defasagem de pouco mais de uma década repetiu-se aqui na indústria aeronáutica e automobilística a motivação para aplicações de CAD/CAM.

Na indústria aeronáutica (EMBRAER) e de auto peças (METAL LEVE) vamos encontrar sistemas CAD/CAM operando a partir de 1980, quando então, instalar-se um sistema desse tipo era uma decisão arrojada dadas as condições presentes; altas somas envolvidas, falta de suporte técnico no Brasil e desconhecimento das reais implicações do sistema. É de praxe referir-se à EMBRAER como a experiência pioneira. Essa empresa instalou o seu primeiro sistema CAD/CAM em 1980 Era composto de 16 terminais Gerber, ampliados posteriormente para 34, ligados a 9 processadores HP 1000 (12).

Porém, com a necessidade de se aperfeiçoar o produto e aumentar a produtividade na busca do mercado externo, tivemos um rápido crescimento da base instalada, no mercado disputado basicamente pela Computervision e Intergraph. Em 1985 o governo brasileiro reservou o mercado para um grupo de empresas nacionais com um projeto de absorção de tecnologia. Foi um golpe fatal para a Computervision que ficou de fora, gerando um duro golpe na ampliação da utilização de sistemas CAD/CAM, por falta de suporte com a expulsão das multinacionais do mercado.

A intervenção federal deliniou-se através da Comissão Especial n.º 12/83 da SEI (Secretaria Especial de Informática)- Comissão Especial de Automação e Manufatura.

Teve esta duas finalidades básicas (12):

a) Prover a SEI com informações, que permitissem aos seu técnicos conhecer melhor o campo da automação da manufatura, em termos de conceitos, da prática então vigente e dos impactos tecnológicos, empresariais e sociais previsíveis.

Para isso dezenas de especialistas, profissionais e empresários foram convidados e agrupados em três subcomissões de estudos (de

tecnologia, de indústria e de social).

b) Propor diretrizes da política a ser estabelecida pela SEI para a defesa dos interesses nacionais nessa área, considerada pelo órgão, vinculado ao Conselho de Segurança Nacional, como integrante do campo de Informática, escopo de sua atuação.

Como resultado desses estudos, foi emitido o comunicado STI/SEI n.º 1/84, de 13/9/1984, quando a partir de então, o mercado ficou regido pelas disposições do Governo Federal.

O referido comunicado convocava as empresas interessadas em submeter projetos para desenvolvimento e integração de sistemas de computação gráfica e de apoio à Engenharia (CAD/CAE- Computer Aided Engineering e MDS- Microprocessor Development Systems), destinados à comercialização no País. Entre as exigências, havia o pagamento de 5% de royalties e o direito da empresa nacional competir no exterior. A empresa estrangeira deveria abrir o software para o parceiro nacional. (49)

Meio ano depois, foram selecionados alguns dos projetos apresentados e, mediante o comunicado STI/SEI n.º 4/85, de março de 1985, foram divulgadas as empresas qualificadas. A partir de então, por não haver critério de similaridade, a importação ficava praticamente proibida. Durante os três anos seguintes as empresas teriam dificuldades para trazer equipamentos e se manterem competitivas.

Na figura 1.3 apresentam-se as empresas que tiveram seus projetos aprovados, segundo origem da tecnologia e conteúdo do mesmo. Houve algumas alterações posteriores, a saber (12):

- A Compugraph substituiu a aquisição de tecnologia de hardware (estação de trabalho) da empresa Scientific Calculations e decidiu desenvolver um hardware com tecnologia própria.

- A Multitel constituiu a empresa Multicad e substituiu a aquisição de tecnologia de hardware (estação de trabalho) da empresa Apollo Computer por um hardware nacional (Pegasus, desenvolvido pelo Núcleo de Computação Eletrônica da Universidade Federal do Rio de Janeiro), deveria efetuar as devidas adaptações para utilização como estação de trabalho.

Durante a fase de desenvolvimento dos produtos nacionais simi-

EMPRESA	TIPO	OBJETO	TECNOLOGIA
MEGA SYSTEMS	desenvolvimento	Sistema CAD	nacional
SMAR	desenvolvimento	Sistema CAD	nacional
SPLICE	desenvolvimento	Sistema CAE	nacional
METRIXER	fabr./integr.	Sistema CAE	nacional
DATA CAL	fabr./integr.	Sistema CAE	nacional
ITAUTEC	des.17000 XT/AT	Est. trabalho	nacional
ITAUTEC	des. 32 bits	Est. trabalho	nacional
TECNEMA	desenvolvimento	Soft CAD	nacional
DIGICON	desenvolvimento	Soft CAD	nacional
STI	fabricação	Mesa digital	nacional
DATA CAL	desenvolvimento	Traq. digit.	nacional
DIGICON	fabricação	Traq. e Mesa dig.	nacional
COMICRO	integração (')	Soft gráfico	T&W Systems
MENTAT	integração (')	Soft gráfico	Siemens
EXACTA	integração (')	Soft gráfico	CLM systems
VILLARES	integração (')	Soft aplicat.	Control Data
A.DONATO	integração (')	Soft aplicat.	Shipping Res.
SISGRAPH	fabr./integ.(')		Intergraph
COMPUGRAPH	fabr./integ.(')		Matra/Scient.Calc.
MULTITEL	fabr./integ.(')		Calma/Apollo
EDISA	fabr./integ.(')		Hewlett Packard
ITAUTEC	des./integ.(')		CGX

(') utilizando computadores e periféricos fabricados no País, Soft aplicativo e Estação de trabalho.

Figura 1.3 Projetos aprovados pelo comunicado STI/SEI n.º4/85.(12).

lares, a SEI, autorizava sob certas condições não especificadas, a importação dos sistemas estrangeiros.

Houve amadurecimento da aplicação com a diversificação de sistemas. Formaram-se associações de usuários para defender seus interesses e troca de suporte técnico; surgiram congressos e seminários sobre CAD/CAE/CAM. Em virtude da política de reserva de mercado para CAD/CAE/CAM (1984-1988) o mercado brasileiro tinha disponível apenas 3 opções para sistemas "turn key" (Sisgraph, Compugraph e Multicad) e uma opção para micro (Comicro). Como resultado, os preços se elevaram, a qualidade de suporte decaiu e houve uma desaceleração na implantação de sistemas, principalmente porque as empresas adquirentes de tecnologia não podiam, às vezes, utilizar sistemas compatíveis com seus fornecedores. O mesmo ocorria com a multinacionais que de repente, em muitos casos, ficaram impedidas de ter sistemas compatíveis com os da matriz.

Essa política, a partir de 1988, foi reconhecida pela SEI como ineficaz, uma vez que a velocidade de lançamento no exterior tornava os produtos em projeto no Brasil totalmente obsoletos. As empresas escolhidas obtiveram o direito de importar equipamentos até iniciarem a produção local. Nesse ponto, por exigência do consumidor, ela sempre importava o último lançamento e na prática em vez de desenvolver uma estação com tecnologia nacional, aproveitava-se da reserva de mercado para aumentar a base instalada.

Houve tentativas de empresas na área de estação baseada em micro, que conseguiram criar uma estação nacional, porém proibitiva em termos de custo de hardware e insatisfatório em termos de software, essa combinação resultou em um produto de custo muito elevado, baixo desempenho, se comparado aos produtos importados, sendo sua única vantagem a fácil aquisição sem trâmites burocráticos e autorizações especiais, bem como suporte e treinamento local.

A partir de 1988, começa a flexibilização da reserva, resultado da Lei de Software (Decreto Lei n.º 96 036, de 12 de Maio de 1988) (13). Finalmente a SEI começou a se sensibilizar com as queixas dos usuários, que eram penalizados por equipamentos de alto custo, sem qualidade correspondente, sem suporte adequado dos beneficiados pe-

la reserva. Uma boa visão dessas reclamações foi constatada no Seminário de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, realizado em 14,15 e 16 de Outubro de 1987, no Instituto de Pesquisas Espaciais - INPE, em São José dos Campos-SP, organizado conjuntamente pela SEI e INPE (14).

A referida lei propiciou a importação de software para uso próprio, a famosa "cópia única", que após um ano de edição da lei não havia sido regulamentada pelo Banco Central. Permitiu também que surgisse um grande número de empresas de representação de sistemas importados, entre os quais destacamos: PRIME, SUN, IBM e BULL.

O mercado de oferta cresceu e o usuário tem hoje ao seu dispor várias opções que, se de um lado lhe permite melhor escolha, acaba por torná-la mais difícil, exigindo um criterioso processo de seleção.

Crescimento da base instalada (15) (16)

Na área de automação de manufatura, conforme a classificação da SEI, no período de 1984 a 1987 surgiram 8 empresas fabricantes, enquanto a quantidade de modelos passou de 14 para 35.

Nessa área entre os produtos pesquisados, a maior quantidade de equipamentos instalados no País era de comandos numéricos computadorizados-CNC's, que em 1984 apresentavam pouco mais de 200 unidades passando a mais de 2000, em 1987.

Em 1987 foram instalados no País 26 sistemas de robótica, e em 1988 apenas 9 sistemas. Espera-se um crescimento acelerado a partir de 1989, porém não dispomos de estatísticas no momento.

Em termos de crescimento os melhores resultados foram relativos às estações de trabalho CAD/CAM, que a partir de pouco mais de 66 estações de trabalho até 1986, chegou à marca de 205 estações instaladas até 1988. (15)

São Paulo é o grande mercado de estações de trabalho, possuindo 34,7% do total instalado em sua capital e 20,4% em seu interior, em seguida vem o Rio de Janeiro com 14,2%, a Bahia com 8% e os demais estados com 22,7%.

Na área de estações de trabalho baseada em microcomputadores até 1987 o mercado praticamente era dominado por duas empresas: Comicro (48%) e Itautec (52%). Essa situação começou a mudar em 1988 com a nova Lei de Software, que permitiu a entrada dos pesos-pesados da indústria mundial como Computervision, Intergraph, IBM, Sun, Prime etc., que através do cadastramento de software e hardware nacional de boa qualidade já oferecem soluções atrativas ao usuário brasileiro. A tabela 1.1 apresenta a oferta nacional de sistemas CAD, onde notamos o efeito multiplicador da liberdade de mercado.

Na área de sistemas de grande porte "turn key" até 1985 havia a liderança da Computervision seguida da Intergraph, com a resolução da SEI de Janeiro de 1985, houve uma restrição de acesso ao mercado a algumas empresas. O resultado em 1987 era o seguinte: Intergraph (41%), IBM (24%), Computervision (19%) e Multicad (9%). Na tabela 1.2, temos o efeito da liberação de importação. A Sun, a exemplo da tendência nos EEUU, vai tomando a liderança.

Presentemente o mercado brasileiro, bem como o mercado mundial, está passando por uma transformação de conceitos na área de automação industrial. Isso em grande parte devido ao impacto das novas tecnologias em hardware.

Encerramos este capítulo com o levantamento da base instalada no Brasil. Os números apresentados refletem cópias de software vendidas e não necessariamente estações de trabalho. Para maiores detalhes a respeito do tipo de software, se é para micro, mini ou computadores de grande porte, aplicação, preço etc., recomendamos a referência: "Guia de Automação Industrial, 1990" (17).

Tabela 1.1 Oferta nacional de sistemas CAD/CAM baseados em micros.

Empresa	Software	Unidades Comercializadas 1988	Unidades Comercializadas 1989	Porcentagem Destinada a Projetos mecânicos	Áreas de aplicação do sistema
ASCONGRAPH	CadKey	ND	60	100%	Autopças, ferramentaria, indústrias de transformação, consultoria
COMTCRO	Hiwire Plus	30	40	0%	Eletr-eletrônico
	Personal Designer	-	4	100%	Autopças, máquinas operatrizes, ferramentaria, montadoras, arquitetura e engenharia civil.
DIGICON	VersaCad	100	120	90%	Autopças, máquinas operatrizes, ferramentaria e engenharia civil.
	Autoshade	ND	100	90%	Engenharia de Produto
ITAITEC	AutoCad	ND	400	85%	Montadoras, autopças, manufatura ferramentaria e engenharia de produto.
	CadTec	500	700	30%	Arquitetura, engenharia, layout de fábricas e escritórios, esquemas elétricos e ferramentaria.
MULTIPLUS	SAP 90	ND	ND	50%	Análise estrutural estática e dinâmica de estruturas navais, automotivas e mecânicas em geral.
	CadPipe	ND	ND	100%	Indústrias químicas e petroquímicas
SISGRPH	Microstation	ND	150	80%	Ferramentaria, estamparia, injeção, extrusão, usinagem, projetos de máquinas, Autopças, Montadoras, etc.
	MicroCadam	ND	ND	90%	Montadoras, Autopças, ferramentaria
COMPUCAD	Personal Designer	ND	ND	100%	Projeto mecânico em geral
	Personal Machinist	ND	ND	100%	Programação C N em 2 1/2 eixos
PROHACON	UniCad	ND	10	100%	Indústria mecânica, Engenharia do Produto

Tabela 1.2 Volume de Importação de Estações Gráficas (em unidades).
Reflete o número de sistemas de grande porte e estações de trabalho.

Fabricante	Distribuidor	Ano 1988	Ano 1989 (até 31/10)	88/89 crescimento
SUN	Scopus	26	206	692%
DEC	Compugraph	9	66	633%
HP	Edisa	4	22	450%
GERBER	Pancostura	8	24	200%
PRIME	Comicro	11	18	64%
INTERGRAPH	Sisgraph	60	69	15%
APOLLO	Edisa	28	27	-4%
LECTRA	Lectra	15	12	-20%
IBM	Villares	97	51	-47%
TOTAL		258	483	87%

Fonte: Secretaria Especial de Informática
Gazeta Mercantil - 13 de Novembro de 1989

Em termos de software, temos a liderança da COMICRO seguida de perto pela SISGRAPH, ver tabela 1.3.

Mais de 60% dos softwares são para aplicações de Engenharia Mecânica, 38% para aplicações eletro-eletrônicas e 29% para mapeamento (17).

Tabela 1.3 Participação de mercado das empresas nacionais.
 Aquelas com 0% de participação cotadas da referência
 não foram citadas.

Empresa	Total de Software vendido Dez. 1989	Participação de Mercado Dez. 89
COMICRO	1065	23%
SISGRAPH	967	21%
DIGICON	600	13%
ITAUTEC	500	11%
VILLARES	462	10%
PROMACOM	200	4%
SCOPUS	200	4%
HICAD	160	3,6%
GRAPHO	150	3,2%
SMI	106	2,3%
COMPUGRAPH	90	1,9%
ASCONGRAPH	55	1,3%
COMPUCAD	35	1%
MULTICAD	23	0,5%
CAD SYSTEMS	10	0,2%
TOTAL	4623	100%

Fonte: Guia de Automação Industrial, 1990 (17).

2. FUNDAMENTOS DE CAD/CAM

2.1 - Considerações gerais

O computador tem se tornado essencial nas operações de negócios, atividades de governo, de engenharia, militares e pesquisa. E tem se mostrado, especialmente nos últimos anos, como uma poderosa ferramenta para auxiliar na concepção, projeto e manufatura de bens que propiciem a satisfação do ser humano.

CAD/CAM é o termo utilizado para descrever essa tendência e às vezes é referido como "nova onda na manufatura" ou ainda "nova revolução industrial" e outras expressões similares (18). Sem dúvida, constitui a mais significativa oportunidade para aumentos substanciais de ganhos de qualidade e produtividade.

A tecnologia de projeto e de manufatura estão se movendo na direção de uma grande integração de atividades que até então eram tradicionalmente tratadas como funções separadas e distintas em qualquer indústria. Essa integração efetiva lança as bases tecnológicas para fábrica integrada por computador.

CAD

Como já definimos no capítulo 1., o projeto auxiliado por computador (CAD) envolve qualquer tipo de atividade de projeto, que faz uso interativo do computador para desenvolver, analisar, otimizar ou modificar um projeto de engenharia (produto).

Os sistemas computacionais consistem de hardware e software que realizam funções especiais de projeto. O hardware é basicamente uma CPU, terminais gráficos, teclados e outros equipamentos periféricos, o que será melhor detalhado na seção 2.2. O software para CAD consiste basicamente de programas de computador para implementar computação gráfica no sistema e mais alguns programas aplicativos para facilitar as tarefas de engenharia (CAE). Exemplos desses programas aplicativos podemos citar: análises de tensão-deformação de componentes mecânicos, respostas dinâmicas de mecanismos, cálculos de transferên

cia de calor e mecânica dos fluidos programação de peças para CN. O conjunto de aplicações vai variar de empresa para empresa de acordo com o tipo de produto, linha de produção, processos de manufatura e mercados consumidores diferentes. Esses fatores deram origem a diferenças nos requisitos de sistemas CAD.

Sistemas CAD modernos são baseados em computadores gráficos interativos, orientados para o usuário, que são empregados para criar, transformar e apresentar dados na forma de imagens ou símbolos. O usuário de sistemas gráficos interativos projeta como um projetista ou o engenheiro fariam, comunicando dados e comandos ao computador. O computador comunica-se com o usuário através do tubo de imagem. Em muitos sistemas, a imagem é construída a partir de elementos geométricos primitivos - pontos, linhas, círculos e assim por diante. Pode também ser ampliada ou reduzida várias vezes, além de poder ser rodada, rebatida ou transladada para diversas posições na tela. Através dessas várias manipulações os detalhes necessários da imagem são visualizados facilmente. Resumindo, os benefícios que podem ser conseguidos através do uso de sistemas gráficos interativos na engenharia de projeto são os seguintes:

- a) Melhora a visualização do produto projetado.
- b) Habilidade para examinar alternativas de projeto em menor tempo em relação à abordagem manual.
- c) Fácil de projetar peças do tipo macho-e-fêmea, que serão acopladas na montagem do produto.
- d) Capacidade de simular a operação da peça projetada.
- e) Habilidade para resolver problemas de projetos em tempo real.
- f) Aumento de produtividade em relação aos métodos convencionais (prancheta e geometria descritiva) em mais de dez vezes.

É importante destacar que sistema gráfico interativo é um componente de CAD, que por sua vez é composto de quatro partes fundamentais:

- 1- O ser humano (projetista, engenheiro, etc.)
- 2- O hardware - computador e seus periféricos.

3- O software - um sistema geral e software de CAD.

4- O problema - o problema de projeto a ser resolvido.

Um sistema CAD é uma ferramenta usada pelo projetista ou engenheiro para resolver problemas de projeto. Com efeito, o sistema gráfico interativo amplia a capacidade do projetista. Esse efeito tem sido referido como efeito sinérgico, que exemplificamos a seguir.

O projetista faz o trabalho mais adequado às características intelectuais do ser humano (habilidade para criação de conceitos, pensamento independente); o computador faz a tarefa que melhor se adapta às suas características (velocidade de cálculo, apresentações visuais, capacidade de memória), o sistema resultante excede a soma dos componentes individuais.

Existem muitas razões para se instalar um sistema computacional para auxílio de projeto (19):

1- Para aumentar a capacidade do projetista/engenheiro.

Isso é conseguido pela ajuda ao projetista a visualizar o produto e seus subsistemas e peças; pela redução do tempo necessário em sintetizar, analisar e documentar o projeto. O aumento de produtividade traduz-se não somente em custos mais baixos de projeto, mas também em prazos menores para sua conclusão.

2- Para melhorar a qualidade do projeto.

Um sistema CAD permite análises de engenharia mais completas (da concepção ao dimensionamento final do produto) e propicia um número maior de alternativas para serem investigadas, em pouco tempo. Erros dimensionais de projeto são reduzidos. Esses fatores combinados levam a um projeto melhor.

3- Para melhorar a qualidade de comunicação.

O uso de sistema CAD fornece melhores desenhos de engenharia, maior padronização nos detalhamentos, melhor documentação do projeto, menos erros dimensionais e maior clareza de detalhes, portanto legibilidade. Sem dúvida esses fatores contribuem para uma melhor comunicação entre os usuários dos serviços da engenharia de produto.

4- Para criar banco de dados para Manufatura

No processo de criação de um produto em CAD, automaticamente é gerado um banco de dados com informações geométricas que alimentam um futuro programador CN. Também na geração de documentação do projeto do produto (especificação de materiais, lista de componentes, dimensões do produto, notas de desenho, número da peça, etc.) também fornecem um banco de dados para atividades de suporte em produção tais como: CAP (Computer Aided Planning), MRP (Material Requesting Planning) etc.

CAM

Vamos aqui ampliar o conceito estabelecido no cap. 1. CAM pode ser entendido como uso de sistemas computacionais para planejar, controlar, gerenciar as operações de manufatura de uma fábrica pela interface (18) direta ou indireta com os recursos humanos e físicos (19).

As aplicações de manufatura auxiliada por computador dividem-se em duas amplas categorias (19):

- 1- Aplicações diretas, nas quais o computador é usado ou para monitorar ou para controlar as operações de manufatura. Essa categoria de aplicação de CAM é conhecida como "processo computacional de monitoramento e controle" (19).
- 2- Aplicações indiretas do computador, que é usado para apoio das atividades de manufatura e no processo de produção. Exemplos dessas aplicações diretas incluem o uso de computador no controle da produção e estoques, na programação de máquinas CN, ordenação dos pedidos de produção, desenvolvimento de trabalhos padronizados. Essa categoria de aplicação é conhecida como "CAM para suporte de manufatura".

A distinção entre as duas categorias é fundamental para o entendimento de manufatura auxiliada por computador.

Monitoramento e controle computacional pode ser separado em aplicações de monitoramento e aplicações de controle. O processo computacional de monitoramento envolve uma interface computacional

com o processo de manufatura e o objetivo de observar o processo e os equipamentos e coletar dados do processo. O computador não é usado para controlar a operação diretamente. O controle do processo permanece nas mãos dos operadores, os quais podem ser orientados pela informação compilada pelo computador.

O processo computacional de controle vai um passo além do monitoramento, porque não somente observa o processo, como também o controla baseado nas observações. A distinção entre monitoramento e controle é mostrado na figura 2.1.

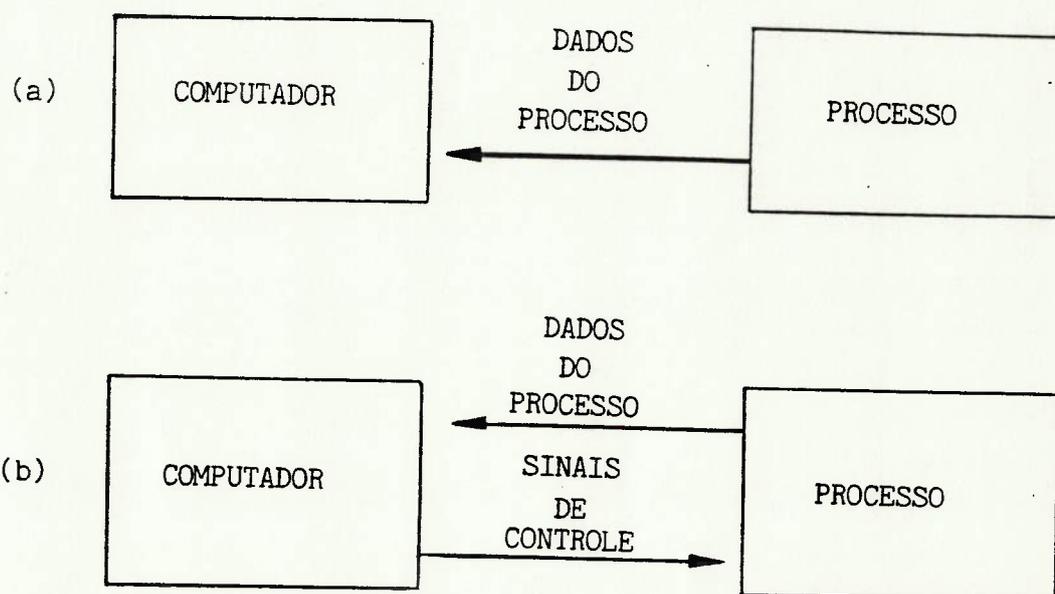


Figura 2.1 Monitoramento vs. controle por computador: (a) Monitoramento computacional. (b) Controle computacional.

No monitoramento computacional, o fluxo de dados é em uma direção, do processo para o computador. O controle permite um fluxo nos dois sentidos, os sinais fluem do processo para o computador e este por sua vez, envia comandos diretamente ao processo de manufatura baseado nos algoritmos de controle contidos no software.

Além das aplicações envolvendo uma comunicação direta computador-processo, com o objetivo de monitoramento controle, a manufatura auxiliada por computador inclui aplicações indiretas nas quais o computador tem o papel de suporte das operações de manufatura da fábrica. Nessas aplicações, não é ligado diretamente ao processo de manufatura. Em vez disso, o computador é usado em "off-line" para

fornecer planos, previsões, turnos de produção, instruções e informações com os quais os recursos de produção da firma possam ser administrados mais eficazmente. A forma de relacionamento entre o computador e o processo é representado simbolicamente na figura 2.2

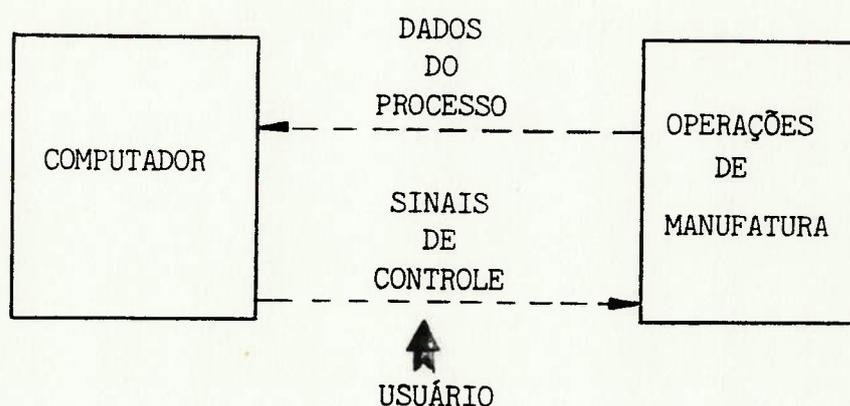


Figura 2.2 CAM para suporte de manufatura. (19).

As linhas tracejadas são usadas para indicar, que a ligação é feita "off-line", com os usuários frequentemente necessários para realizar a interface. Alguns exemplos de CAM para suporte de manufatura (19):

- Programação de Máquinas de Controle Numérico. Programas de controle são preparados para máquinas operatrizes automáticas.
- Planejamento do Processo Automatizado. O computador prepara a lista de sequência de operações necessárias para processar um determinado produto ou componente.
- Padrões de Tempo Gerados por Computador. O computador determina o tempo padrão para uma determinada operação de produção.
- Programação de Produção. O computador determina uma programação apropriada para atender os requisitos de produção.
- Planejamento de Matéria Prima Requerida (MRP). O computador é usado para determinar quando o pedido de matéria prima e de compra de componentes e quanto deve ser pedido para atingir o programa de produção.

- Supervisão da Produção. Nesta aplicação o computador é utilizado para determinar o progresso das várias seções de produção.

Em todos esses exemplos de aplicações os seres humanos são necessários para fornecer a entrada de dados dos programas, interpretar as saídas e implementar as ações necessárias.

Significados mais comuns para CAD/CAM (37).

CAD/CAM

CAD

- . Modelamento geométrico
- . Análise
- . Teste
- . Desenho
- . Documentação
- . Estilo
- . Desenvolvimento de produto

CAM

- . Controle numérico
- . Robótica
- . Planejamento de Processo
- . Gerenciamento de fábrica
- . Controle de estoques
- . Programação de compras

Essas duas disciplinas são ligadas por um banco de dados comum.

CAE/CAM (37)

É uma concepção existente, porém não tão divulgada.

CAE

- . Automatização de projetos
- . Análises e simulações
- . Projeto de ferramenta e processo
- . Programação CN

CAM

- . Produção de ferramentas
- . Produção de peças
- . Montagens automatizadas
- . Inspeção e teste
- . Controle de qualidade

Da mesma forma que em CAD/CAM, as disciplinas estão interligadas por um banco de dados comum, também esse conceito é entendido em muitas empresas, como engenharia de manufatura associada a engenharia de produção.

2.2. - Elementos Constitutivos de Sistemas CAD/CAM.

Nesta seção daremos uma descrição a nível de utilização e finalidades desses equipamentos. O tratamento a nível de projeto e detalhamento técnico desses equipamentos fogem do escopo deste trabalho, podendo ser encontrado nas referências (1) (3) e (4). O sistema CAD/CAM é formado de dispositivos físicos (hardware) e programas (software), que delineamos a seguir.

2.2.1. - Hardware

Os componentes de hardware para CAD são disponíveis em variadas formas, tamanhos, configurações e capacidades. Descreveremos a seguir os itens que diferenciam o sistema CAD dos demais sistemas computacionais.

Um sistema CAD autônomo é constituído, basicamente, por:

- a) Uma ou mais estações de trabalho, composta por um terminal de vídeo e um sistema de entrada de dados utilizado pelo operador.
- b) Um ou mais traçadores gráficos e/ou outros dispositivos de saída.
- c) Unidade de processamento, que pode ser local ou central, de acordo com o nível das estações gráficas.
- d) Unidade de armazenamento de massa.

Esses componentes estão representados esquematicamente na figura 2.3 e na figura 2.4.

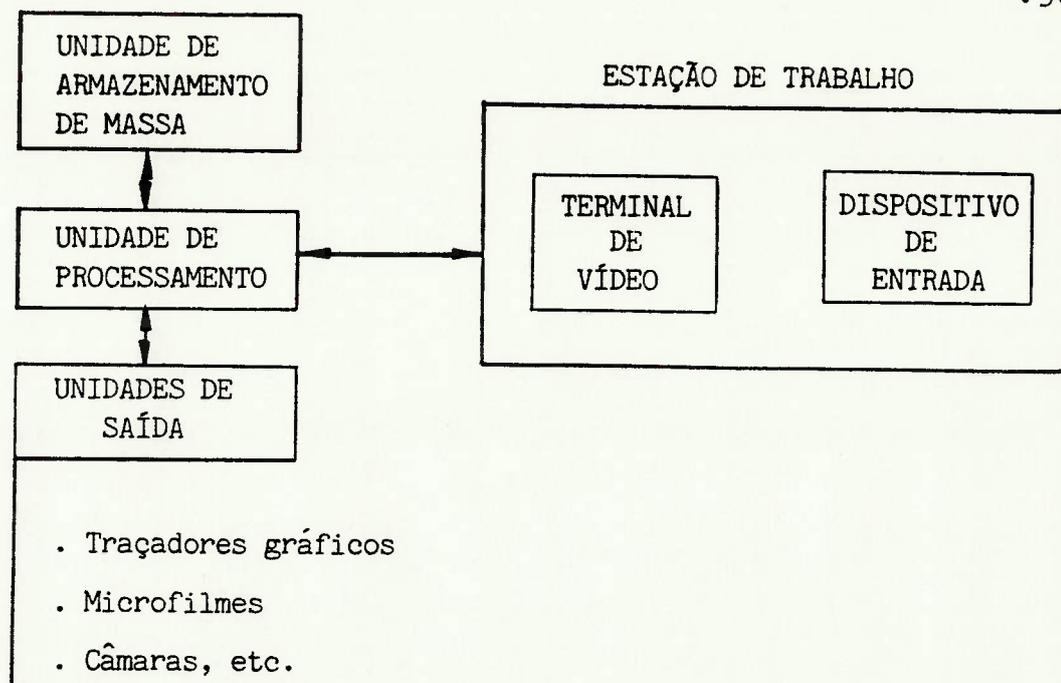


Figura 2.3 Constituição de um equipamento compugráfico interativo mínimo.

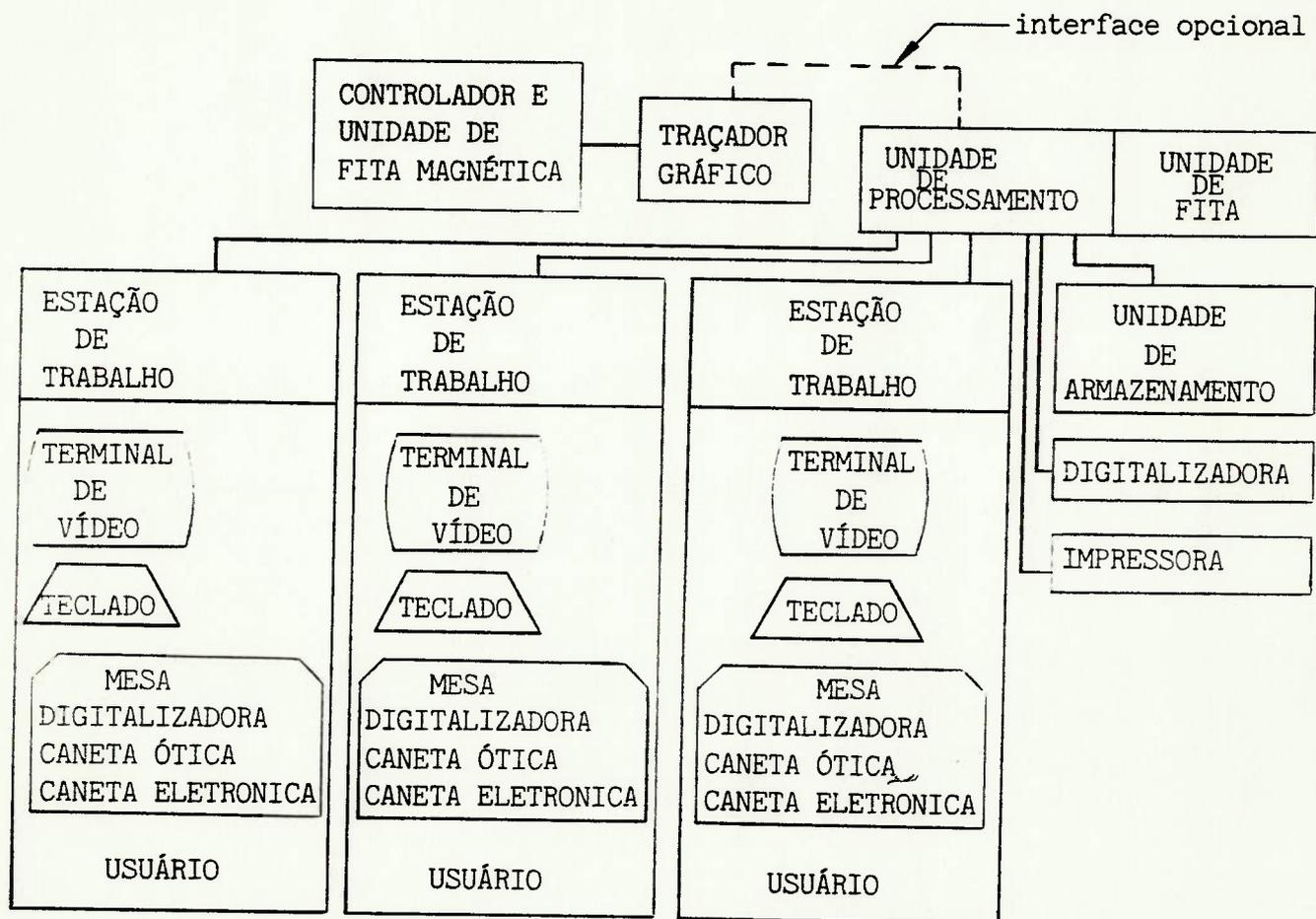


Figura 2.4 Sistema CAD com minicomputador, três terminais e periféricos para aplicações mecânicas.(21).

2.2.1.1. - Estação de Trabalho.

A estação de trabalho no sistema CAD é a interface com o mundo exterior e é o elemento mais visível do conjunto.

É fator determinante quanto a eficiência e conveniência do uso de CAD. A estação de trabalho deve permitir cinco funções (20):

- 1- Deve ser a interface com a CPU
- 2- Deve gerar uma imagem estável no vídeo
- 3- Deve traduzir os comandos em funções operacionais
- 4- Deve facilitar a comunicação entre o usuário e o sistema
- 5- Deve fornecer descrições digitais da imagem gráfica.

Normalmente a estação de trabalho compõe-se de um monitor de vídeo, impressoras ou copiadoras e uma interface com o usuário, que pode ser teclado, mouse, mesa digitalizadora com caneta ótica ou eletrônica, conforme mostrado na figura 2.5

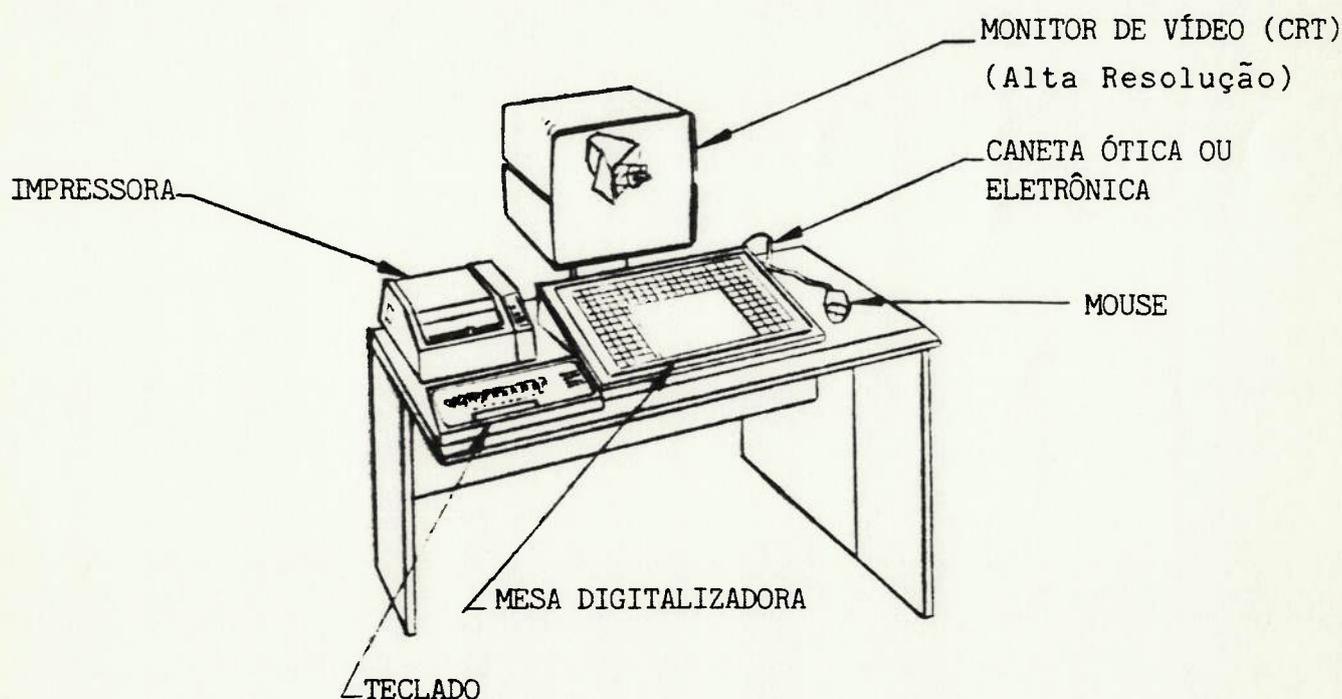


Figura 2.5 Estação de trabalho e seus componentes (21).

Existem três tipos de estações de trabalho, que podem ser classificadas de acordo com sua capacidade de operação independente do computador central.

- 1- Estação Gráfica ou Terminal Gráfico. Esse tipo de estação tem muito pouca ou nenhuma possibilidade de operação sem estar ligada a um computador central.
- 2- Estação de Trabalho. Tem a capacidade de operar por longo tempo sem o apoio do computador central. Entre suas características destaca-se a possibilidade de conectar-se localmente a outros periféricos tais como: copiadoras, impressoras, mesa digitalizadora (Fig. 2.5).
- 3- Estação de Engenharia ou Estação de Trabalho Autônoma. Possui alta capacidade de processamento local e grande capacidade de armazenamento de massa. Funciona de forma praticamente autônoma (Fig.2.6). O computador central transforma-se em servidor ao qual a estação está vinculada como parte de um gerenciamento global e uma central global para armazenamento de arquivos.

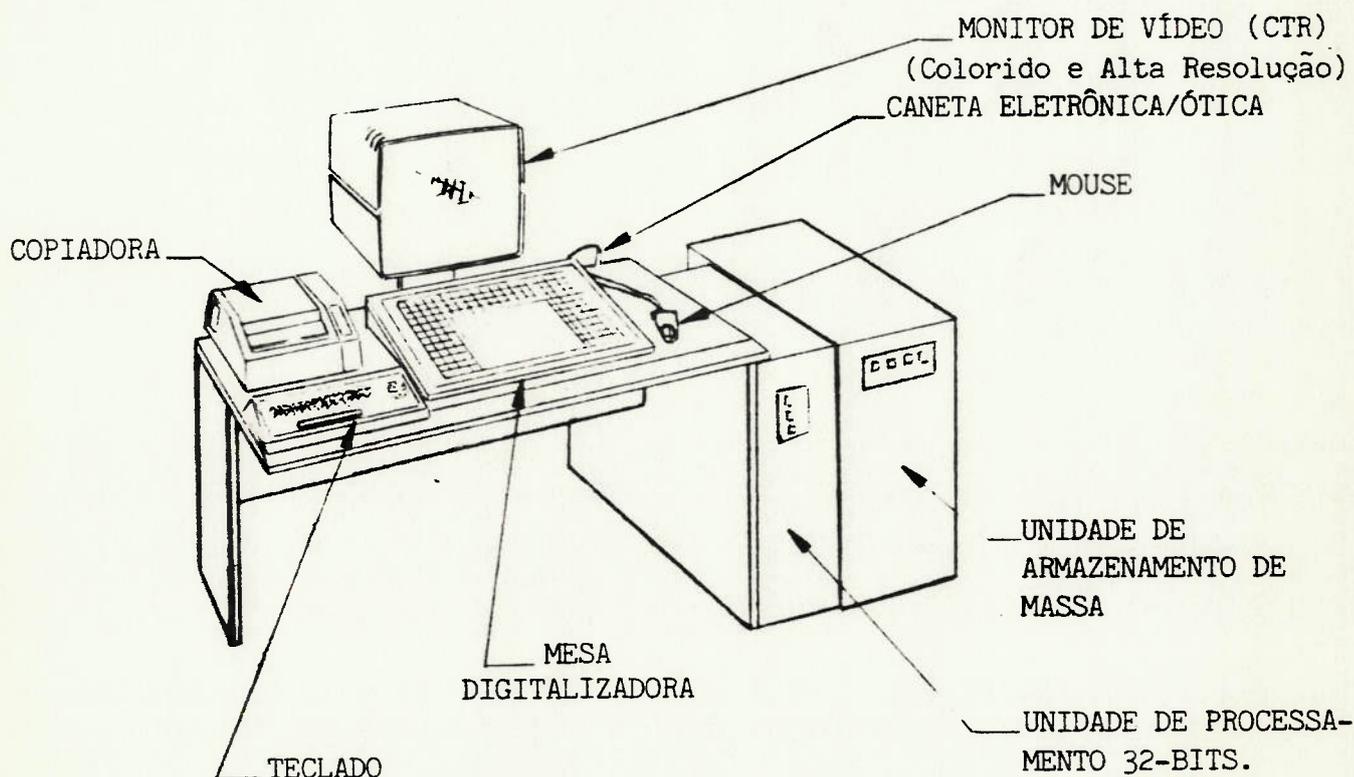


Figura 2.6 Estação de Trabalho Autônoma. Adaptação da Fig. 2.5

Essas estações possibilitam a configuração de um sistema geograficamente descentralizado, por outro lado, dependente do software que é vendido junto com a unidade. Essas estações são caracterizadas por possuírem processadores de 32-bits e sistemas operacionais multi-tarefa, aplicam-se especialmente para análises de engenharia.

2.2.1.2. - Terminais de vídeo

Os terminais de vídeo são responsáveis pela capacidade gráfica interativa e é o meio mais eficaz para compugrafia, até ao momento, por permitir a representação de imagens de forma dinâmica.

Praticamente todos os terminais em uso, hoje, usam a técnica CRT (Tubos de Raios Catódicos), como os da televisão. O funcionamento do CRT é ilustrado na figura 2.7. Um cátodo aquecido emite um feixe eletrônico, que é convenientemente focalizado por um conjunto de lentes e acelerado. O feixe incide sobre a superfície do tubo recoberta com fósforo. O ponto de fósforo, que por ser atingido emite luz, faz com que o conjunto de pontos acesos formem a imagem. O controle de feixe eletrônico, para selecionar o ponto a ser aceso, é feito por um conjunto de bobinas, às quais se aplica tensão proporcional ao deslocamento que se quer obter.

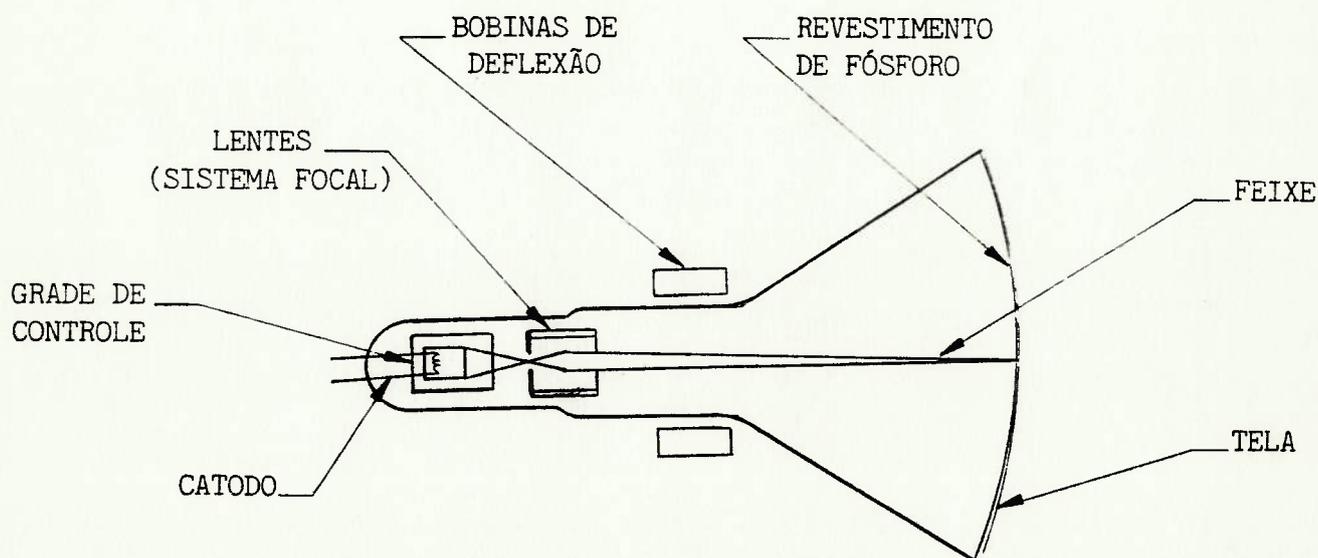


Figura 2.7 Diagrama de um Tubo de Raios Catódicos.

Existem duas técnicas básicas utilizadas nos terminais gráficos hoje, para geração de imagem no CRT, a saber.

- Sistema Vetorial
- Sistema de Varredura.

No sistema vetorial o feixe eletrônico é operado como uma caneta para criar a imagem de uma linha na tela. A imagem é construída a partir de uma sequência de segmentos de reta. Cada segmento é desenhado na tela fazendo o canhão mover-se de um ponto para o próximo.

O processo é ilustrado na figura 2.8. Embora o procedimento resulte em imagens compostas somente de segmentos de reta, curvas suaves podem ser obtidas fazendo os segmentos bastante pequenos.

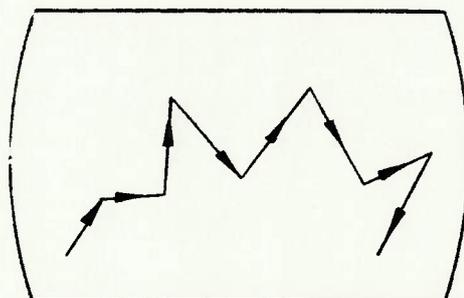


Figura 2.8 Sistema Vetorial para gerar imagens em compugrafia.

No sistema de varredura, a tela é dividida em um grande número de pontos discretos chamados pixéis. A matriz de pixéis constitui a área de varredura. O número de pixéis varia normalmente de 256 por 256 (total de mais de 65500 até 1024X1024 (mais de 1 milhão de pontos)). Cada ponto da tela pode ter diferente intensidade luminosa. Telas cobertas com fósforos coloridos (verde, vermelho, azul), permitem diferentes cores, bem como luminosidade. Durante a operação um feixe de elétrons cria a imagem pela varredura ao longo da horizontal, da esquerda para a direita e energiza aqueles pixéis durante a passagem. Quando a varredura de uma linha é completada o feixe move-se para o início da linha seguinte e repete-se o processo, como indicado na figura 2.9. Após varrer toda a tela o processo é repetido, na velocidade de 30 a 60 varreduras de telas completas, por

segundo.

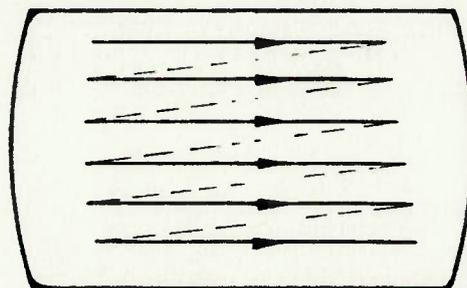


Figura 2.9 Sistema de varredura para gerar imagens em compugrafia.

Naturalmente, que as diferenças entre os processos vão exigir tecnologias diferentes, que vão resultar em diferentes tipos de terminais gráficos, são elas:

- Resolução, isto é, o número de pixéis que podem ser acesos (densidade).
- Tipo de fósforo, isto é, a capacidade do fósforo em reter a luminosidade.
- Cores, isto é, será necessário dispor de três tipos de fósforos arranjados em células.
- Memória, isto é, a quantidade de memória disponível para gerar a figura.
- Sistema de deflexão, que controla o modo pelo qual o desenho é feito na tela.

Vamos descrever os três tipos de terminais gráficos, que são os mais importantes hoje nos sistemas CAD/CAM disponíveis (4),(19).

1 - Terminais Vetoriais de Refrescamento-Figura 2.10

(Directed-beam-refresh)

O controle do movimento do canhão eletrônico é feito por uma unidade de processamento que armazena em memória uma lista das coordenadas finais das linhas do desenho. A lista é lida repetida -

mente pelo processador. As características principais são:

- Modificação da figura é bastante simples e o usuário obtém a imagem modificada instantaneamente.
- Fósforo de baixa persistência, para que a imagem traçada desapareça ao final da varredura e permita modificação.
- Degradação da estabilidade da imagem à medida que a figura se torna mais complexa, dado que uma lista muito grande não pode mais ser percorrida pelo processador 30 vezes por segundo, a imagem pisca e torna-se desagradável o trabalho com o terminal. Este fenômeno chama-se cintilação (flicker).
- Número limitado de vetores na figura, uma vez que é finito o espaço de memória destinado a conter a lista de imagem.
- Permite animação da imagem.

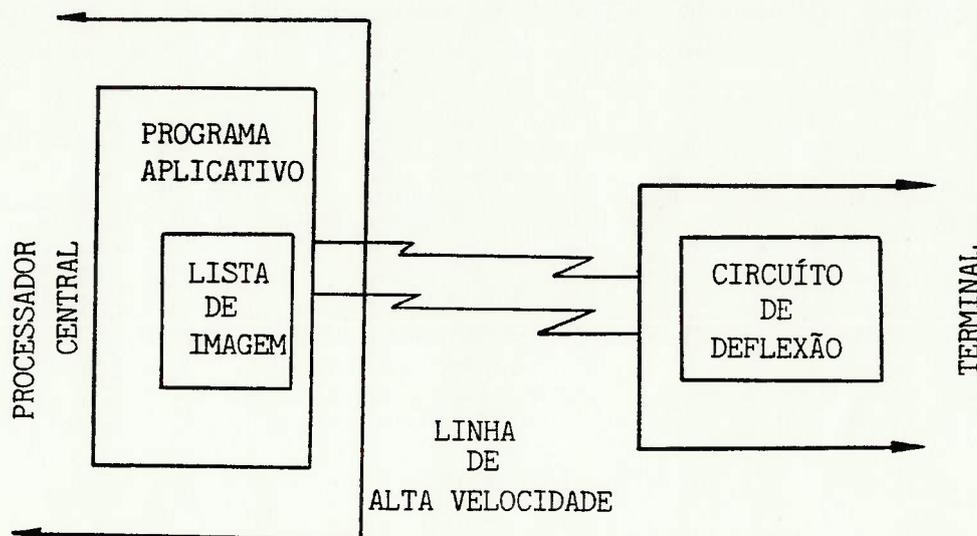


Figura 2.10 Fluxo de dados num sistema gráfico com terminal vetorial de refrescamento. O processador central manipula a lista de tela e alimenta o circuito de deflexão através de uma linha especial.(4).

2 - Terminais Vetoriais de Armazenamento - Figura 2.11

(Direct-view storage tube - DSVT)

A denominação "de armazenamento" refere-se ao fato de a imagem ficar armazenada na própria tela, dispensando a lista de imagem dos

terminais de refrescamento, o que torna desnecessário reescrever a imagem constantemente.

O resultado dessa técnica é um terminal com as seguintes características:

- Imagem estável na tela, não importando sua complexidade.
- Não ocorre o fenômeno de cintilação.
- Dificuldade em se apagar apenas uma parte do desenho, quando isso for feito todo o desenho será refeito, após um clarão na tela resultado da despolarização.
- A imagem borra depois de algum tempo, pois a exposição contínua ao fluxo de elétrons polariza a grade com uma carga pequena, mas distribuída.
- Imagens de alta resolução 4096x4096 pixels.
- Terminais são monocromáticos.
- Não permite animação de imagem.
- Não permite o uso de caneta eletrônica.

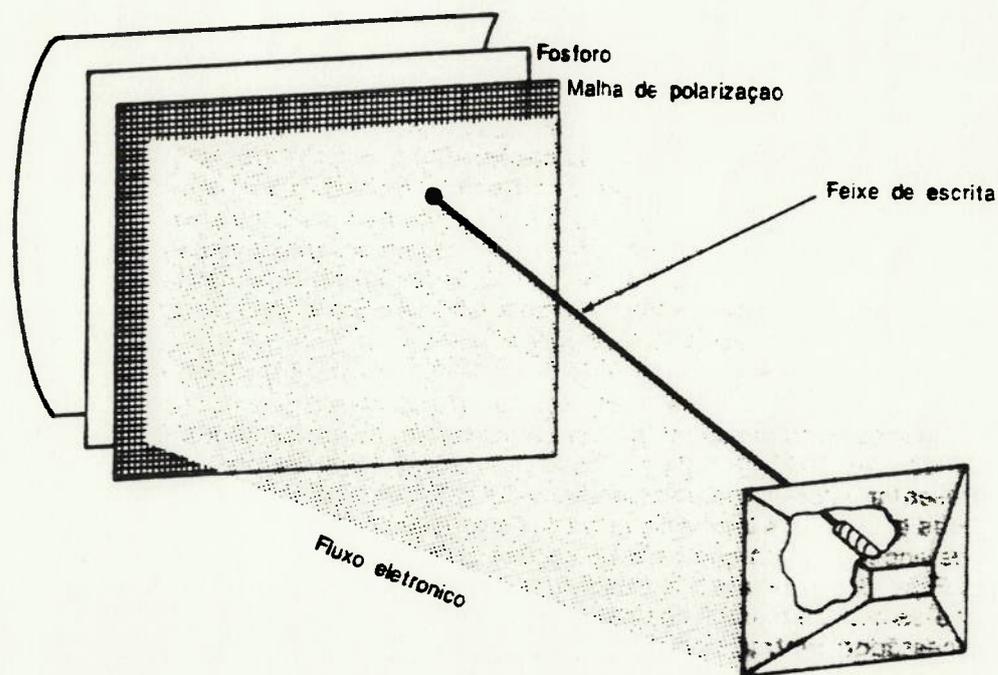


Figura 2.11 Terminal Vetorial de Armazenamento.(4).

Esses terminais são os que existem em maior quantidade atualmente. São muito empregados em atividades de engenharia onde o desenho é composto de linhas e muito denso. É o caso de layout de mecanismo na indústria aeronáutica e automobilística.

3 - Terminais de Varredura Fixa - Figura 2.12

Os terminais de varredura fixa podem ser coloridos ou monocromáticos, gráficos, semigráficos ou alfanuméricos. No caso dos terminais coloridos tem-se um conjunto de três canhões que emitem três feixes de elétrons. Os canhões são arranjados de tal forma que incidam sobre a tela em três pontos distintos, onde estão depositados três tipos diferentes de fósforo: o verde, o vermelho e o azul.

Os três pontos ficam bem próximos entre si, de modo que o olho humano vê somente um ponto colorido na tela. Variando-se a aceleração de cada feixe faz-se com que varie a intensidade luminosa de cada ponto de fósforo, obtendo-se os inúmeros tons de cores.

A colocação dos canhões e dos pontos de fósforo era triangular, normalmente delta. Essa máscara é difícil de fabricar. Hoje as diferentes cores são arranjadas em retângulos, formando linhas verticais, o que aumenta a resolução e faz com que a máscara seja mais fácil de fabricar.

Podemos observar as seguintes características nesses terminais.

- Alta resolução (até 4096x4096 pixéis).
- Grande capacidade de representação de cores (é normal dispor-se de 256 cores simultâneas, de uma palheta de quase 17 milhões).
- Permite representar linhas, ainda que nos terminais de menor resolução elas possam aparecer bastante distorcidas, em forma de escadas, uma vez que a linha é decomposta em pixéis.
- Permite representar áreas cheias, uma vez que, cada pixel da tela tem sua representação na memória.
- Permite a eliminação seletiva de linhas, desde que ela seja desenhada com cor de fundo.
- Permite animação.

Para facilitar uma comparação entre os três tipos de terminais apresentamos na tabela 2.1 a seguir as principais características de cada um.

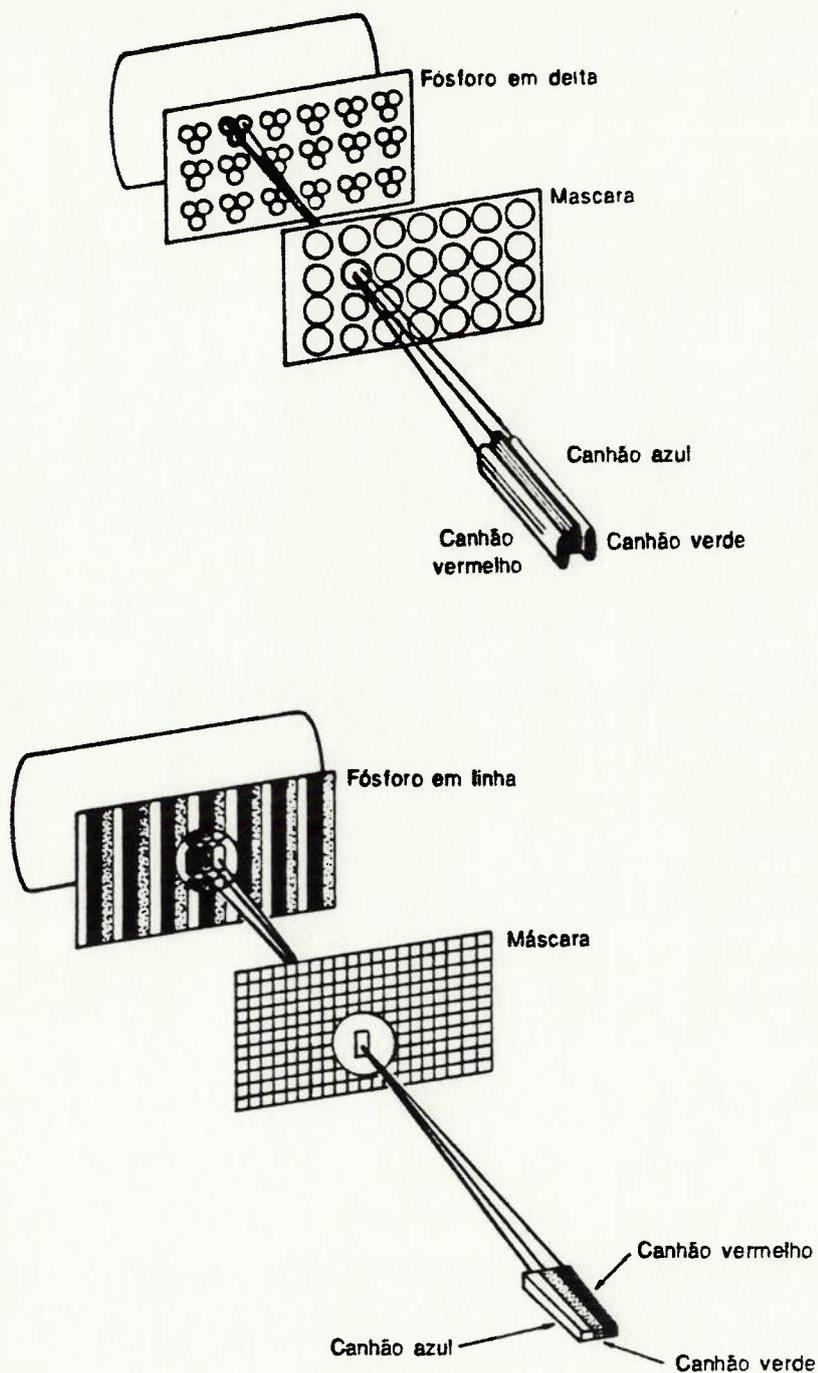


Figura 2.12 Terminais de Varredura Fixa. (a) Fósforo em delta)
(b) Fósforo em linha. (4).

Tabela 2.1 - Comparação entre os recursos de terminais gráficos

TERMINAL RECURSOS	VETORIAL COM REFRESCAMENTO	VETORIAL DE ARMAZENAMENTO	VARREDURA FIXA
Geração de Imagem	Vetorial	Vetorial	Varredura
Qualidade da Imagem	Excelente	Excelente	Moderada a boa
Conteúdo de dados	Limitado	Alto	Alto
Eliminação seletiva	Sim	Não	Sim
Escala de luminosidade	Sim	Não	Sim
Capacidade de cores	Moderado	Não	Sim
Animação de imagem	Sim	Não	Moderado
Requisito de memória	Alto	Moderado	Alto

Fonte: adaptado de Groover e Zimmers (19).

2.2.1.3. - Plotadores

Optamos por adotar o nome de plotador para designar equipamento eletrônico (dispositivo de saída) que executa desenho em papel, papel vegetal, filme de poliéster, etc. Preferimos essa terminologia em razão de:

- a) Já existir incorporado ao Léxico Brasileiro o verbo plotar, conforme encontramos no Novo Dicionário Aurélio, que é relacionado com locar - "termo da Matemática. Marcar, num diagrama ou num gráfico (um ponto de coordenadas conhecidas); plotar". É exatamente o que faz o plotador: plota ou loca no papel uma sequência de pontos conhecidos, que geram desenhos.
- b) Economia - "plotador é mais simples e direto que "traçador gráfico".
- c) Precisão do termo "plotador" designa somente dispositivos de saída de dados transformados em desenhos.
Traçador gráfico- pode ser qualquer sistema, que desenha gráficos, mesmo mecânicos.

d) Associatividade - Devido ao uso da tecnologia o termo "plotador" associa-se de imediato à sua origem inglesa "plotter", termo largamente utilizado na área de CAD/CAM.

Os plotadores dividem-se quanto ao processo de impressão, basicamente em duas amplas categorias: plotadores de pena e plotadores eletrostáticos. Quanto ao tipo de movimento das superfícies de impressão, subdividem-se em plotadores de mesa, plotadores de tambor, plotadores de correia e plotadores de rolete, conforme esquema na figura 2.13

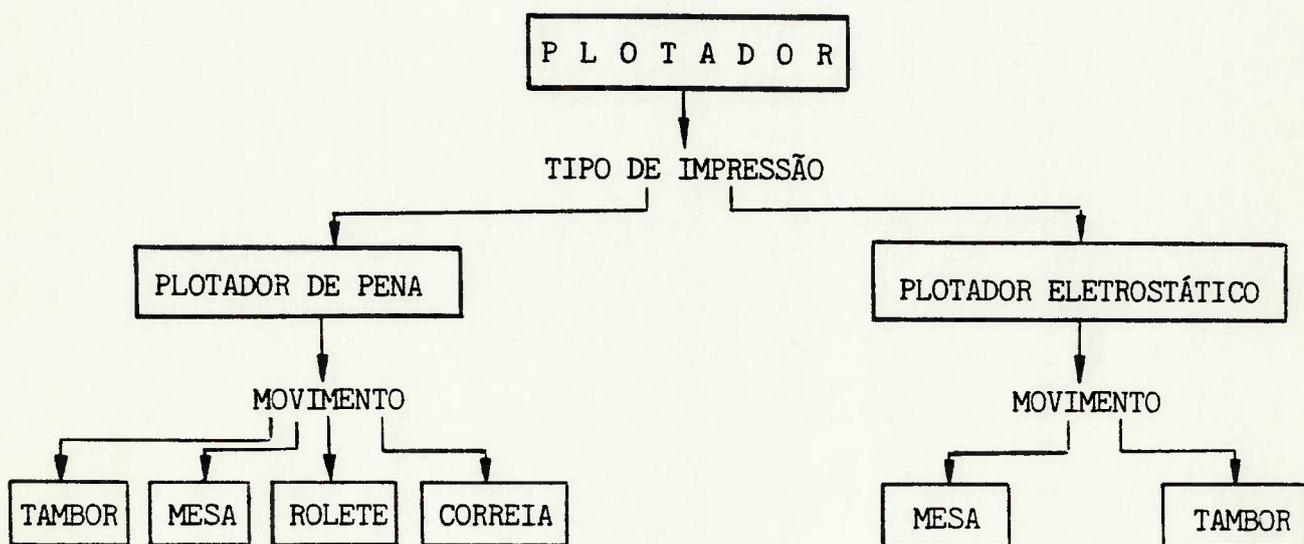


Figura 2.13 Classificação dos diversos tipos de plotadores mais encontrados no mercado.

Plotador de Pena

Fundamentalmente trata-se de um carro dotado de uma pena, ou de um tambor com várias penas, que se movem ou em uma só direção (y), ou em ambas as direções x,y sobre uma superfície de papel.(ver figura 2. 14.

As penas podem ser as mais variadas, tais como de tinta nanquim, esferográfica, de fibra, etc. O controle da espessura do traço é realizado pela escolha das diversas bitolas de penas. As cores do desenho também dependerão das penas coloridas disponíveis no tambor. É o plotador de pena que mais se usa na Engenharia Mecânica, porque apresenta um traçado limpo, uniforme, com alta qualidade de de-

finição do traçado (depende obviamente da qualidade da pena), e que permite excelentes reproduções. O mecanismo é simples, esses equipamentos são de alta velocidade e robustos.

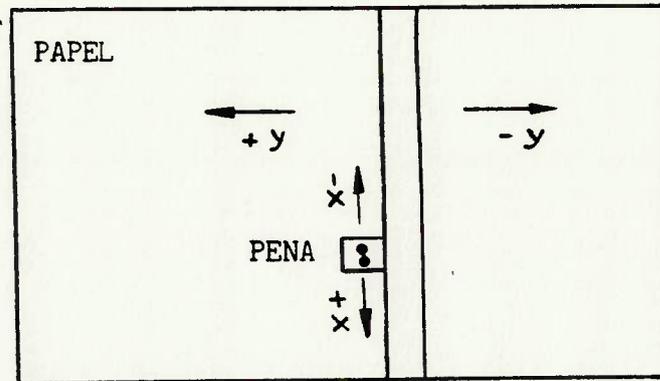


Figura 2.14 Plotador de pena emprega o método do movimento x,y da pena em relação ao papel.

Plotador de tambor

Trata-se de um carro que se move só na direção x sobre a superfície de papel, que ao se enrolar e se desenrolar do cilindro gera o movimento y e a combinação dos movimentos gera o desenho.

A dificuldade mais comum ao se operar com esse equipamento é que tanto o papel, quanto a tinta (se for nanquim) são altamente influenciados pelas condições do ambiente, cujas variações de temperatura e/ou humidade, alteram o papel dimensionalmente e a viscosidade da tinta, que acaba por resultar no entupimento da pena.

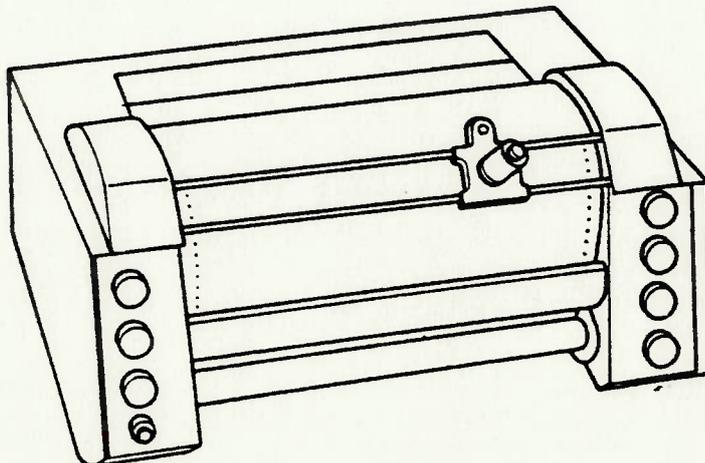


Figura 2.15 Plotador de Tambor.(22)

Plotador de Mesa

Neste caso temos uma superfície com quase perfeita planicidade, onde o papel é preso por sucção, ou por meio de um campo eletrostático. A ponte movimenta-se na direção da maior dimensão (longitudinal), o carro a ela atrelado movimenta-se na direção de menor dimensão (transversal).

A mesa do traçador limita a extensão do desenho. (Ver figura 2.16). Esses plotadores são encontrados na horizontal ou na vertical.

A grande vantagem é que esse plotador permite a traçagem em outros materiais tais como: pranchas de madeira ou placas gabarito de alumínio, ou ainda cortar filmes especiais gerando máscaras para a fabricação de circuitos integrados.

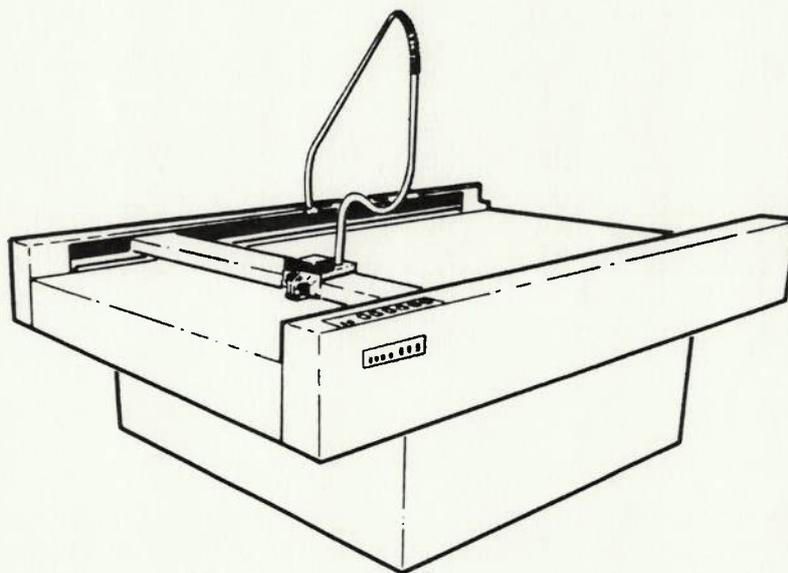


Figura 2.16 Plotador de Mesa, na horizontal.(22).

Esse modelo de plotador é muito mais caro que o plotador de tambor, exige instalações especiais, ocupa muito espaço, nível maior de ruído devido às bombas de vácuo que geram a sucção para fixar o papel e o barulho da ponte.

Porém, para desenhos de alta precisão e para cortes de filmes é

o plotador mais adequado, até ao presente momento.

Plotador de Correia

O funcionamento é parecido com o plotador de tambor. A diferença é que neste caso temos uma correia de poliéster, com a largura do plotador, que é acionada pelo tambor.

Nessa superfície o papel é fixado com fitas adesivas. (Ver figura 2.17).

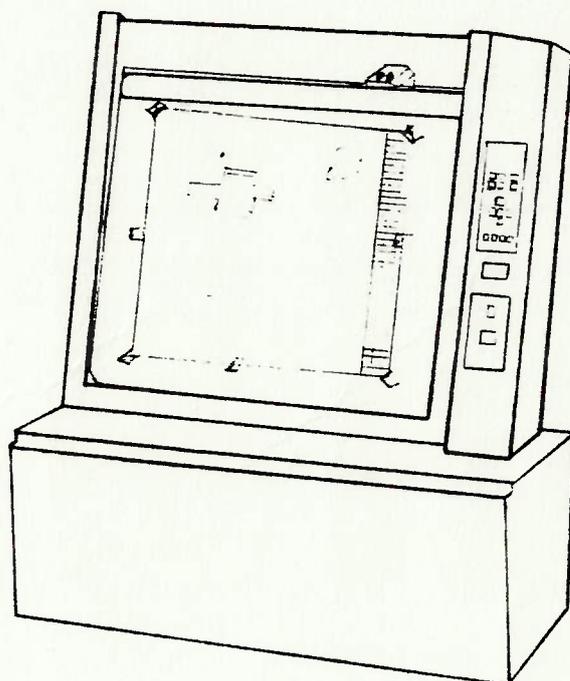


Figura 2.17 Plotador de Correia.

Esse plotador é mais barato e mais rápido que o plotador de tambor. Porém apresenta maiores limitações quanto ao tamanho de desenho e usa somente folhas soltas em tamanhos normais (A0, A1, A2, A4).

Plotador de Rolete (4)

É semelhante ao de correia no que diz respeito ao movimento e ao limite em uma das dimensões. No caso, não existe a correia on-

de é fixado o papel. O papel se move tracionado por rodas recobertas com areia, suficiente só para puxar o papel e não deixar marcas.

São plotadores de alta velocidade, baixo custo, porém com traçados de baixa precisão, resultado do escorregamento do papel.

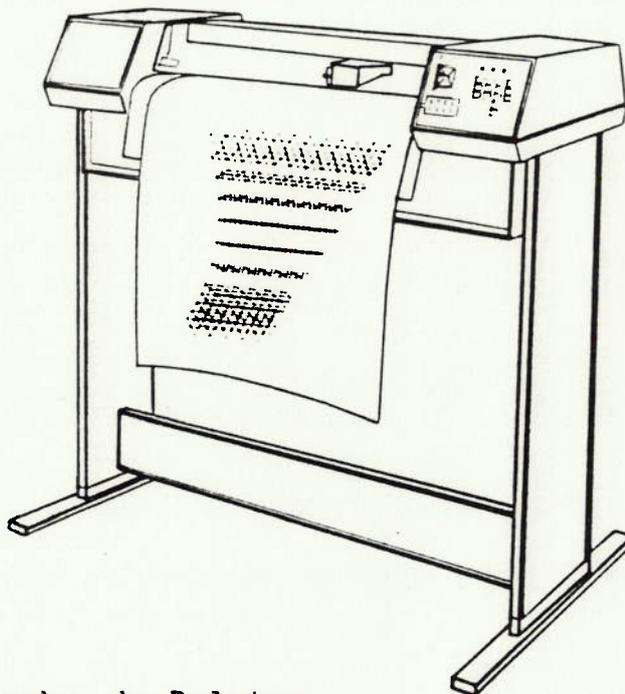


Figura 2.18 Plotador de Roletas.

São plotadores mais adequados para pequenas instalações e para gerar desenhos com largas tolerâncias em engenharia, arquitetura, mobiliário e layouts industriais.

Plotador Eletrostático.

Uma copiadora térmica é relativamente rápida mas sua precisão e resolução são pobres. Os plotadores de pena são de alta precisão, porém mais lentos.

O plotador eletrostático oferece um compromisso entre eles em termos de precisão e velocidade. Ele é quase tão rápido quanto a copiadora e quase tão preciso, quanto o plotador de pena.

O custo escondido no plotador eletrostático pode ser o uso do computador para traduzir o desenho em forma de varredura, que possa ser transmitido ao mecanismo de impressão (ver figura 2.19).

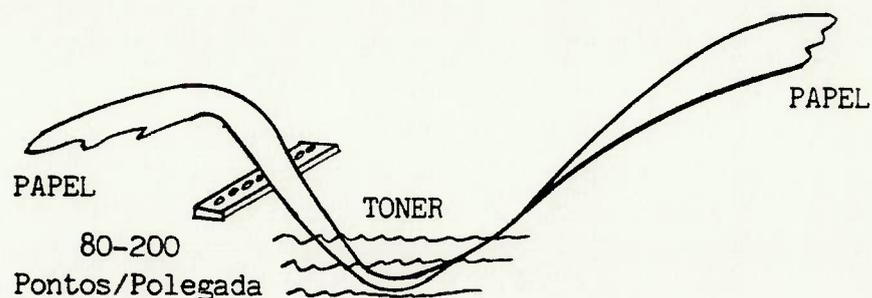


Figura 2.19 Mecanismos do Plotador Eletrostático. (23)

Uma vantagem do plotador eletrostático, que é compartilhada com o plotador a tambor é que o comprimento do papel é ilimitado. Pode também ser usado com impressora de alto desempenho com 1200 linhas/minuto. (Ver figura 2.20).

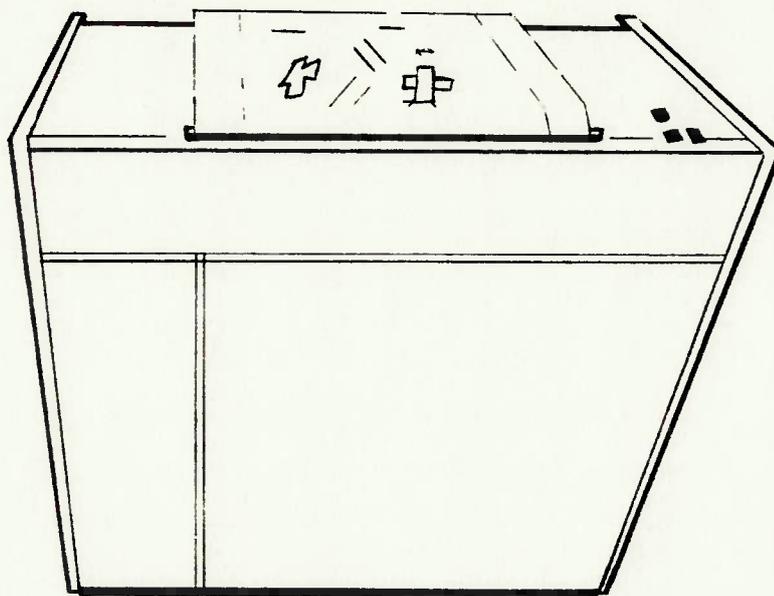


Figura 2.20 Plotador Eletrostático.(22).

2.2.1.4. - Sistemas de Entrada de Dados

Até o momento tratamos dos meios mais comuns para o computador transmitir para o usuário as informações. Nesta seção, trataremos dos mecanismos de entrada de dados que são descritos a seguir. Note que não é preciso que todos façam parte de um sistema, porque alguns contêm perfeitamente as funções desempenhadas por outros. Em

geral as classes de informação que o usuário pode fornecer ao sistema são as seguintes:

- Textos, como nomes, valores e comandos
- Posição no plano ou espaço
- Seleção entre um conjunto de opções.

Teclado

Este é o dispositivo mais comumente encontrado. É um agrupamento de letras e números dispostos como no teclado da máquina de escrever que usualmente está acoplado aos terminais de vídeo. (Ver figura 2.21).

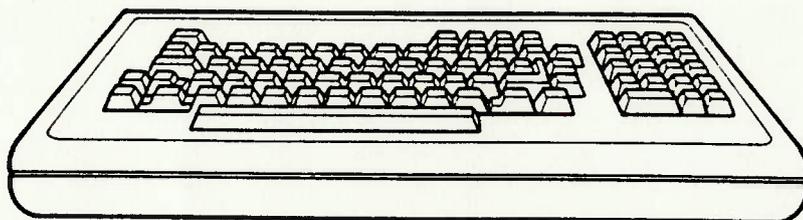


Figura 2.21 Teclado.(22).

A cada toque, envia-se ao computador um código que corresponde ao caracter selecionado. A função natural do teclado é a entrada de textos, tais como nomes, valores, comandos, etc. Também oferece um conjunto de opções capazes de mover o cursor da tela.

Joistique

É um dispositivo muito conhecido devido ao seu emprego em vídeo jogos, trata-se de um dispositivo fornecedor de posição. A informação de posição, porém, não é dada exclusivamente pela pequena alavanca; torna-se necessário o acompanhamento visual através de um cursor, um símbolo especial, que se mova na tela. (Ver figura 2.22).

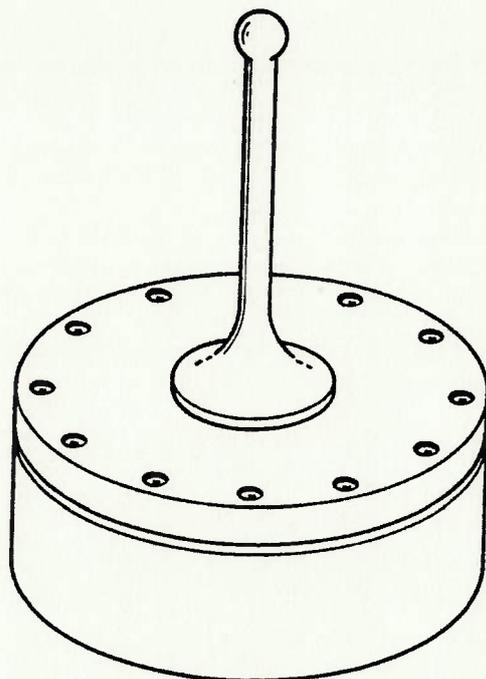


Figura 2.22 Joistigue. (22).

Bolota

A bolota funciona de forma análoga ao joistigue. É uma esfera colocada numa caixa, de tal forma que, apenas metade fique de fora e encaixe na palma da mão do usuário. A esfera fica apoiada sobre um conjunto de potenciômetros, cujos eixos formam ângulos de 45° . O movimento da mão sobre a bolota causa uma variação nos potenciômetros que pode ser medida e codificada. Para obter o movimento desejado do cursor na tela movemos nossa mão convenientemente. (Figura 2.23).

A vantagem da bolota sobre o joistigue, é que a primeira tem excursão infinita, ou seja, o usuário pode rolar a bolota indefinidamente em qualquer direção, porém como a tela é limitada o cursor não pode acompanhar o movimento indefinidamente. Aproveita-se essa característica para permitir um ajustamento fino.

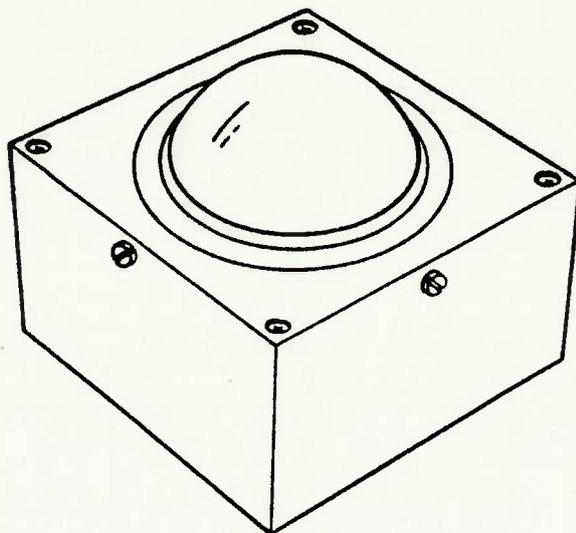


Figura 2.23 Bolota. (22).

Mouse

O mouse ou ratinho é o dispositivo de posicionamento mais usado nos sistemas interativos. Uma caixinha com rodas ortogonais é movimentada sobre qualquer superfície plana e o deslocamento das rodas causa a emissão de sinais para o sistema. O fio que liga a caixinha ao sistema é a "cauda" do ratinho.

Os botões colocados na caixa têm a função de enviar comandos para o sistema. A figura 2.24 mostra um mouse, suas rodas e botões.

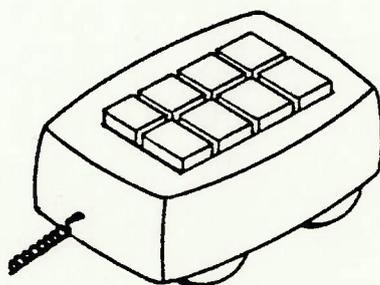


Figura 2.24 Mouse, ou ratinho. (4).

Mesa Digitalizadora

As mesas digitalizadoras são compostas de uma mesa especial e de um dispositivo que corre sobre ela. Este dispositivo, denominado cursor, pode ter o formato de uma caneta com botões, ou então, de uma mira colocada numa pequena caixa com botões.

A mesa é sensível à posição do cursor e fornece ao sistema uma indicação dessa posição e executa o comando endereçado previamente programado. Esse tipo de mesa é o que se costuma chamar de menu de comandos. Outras mesas digitalizadoras leem coordenadas ou possuem leitores óticos nas extremidades para acompanhar um desenho automaticamente. (Figura 2.25).

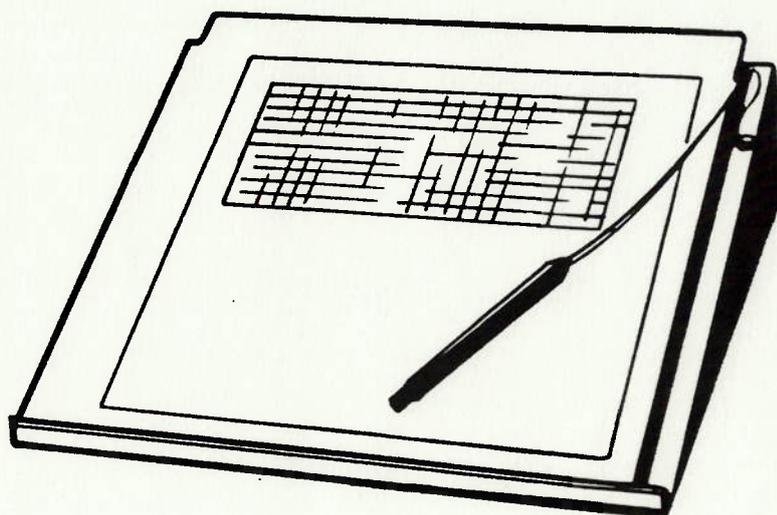


Figura 2.25 Mesa Digitalizadora e caneta eletrônica.(22).

Plotador - Digitalizador

É uma combinação de mesa digitalizadora com plotador, que permite ao operador através do computador posicionar a pena na coordenada desejada. (Figura 2.26).

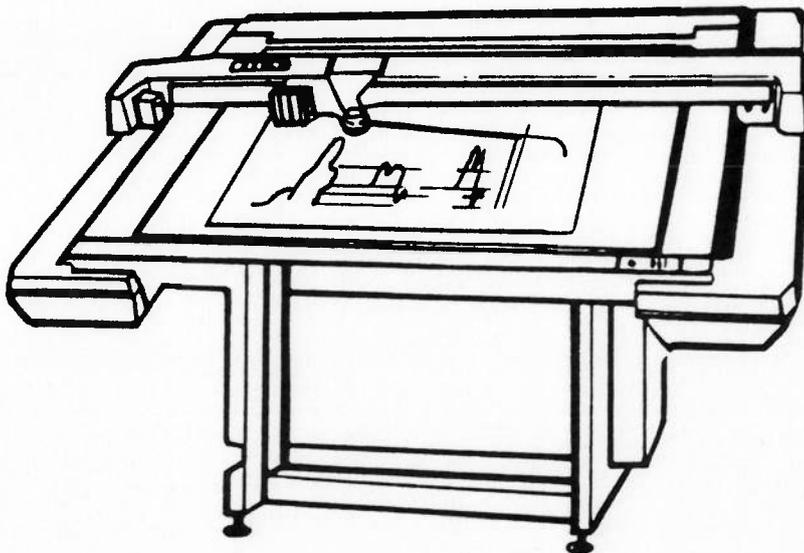


Figura 2.26 Plotador Digitalizador.(22).

2.2.2. - Software

Nesta seção trataremos de software do ponto de vista do usuário, tais como métodos de utilização e banco de dados para computação gráfica interativa no projeto auxiliado por computador. O desenvolvimento de sistemas de computação é tratado em detalhes por Foley e Van Dam (25) e Newmann e Sproul (26) que analisam também os aspectos de hardware; para programação encontramos em Harrington (27) uma excelente fonte para rotinas de controle de plotadores; quanto ao aspecto matemático temos em Faux e Pratt (28), Rogers e Adams (29) e Chasen (30) uma excelente apresentação em linguagem acessível para os usuários porque a matemática utilizada é aquela normalmente ensinada nos cursos de engenharia.

O software gráfico é uma coleção de programas escritos de forma conveniente para o usuário operar o sistema gráfico. Ele inclui programas que geram imagens na tela do terminal (CRT), para manipular imagens e para executar diversos tipos de interação entre o usuário e o sistema. Além do software gráfico existem muitos programas adicionais para implementar certas funções especializadas relacionadas ao CAD/CAM. Entre outros programas desse tipo podemos citar análise por elementos finitos, síntese de mecanismos, programas para controle automático do processo e programação de máquinas de controle numérico.

O software gráfico para um determinado sistema de computação gráfica depende muito do tipo de hardware utilizado no sistema. O software pode ser escrito especialmente para um tubo de imagem e para os sistemas de entrada de dados característicos daquele sistema. Os detalhes de um software para um sistema com terminal vetorial podem ser diferentes de um terminal matricial. A diferença entre um terminal vetorial de refrescamento e um terminal vetorial de armazenamento também pode influenciar no software gráfico. Naturalmente que essas diferenças são imperceptíveis pelo usuário, porém são considerações importantes quando se projeta um sistema gráfico

interativo.

Newmann e Sproul (26) apresentam seis características básicas que devem estar presentes em projeto do software para sistemas gráficos.

- 1- Simplicidade. O software gráfico deve ser fácil de usar.
- 2- Consistência. O pacote gráfico deve operar de forma consistente e previsível pelo usuário.
- 3- Completeza. Não deve haver omissões inconvenientes no conjunto de funções gráficas.
- 4- Robustez. O sistema gráfico deve ser tolerante com pequenos erros de operação do usuário.
- 5- Desempenho. Apesar das limitações normalmente impostas pelo hardware, o desempenho deve ser explorado ao máximo possível pelo software. Os programas gráficos devem ser eficientes e a velocidade de resposta deve ser rápida e consistente.
- 6- Economia. Os programas gráficos não devem ser tão longos ou tão caros a ponto de tornar seu uso proibitivo.

Do ponto de vista de nível de atividade desempenhada pelos vários módulos que compõem um pacote gráfico podemos classificá-los em seis níveis (33). O primeiro é o software que faz o computador e seus periféricos trabalharem. O segundo nível trata de gráficos. O terceiro nível, rotinas para as visualizações básicas (Kernel) do software CAD/CAM, inclui a interface com o usuário, a administração do banco de dados, e a troca de dados entre os softwares. O quarto nível é o software de modelamento geométrico. O quinto nível, são os softwares aplicativos que ligam os níveis mais baixos às várias áreas de aplicações tais como desenho, análise, programação CN. Os primeiros cinco níveis são normalmente comprados do fornecedor. O sexto nível é escrito pelo próprio usuário, é um software específico da companhia, normalmente trata de padronizações de apresentação de dados ou sistemas de análises de engenharia. Os seis níveis de software estão ilustrados na tabela 2.2.

Tabela 2.2 - Os seis níveis de software CAD/CAM (33)

NÍVEIS	DESCRIÇÃO
Nível 6	Software desenvolvido pelo usuário
Nível 5	Softwares aplicativos (detalhamento, programação NC, cinemática)
Nível 4	Software para modelamento geométrico
Nível 3	Software de supervisão do sistema CAD/CAM (interface com usuários, gerenciamento)
Nível 2	Software gráfico
Nível 1	Software do sistema computacional (sistema operacional, compiladores)

Essa classificação é adequada do ponto de vista de fabricação e desenvolvimento de software. Mais adiante vamos apresentar uma divisão do ponto de vista do usuário, mas antes vamos descrever sucintamente cada um dos níveis de software, a nível de fabricação e desenvolvimento.

Primeiro Nível: Software do Sistema Computacional

É dividido em duas categorias básicas:

- a) Sistema operacional - executa trabalhos administrativos tais como trazer o que é necessário da memória de massa para a memória do sistema, controla também o CPU e comanda e se comunica com os periféricos.
- b) Tradutores (novamente, dois tipos- interpretador e compilador). Uma vez que o computador só pode reconhecer 1's e 0's, uma linguagem de alto nível é usada (programa fonte) para formar as instruções para orientar o computador. Por isso, essa linguagem de alto nível deve ser capaz de ser convertida em linguagem de máquina a fim de o computador executá-la. Essa é a finalidade do tradutor.

1- O compilador é um tipo de software de sistema que traduz um programa completo feito em linguagem de alto nível para a linguagem que o computador entende. O compilador pe-

ga todo o programa (em linguagem de alto nível), converte-o de uma vez em linguagem de máquina e então executa o programa (em linguagem de máquina).

2- O interpretador é um tipo de software de sistema que traduz uma linguagem de alto nível em linguagem de máquina, instrução por instrução. Como o interpretador opera uma instrução por vez, ele é lento.

A principal diferença entre o interpretador e o compilador é que o interpretador deve residir na memória, junto com o programa fonte. Os compiladores costumam ser mais caros do que os interpretadores mas, uma vez o programa tenha sido compilado, ele roda rapidamente. Apesar dessas desvantagens, os interpretadores são largamente usados porque são totalmente interativos.

Quando observamos as linguagens de alto nível, nós começamos a entender parte do problema de comunicação. Uma das primeiras linguagens foi o FORTRAN que foi desenvolvido no final dos anos 50 pela IBM. Foi desenvolvido para acelerar e simplificar os cálculos científicos e de engenharia. FORTRAN significa FORMula TRANslation, e é uma linguagem compilada.

Na tabela 2.3 apresentamos outras linguagens comumente utilizadas comercialmente.

Como dissemos anteriormente, o sistema operacional supervisiona todas as tarefas do computador. Os sistemas operacionais se tornaram uma barreira competitiva importante na indústria computacional. Cada fornecedor de hardware tinha seu próprio sistema operacional. Alguns dos mais populares são DOS, MVS, e VM para IBM; e VMS para DEC. Para microcomputadores, MS-DOS e CP/M são as mais comuns. Os programas tinham que ser convertidos para rodar em diferentes sistemas operacionais, em diferentes hardwares. Essa situação começou a mudar com a popularização do sistema operacional UNIX e da linguagem C. Falaremos do UNIX porque é o sistema operacional que vem se tornando padrão em computação por ser multitarefa e multiusuário.

Tabela 2.3 - Linguagens em Computação

Linguagem	Significado	Tradutor	Característica
FORTRAN	FORmula TRANslation	Compilador	Matemática e Científica
COBOL	COmmon Business Oriented Language	Compilador	Processamento de Dados e Comercial
BASIC	Beginners All-purpose Instruction Code	Compilador ou Interpretador	Ensino e Fundamentos
APL	A Programming Language	Interpretador	Matemática e Processamento de dados
Pascal	(Niklaus Wirth, inventor, 1970) O nome foi dado em homenagem ao matemático Blaise Pascal, inventor das primeiras máquinas de calcular.	Compilador	Portabilidade
Forth	(Charles Moore, inventor)	Compilador	Controle de Processo
C	(Dennis Ritchie, inventor, 1973.)	Compilador	Portabilidade
ADA	(U.S. Defense Dept. Mandated) Program Language	Compilador	Robótica, folha de pagamento e programação de radar.

Adaptado da tabela 6.1 de Bowman (37).

UNIX

UNIX* tem estado disponível por longo tempo, de fato desde 1969. Inicialmente, UNIX foi criado por Ken Thompson no Bell Laboratories a fim de gerar um ambiente melhor para programadores trabalharem. Um colega chamado Dennis Ritchie começou trabalhando no conceito com Thompson e desenvolveu uma linguagem chamada C. O resultado final foi que UNIX tornou-se o primeiro sistema operacional escrito em linguagem de alto nível e o primeiro sistema "portátil".

Como qualquer sistema operacional, UNIX controla a operação do

* UNIX é marca registrada da Bell Laboratories.

computador. Ele esconde detalhes da máquina, permitindo que o usuário evite programação em linguagem de nível mais baixo. Entretanto UNIX libera os usuários do computador de estarem presos ao hardware de um só fornecedor.

As ferramentas de software e utilitários são um dos mais importantes recursos do UNIX. Embora o projeto interno do UNIX seja importante, na verdade os programas que se tornaram padrões com o UNIX que o fizeram apreciado. Além de um conjunto completo de ferramentas úteis para a linguagem C, o UNIX contém compiladores para cinco outros tipos de linguagem. Outros softwares permitem que o usuário desenvolva sua própria linguagem se aquelas forem insuficientes. Os utilitários permitem ao usuário comparar, rearranjar, editar, criptografar, digitar, traduzir e corrigir arquivos de texto.

Segundo Nível: Software Gráfico

O segundo nível de software no sistema CAD/CAM é o software gráfico que controla terminais gráficos.

O software gráfico tem muitas tarefas, entre outras, ele comunica-se com o computador central, administra os mecanismos de entrada/saída tais como teclado e ratinho que estão associados com a tela, ele "desenha" a imagem na tela. Os softwares gráficos, como linguagem de programação, possuem diferentes graus de sofisticação. Os menos sofisticados entendem um pouco mais que comandar o movimento do canhão eletrônico de um ponto a outro, ou ligá-lo ou desligá-lo. As instruções do programa em tais linguagens são específicas para um tipo de terminal, por isso o programa escrito para rodar em um terminal não é utilizável em outro.

Na tentativa de se libertar o programador (e usuário) de estar amarrado a um determinado tipo de terminal, começaram a ser desenvolvidas normas internacionais para definir um software independente dos sistemas de hardware, contendo todos os procedimentos necessários.

Algumas normas têm sido propostas (CORE, GKS, PHIGS). Para maiores detalhes sobre normalização recomendamos Cunha (34) e Magalhães (35).

Softwares gráficos sofisticados podem também ser usados para aumentar o entendimento da imagem, por exemplo, o escondimento de linhas, sombreamento colorido de um objeto sobre várias condições de iluminação.

Terceiro Nível: Software Geral de CAD/CAM

O terceiro nível de software é composto por software de CAD/CAM de uso geral que será utilizado em todas as aplicações individuais de CAD/CAM. Esse nível contém a interface com o usuário, gerenciamento do banco de dados, e a troca de dados entre sistemas CAD/CAM. A interface com o usuário permite ao usuário de sistemas CAD/CAM comunicar-se com qualquer dos vários programas aplicativos. Ele contém as funções tais como controle dos meios pelos quais os comandos são introduzidos (pelo menu de tela, pela mesa digitalizadora, pelo teclado), a entrada de textos e valores numéricos (pelo teclado por teclas de funções) e a saída de textos e valores numéricos (para a tela, para o arquivo, ou impressora). É também a parte do sistema que solicita dados ao usuário, apresenta mensagens de ajuda, seleciona uma entidade particular entre as disponíveis digitando-se um ponto. Veremos adiante que essas funções são comuns a todas as aplicações em CAD/CAM. Elas também são utilizadas na preparação de trajetórias de ferramentas ou malhas para elementos finitos, bem como no detalhamento de desenhos. Da mesma forma, uma vez que várias aplicações de CAD/CAM com o mesmo sistema CAD/CAM acessam o mesmo banco de dados, a função de gerenciamento é comum ao sistema, em vez de ser uma aplicação específica.

Quarto Nível: Software de Modelamento

O quarto nível contendo o software de modelamento é um dos

mais importantes. Ele define a capacidade de um sistema CAD/CAM para uma determinada aplicação e o nível de integração entre as aplicações que pode ser obtido.

O modelador geométrico é a parte do sistema CAD/CAM usada para definir ou representar uma peça como um modelo de computador utilizável.

Algumas das principais diferenças entre os sistemas CAD/CAM vêm das diferenças entre suas capacidades de modelamento geométrico. Não somente modeladores de fio-de-arame, superfícies e sólidos trabalham com diferentes descrições da mesma peça, como também modeladores do mesmo tipo (por exemplo, fio-de-arame) em diferentes sistemas CAD/CAM comercialmente disponíveis, criam e armazenam seus modelos diferentemente. Surgem problemas quando tentamos transferir dados entre diferentes sistemas na mesma Companhia, ou de uma Companhia para outra. Trataremos desses problemas na seção 2.5.

Quinto Nível: Softwares de CAD/CAM: Aplicativos

No quinto nível temos os softwares aplicativos. Eles farão uso de todos os níveis anteriores. Uma aplicação de CAD/CAM é basicamente qualquer projeto de engenharia ou engenharia de processo em manufatura que pode se beneficiar do uso das técnicas de gráficos interativos e usar a geometria da peça disponível no banco de dados.

Uma vez que o modelo geométrico da peça tenha sido completado é possível calcular algumas de suas características geométricas. A quantidade de características que podem ser calculadas vai depender da riqueza de informações feita disponível pelo modelador. Com modeladores de superfície e sólidos geralmente é possível calcular volumes, áreas, momentos de inércia, comprimentos e ângulos.

Entre os aplicativos mais utilizados podemos citar pré e pós-processadores para análise estrutural; análise cinética de mecanismos, análise de balanço térmico etc. Na área de manufatura os aplicativos em geral são geradores de lista de materiais, programadores de máquinas CN, programação de robôs, gerador de desenhos de

processo, layout de fábrica etc.

Sexto Nível: Software Desenvolvido pelo Usuário

Os softwares aplicativos descritos no nível quinto são normalmente disponíveis com o sistema CAD/CAM do fornecedor. Entretanto muitas funções não oferecidas pelo fornecedor devem ser desenvolvidas para adequação do sistema aos procedimentos da Companhia. Normalmente o usuário tem que desenvolver pequenas sub-rotinas para gerenciamento, apresentação do desenho técnico ou nível de acesso ao sistema que são característicos da empresa, ou ainda, resolver problemas específicos do tipo de projeto. Geralmente o fornecedor permite o acesso a determinados pontos do sistema, nos quais o software criado pelo usuário pode ser acrescentado.

2.2.2.1. - Configuração de Software de um Sistema Gráfico

Até ao momento apresentamos a divisão do software do sistema gráfico do ponto de vista daqueles que são responsáveis pelo seu desenvolvimento e implementação. Do ponto de vista do usuário temos apenas três grandes atividades em CAD/CAM:

- 1- Interface com o terminal gráfico para criar e alterar as imagens na tela do terminal.
- 2- Construção do modelo de um objeto físico a partir da criação de imagens na tela. Esses modelos são chamados modelos de aplicação.
- 3- Tratamento de informação. Arquivamento e recuperação do modelo da memória quando necessário. Proteção à informação.

Ao se utilizar de um sistema CAD, o usuário realiza uma série de operações seguindo direções aparentemente aleatórias, em vez de sequencialmente. Isso ocorre em função do potencial do sistema gráfico, conhecimento do operador e natureza do problema. Existem diversas formas de se construir um círculo por exemplo, como veremos

mais adiante. Na realidade o usuário constrói modelos interativamente através do uso de imagens sem que nenhum momento se tenha perguntado se a atividade é classificada como do grupo 1, 2 ou 3.

A motivação para separar essas atividades dessa forma é porque correspondem basicamente à configuração geral do software para um sistema gráfico do ponto de vista do usuário. Ao usuário interessam três grandes módulos basicamente:

- 1- Sistema operacional
- 2- Pacote gráfico (núcleo gráfico e aplicativos)
- 3- Banco de dados

Na figura 2.27 mostramos um esquema dessa estrutura.

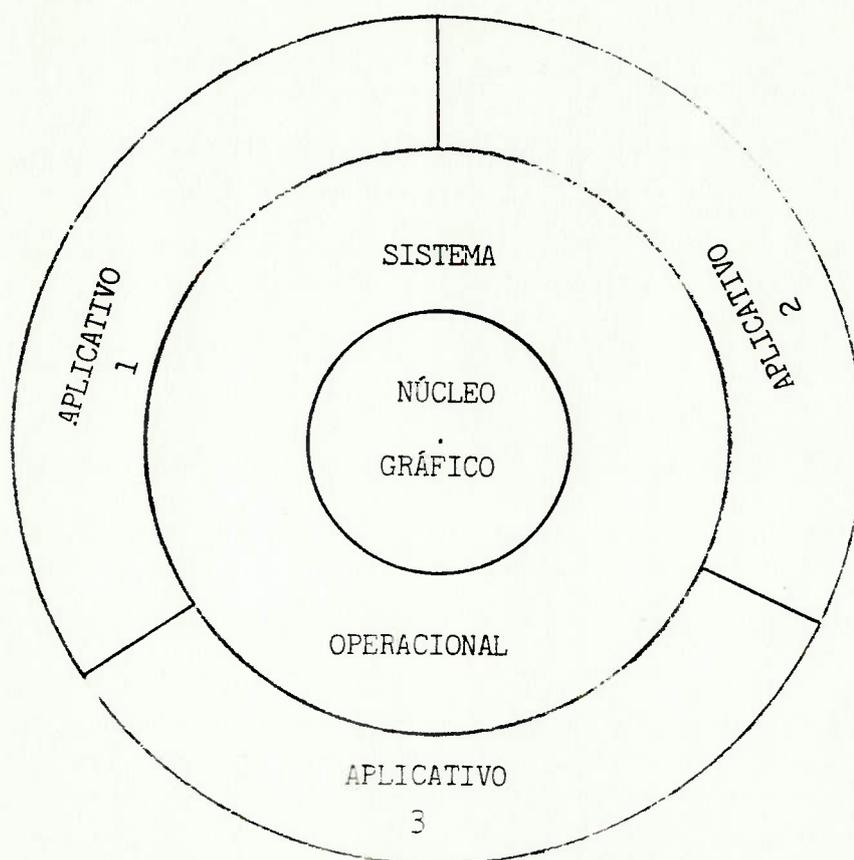


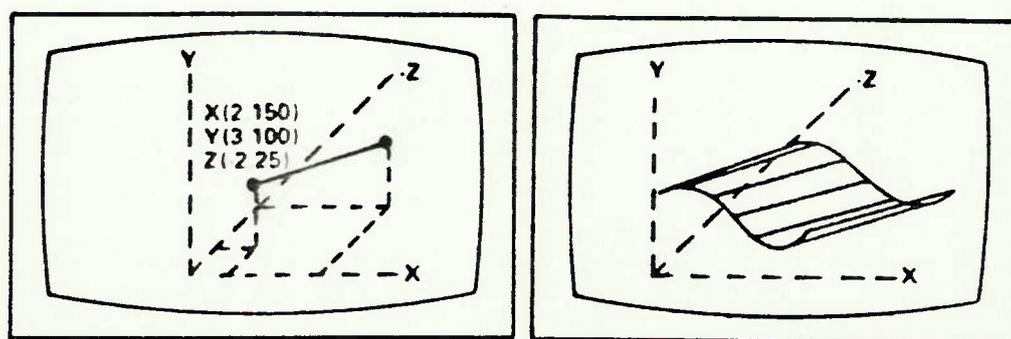
Figura 2.27 Estrutura de um software para sistema gráfico

O sistema operacional, conforme já foi explicado, é o supervi-

sor geral do software e hardware, fazendo com que as coisas funcionem a contento. Faz a ligação entre os elementos de hardware do sistema e faz a ligação entre núcleo gráfico, programas aplicativos e banco de dados. Tem também a responsabilidade adicional de gerenciar a ligação entre a estação de trabalho e o computador central ou/ e entre aquelas e um servidor central.

O núcleo gráfico é o conjunto de programas que gera as entidades geométricas chamadas elementos geométricos básicos. Esses elementos (pontos, reta, string, etc.) vão servir de base para gerar programas gráficos de alto nível tais como geradores de superfícies e sólidos. O núcleo gráfico contém todas as informações para verificar a consistência do modelo. Na figura 2.28 temos um exemplo de geração de um elemento mais complexo (superfície) a partir de um elemento geométrico básico: linha.

O desenho do lado esquerdo da figura 2.28 ilustra um rascunho de modelo de arame 3D. Cada ponto da extremidade de uma linha ou de outra entidade qualquer possui uma localização xyz. Entretanto qualquer outro ponto da linha não é conhecido ou geometricamente reconhecido. Quando a linha assim definida é deslocada através do espaço, uma superfície é então gerada. Essa operação cria figuras em modelo de arame 3D.



ANTES

DEPOIS

Figura 2.28 Geração de superfícies por varredura de linha (36).

Mais adiante veremos transformações sobre o núcleo gráfico que permitem gerar componentes mais complexos a partir de elementos simples. A entidade geométrica pode ser usada para gerar uma série de outras entidades em um outro desenho, ou apenas a metade de uma entidade simétrica pode ser desenhada e depois rebatida para fazer um desenho completo, ou duas entidades relacionadas podem ser movidas como uma única figura (agrupamento), conforme ilustrado na figura 2.29.

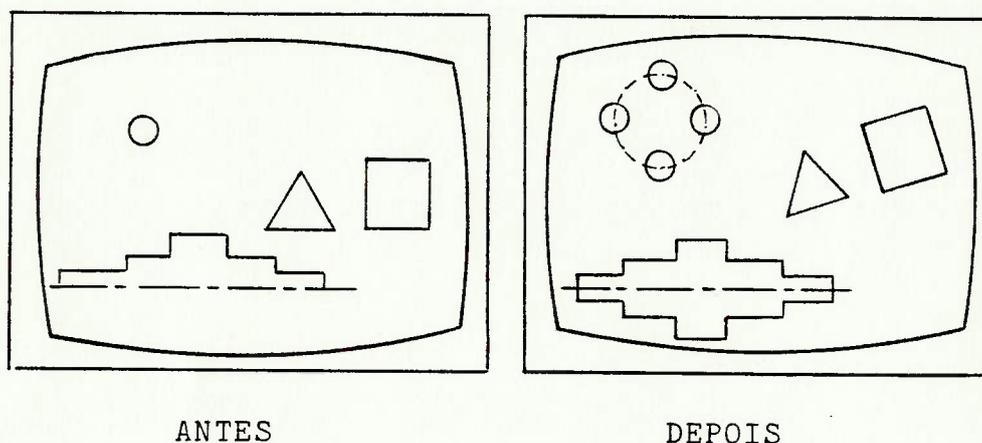


Figura 2.29 Transformações através de rotação e rebatimento (36)

O pacote de aplicativos é o que apresenta maior interesse para o usuário. Lamentavelmente ele é visto como solucionador de problemas, quando na realidade é somente a ferramenta. Aqui reside a maior parte da frustração com os sistemas CAD/CAM. Os aplicativos, em função de um bem desenvolvido marketing, são fornecidos sob o argumento " fácil de usar, resolve todos os problemas".

Muitas vezes esse aplicativo, quando utilizado em problemas reais deteriora o tempo de resposta ou apresenta situações que reque-rem do usuário conhecimentos teóricos e práticos mais avançados. Algumas dessas áreas onde já tivemos oportunidade de observar resultados insatisfatórios foi no uso de elementos finitos para determinar um mapa de nível de ruídos no interior de um carro e simulação com elementos finitos de testes de impacto de automóvel contra barreiras.

São exemplos que requerem um especialista com profundos conhecimentos na área do problema analisado. O que não significa que o método não se aplica a esses problemas, significa somente que a soma dos recursos computacionais com os conhecimentos do usuário não resultou no efeito sinérgico já referido.

Para ilustrar alguns exemplos de aplicativos simples e importantes vamos considerar o detalhamento de projeto. A partir de um modelo 3D temos que gerar um desenho técnico. Os aplicativos oferecem recursos para um detalhamento rápido, exato e apresentável. Se um desenho for transformado por escala durante a preparação, o módulo de detalhamento colocará automaticamente as linhas de chamada, setas e as dimensões apropriadas na tela entre dois pontos ou linhas solicitadas pelo operador, considerando o valor real de projeto, sem o efeito de escala. Essa propriedade chama-se associatividade.

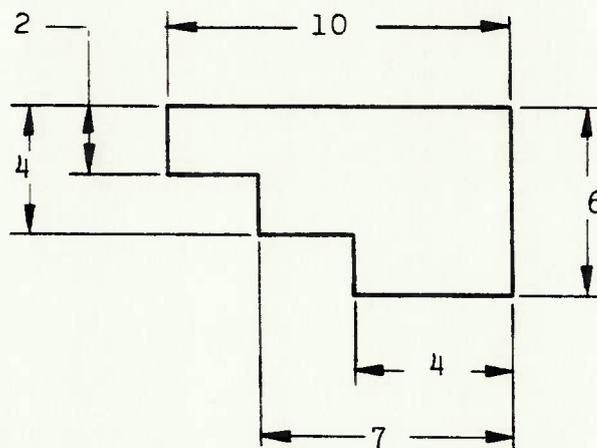
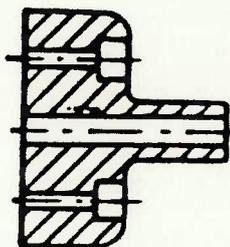


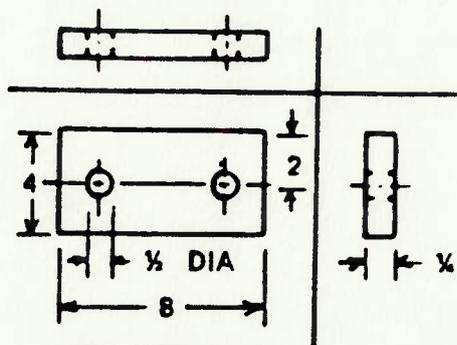
Figura 2.30 Cotas.

A maioria dos pacotes aplicativos de CAD/CAM normalmente possuem módulos para geometrias básicas, desenho mecânico, propriedades geométricas, geometrias de superfície e geração de trajetórias de ferramentas de controle numérico. Na figura 2.31 mostramos os aplicativos encontrados nos sistemas CAD/CAM, desse conjunto apenas o aplicativo de controle numérico não faz parte do pacote gráfico.

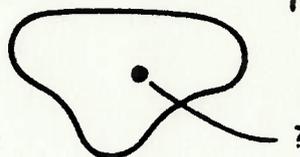
GEOMETRIA BÁSICA



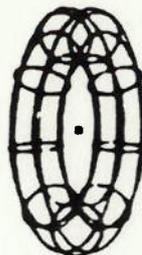
DESENHO MECÂNICO



PROPRIEDADE GEOMÉTRICA



GEOMETRIAS AVANÇADAS



CONTROLE NUMÉRICO

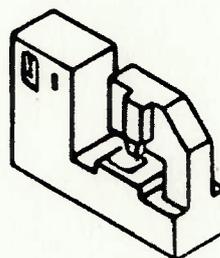


Figura 2.31 Aplicativos de CAD/CAM (36).

Também se encontram nos aplicativos os recursos de tratamento visual do modelo na tela, como por exemplo, escondimento de linhas, sombreamento, etc. Alguns desses recursos são mostrados na figura 2.32, com os respectivos comandos do software original.

Os pacotes aplicativos normalmente fornecem meios para armaze-

nar entidades e reutilizá-las novamente mas com sua forma alterada, chamado de escondimento "blanking". Possuem também recursos para apagar pedaços da entidade, modificar linhas e formas e cortar as sobras da intersecção de duas entidades separadas.

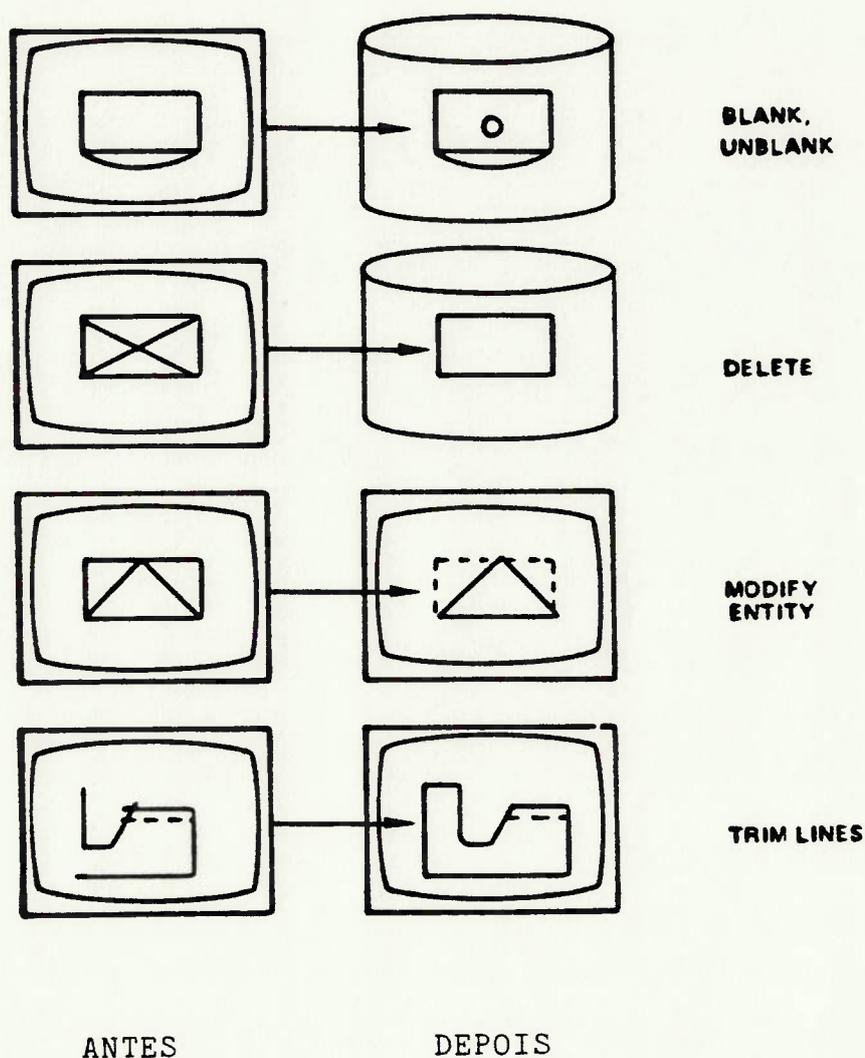


Figura 2.32 Tratamento visual de modelo na tela (36).

Em resumo, os programas aplicativos são escritos de acordo com a área de utilização. Na área de engenharia de projeto podemos incluir arquitetura e construção civil, componentes mecânicos, componentes elétricos, engenharia química, engenharia aeronáutica, engenharia automobilística, etc. Algumas áreas só precisam da imagem

sem o correspondente geométrico como por exemplo, simuladores de vôo, artes plásticas, processadores de imagem, etc.

Por outro lado existem áreas que só necessitam do processamento e pouca necessidade de imagens, tais como programas de análise numérica para resolver equações diferenciais, por exemplo. O software aplicativo completa o núcleo gráfico. Na figura 2.33, temos um exemplo de elementos geométricos básicos e aplicativos.

A maioria dos pacotes aplicativos fornecem recursos para geração automática de várias entidades geométricas tais como pontos, linhas, arcos, círculos, cilindros tabulados, etc. Isto significa que o usuário não precisa desenvolver muitos dos programas que ele necessitaria para usar na construção de desenhos.

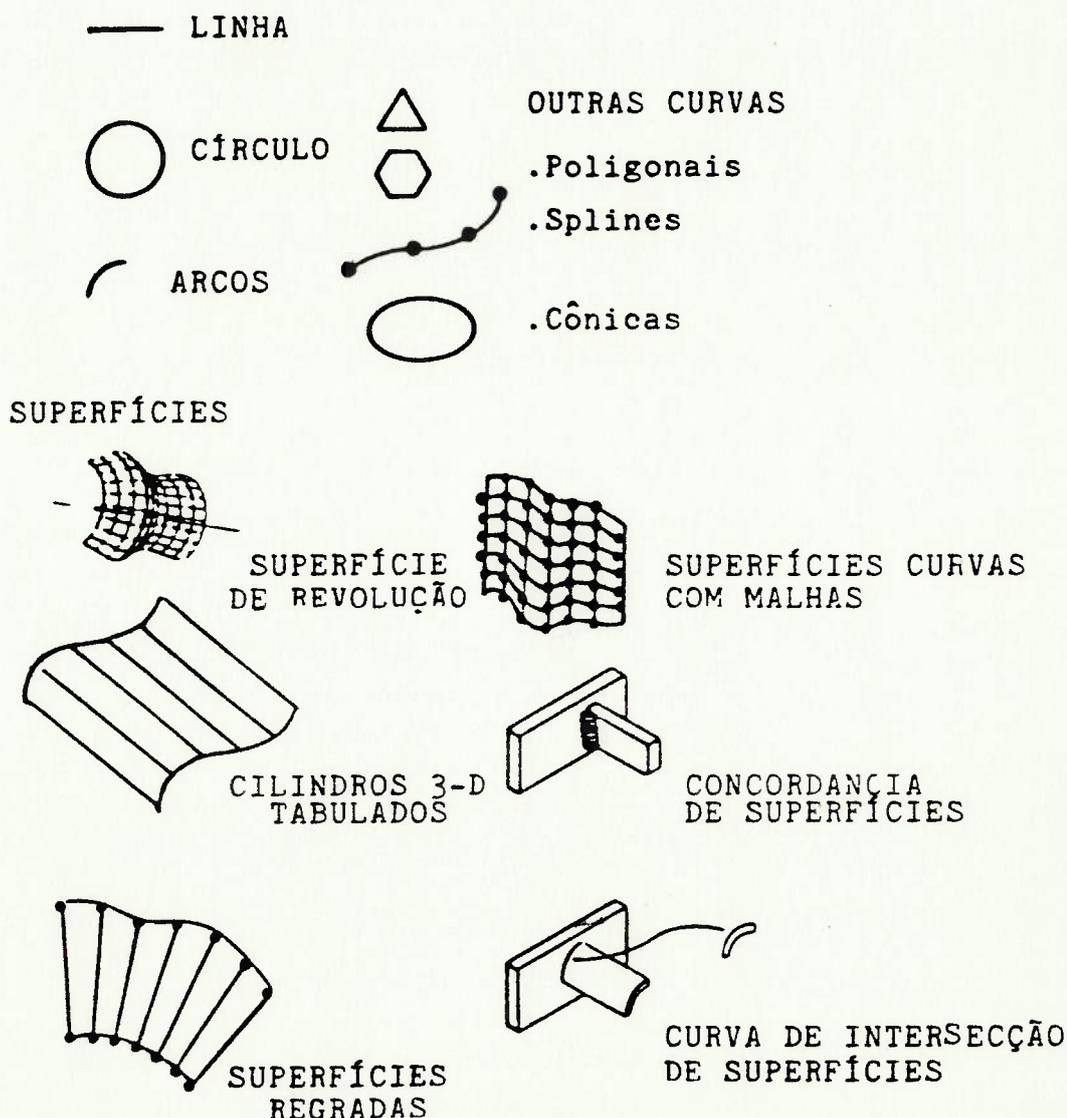


Figura 2.33 Elementos geométricos básicos e aplicativos (36).

Normalmente o software de superfície é um aplicativo chamado Projeto Avançado de Superfícies.

O banco de dados do ponto de vista do usuário, é a parte mais importante do sistema. Nele estão contidas milhares de horas de trabalho, centenas de projetos, inúmeros programas de análise de engenharia específicos da empresa, etc., o que representa um valor monetário e patrimonial considerável.

Toda a informação geométrica é decomposta no seu equivalente matemático junto com os valores numéricos e definições lógicas.

São assim arquivados modelos diferentes e de natureza distinta como por exemplo, circuitos eletrônicos, chicotes elétricos, carroceria de automóvel e assim por diante. Junto com as informações geométricas são arquivadas as informações de complemento do modelo tais como lista de materiais, propriedades geométricas das seções, propriedades de massa, etc. Voltaremos a tratar do banco de dados em detalhes mais adiante.

2.2.2.2.- Funções de um pacote gráfico

Já vimos que o núcleo gráfico e os programas aplicativos constituem o pacote gráfico de um sistema de CAD/CAM. Como parte do software de um sistema CAD/CAM o pacote gráfico tem um conjunto de funções bem definidas que podem ser agrupadas em cinco conjuntos principais, de acordo com a interação que cada uma executa entre o sistema e o usuário:

- . Geração de Elementos Gráficos
- . Transformações
- . Controle de tela, visualizações e janelas
- . Funções de Segmentação
- . Funções de Entrada

Geração de Elementos Gráficos

Um elemento gráfico em compugrafia é uma entidade geométrica com imagem, como por exemplo, um ponto, uma reta, uma curva na tela de um terminal. O conjunto desses elementos pode incluir também caracteres alfanuméricos e símbolos especiais. Normalmente o termo geometria primitiva é adotado para elementos gráficos básicos. Nós adotamos esse termo para designar elementos geométricos que não derivam de outros, no conceito computacional. Nesse contexto, o ponto, a linha, o quadrado, o círculo, a elipse, etc., chamamos de entidades geométricas primitivas. Quando formam um conjunto geométrico que dará origem a uma superfície ou a um sólido, chamamos esse conjunto de geometria básica. Alguns autores, como por exemplo Groover e Zimmers (19) preferem reservar o termo primitivo para a construção de gráficos 3D, nesse sentido uma primitiva seria uma esfera, cubo, cilindro, etc.

O elemento gráfico é gerado de forma aproximada aos métodos da geometria euclidiana. Cada sistema traz mais ou menos modos diferentes de se construir a mesma geometria, como por exemplo a construção da reta pode ser de mais de cinco modos diferentes. Essa função gera toda a geometria que será utilizada pelos softwares aplicativos.

Transformações

Transformações são usadas para mudar a imagem na tela do terminal e reposicioná-la no banco de dados. As transformações são aplicadas a elementos gráficos a fim de auxiliar o usuário na construção da geometria básica ou facilitar a utilização de um aplicativo.

Essas transformações incluem aumento ou redução do objeto pelo processo chamado de "Escalamento" (figura 2.34) e reposicionamento da imagem por rotação ou/e translação (figura 2.35).

Para permitir a ampliação de partes do desenho, faz-se uso do recurso "ZOOM". Grandes projetos podem ser desenhados e armazenados, mas somente um detalhe pode ser ampliado suficientemente para ser visto e compreendido.

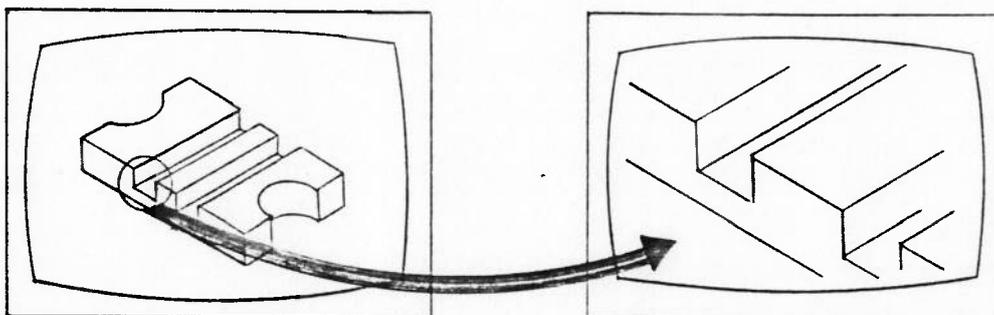


Figura 2.34 ZOOM: ampliação de detalhes (36).

Uma vez que a entidade apareça na tela, ela pode ser transladada ou movida para qualquer lugar na tela, rodada, ampliada ou reduzida, ou transformada em um modelo de arame, através de projeção de profundidade.

MANIPULAÇÃO DE ENTIDADES

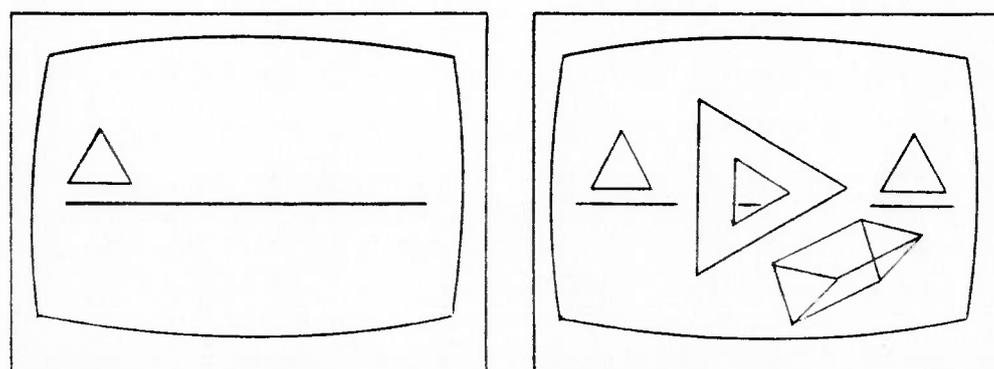


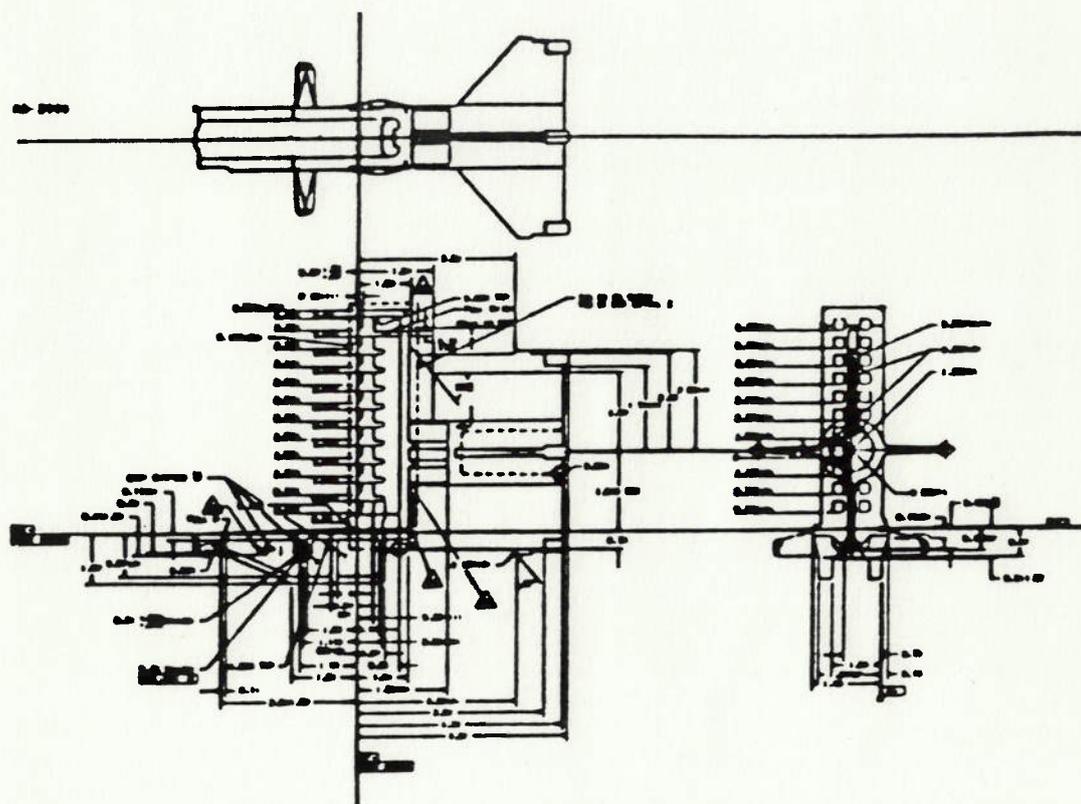
Figura 2.35 Reposicionamento de imagens (36).

Controle de Tela, Visualização e Janelas

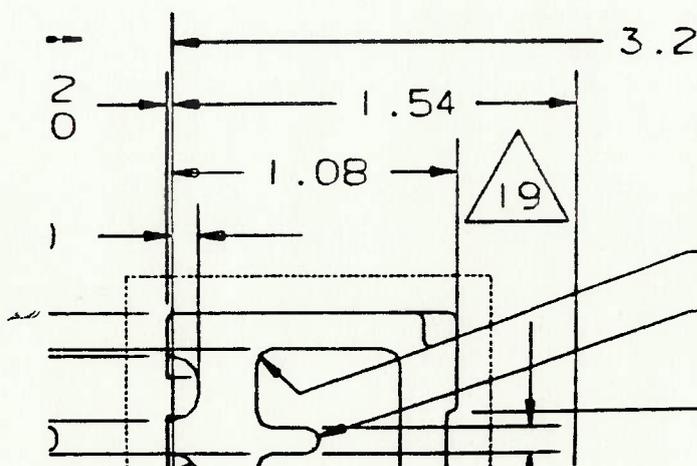
Esse conjunto de funções fornece ao usuário recursos para ver

a imagem do ângulo desejado e na ampliação desejada. Diferente do ZOOM da função de transformação, neste caso temos uma janela permanente que mostra a figura 2.36 ampliada.

O desenho na parte superior da figura 2.36 é quase impossível ser decifrado. Entretanto apenas indicando um canto de uma área que requeira uma visão mais detalhada, a área indicada pode ser ampliada conforme mostrado na parte inferior da figura



DESENHO COMPLETO



DETALHE AMPLIADO

Figura 2.36 Ampliação de detalhes através de janelas (36).

Com efeito, o usuário faz uso de várias transformações para apresentar o modelo na forma e posição que deseja mostrar.

Isso, às vezes, é referido como janelas porque é como se o modelo estivesse em uma caixa e fôssemos abrindo janelas para enxergá-lo. A maioria dos sistemas CAD/CAM fornecem recursos para se ver oito ou mais vistas do mesmo projeto simultaneamente quando a geometria 3D estiver sendo utilizada. Esse recurso esclarece o modelo para o projetista.

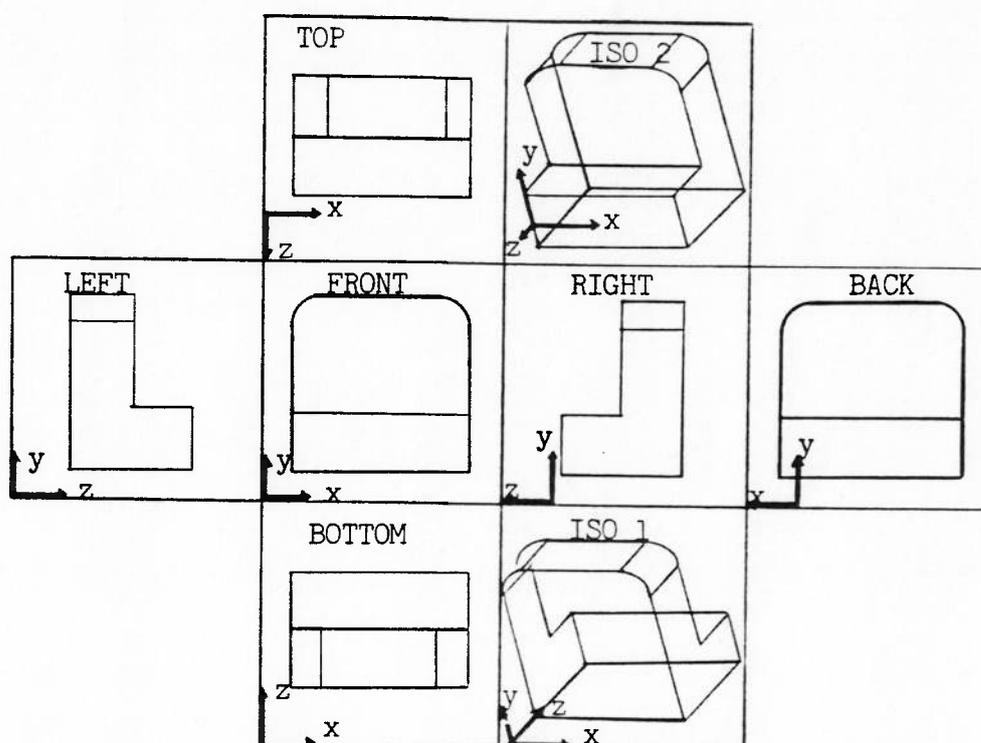
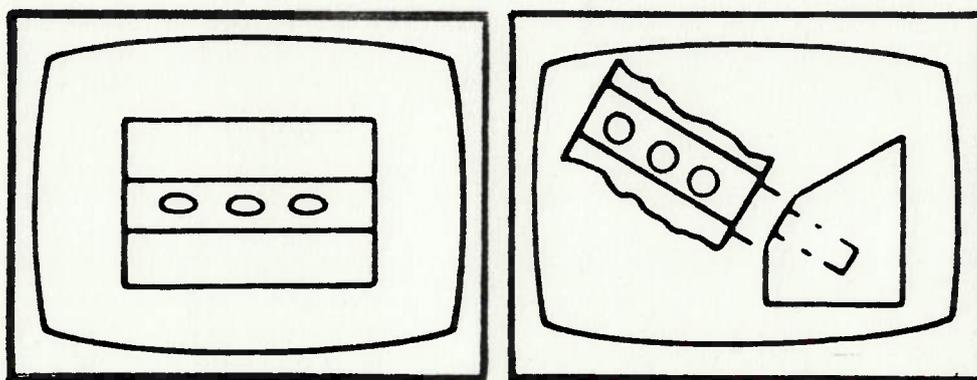


Figura 2.37 Vistas ortogonais em sistemas CAD/CAM.

Uma outra idéia que ajuda a entender o desenho em ambiente tridimensional é imaginarmos o modelo rodeado por câmaras de vídeo. Na tela do terminal cada janela vista é a imagem de uma câmara. Qualquer alteração no modelo reflete-se imediatamente em todas as vistas nas projeções respectivas. Além das seis vistas usuais da decomposição do cubo e da isométrica (ver figura 2.37) o sistema permite a criação de vistas auxiliares de planos auxiliares. Esse

recurso é fundamental para projeto mecânico, pois resulta em ganho de produtividade porque não precisamos dos procedimentos da Geometria Descritiva para obtermos uma imagem de Verdadeira Grandeza de um plano inclinado. É claro, porém que sem conhecimentos da Geometria Descritiva não sabemos que plano solicitar.

Em projetos complexos é possível extrair do modelo outras vistas que ajudam na visualização da peça completa. Ver figura 2.38.



VISTA AUXILIAR

Figura 2.38 Uso de planos auxiliares (36).

Outro aspecto do controle de visualização é o recurso de escondimento de linhas disponível na maioria dos sistemas gráficos.

A imagem é feita de linhas para representar um objeto em particular. O escondimento de linhas é o procedimento pelo qual a imagem é dividida em suas linhas visíveis e invisíveis (linhas escondidas). Em alguns sistemas o usuário deve identificar quais linhas (ou parte delas) são invisíveis de modo que elas possam ser removidas da imagem para torná-la mais compreensível. Em outros sistemas, o pacote gráfico é suficientemente sofisticado para remover as linhas escondidas do quadro automaticamente. Ver figura 2.39.

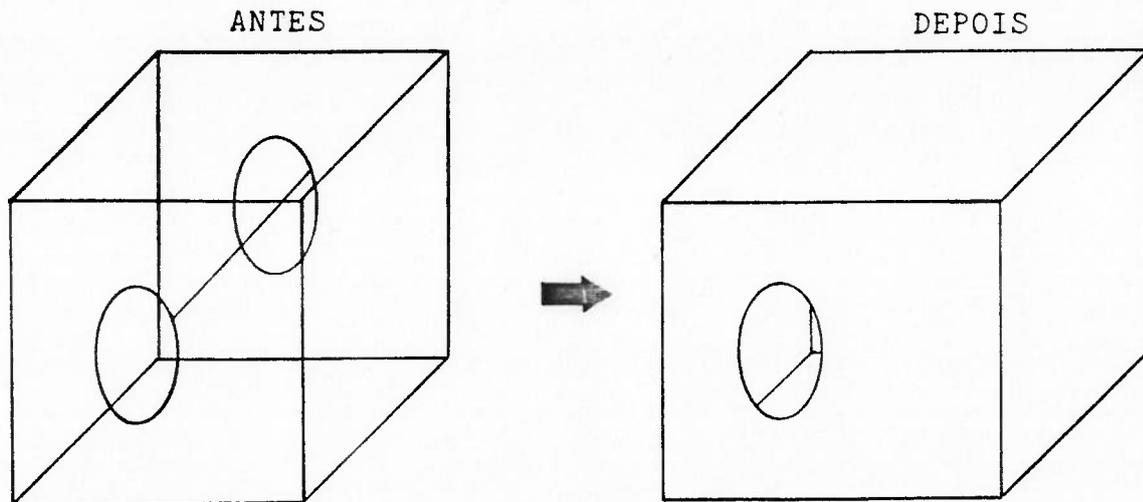


Figura 2.39 Remoção de linhas escondidas

Funções de Segmentação

Funções de segmentação fornecem ao usuário recursos de seletivamente substituir, eliminar, ou por outro lado modificar porções da imagem. O termo segmento refere-se a porção particular da imagem que tenha sido identificada com o propósito de modificá-la. O segmento pode definir um único elemento ou agrupamento lógico de elementos que podem ser modificados como unidade. Ver figura 2.40.

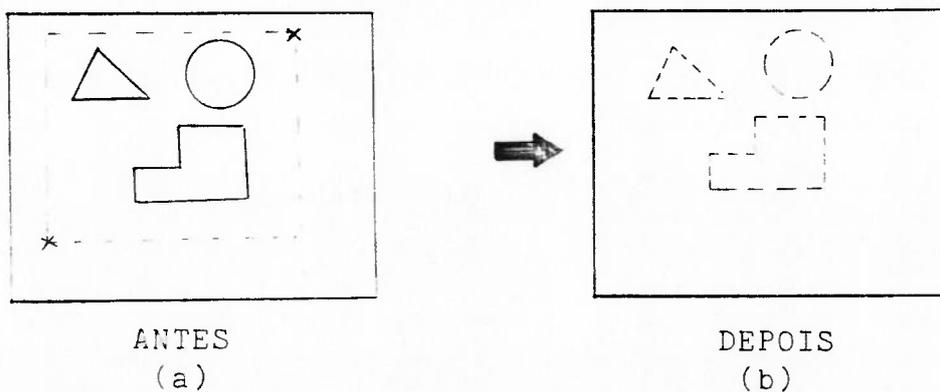
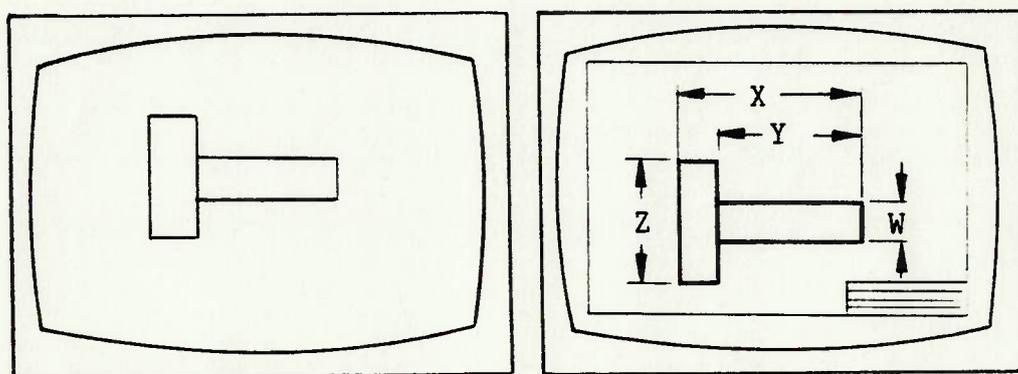


Figura 2.40 Modificação de apresentação. Na imagem (a) temos os dois elementos que agrupados sofrem uma modificação passando de linha cheia para tracejada.

Um outro recurso de segmentação é obtido através do uso de ní-

veis de desenho como transparências. Esse recurso é muito útil por permitir um grande número de informação em um único desenho (arquivo). Na figura 2.41, por exemplo as cotas estão em outro nível bem como a folha de desenho com formato, legenda, notas, logotipo, etc., já padronizados pela empresa. Portanto os diferentes passos de um projeto ou outras informações podem ser armazenados em vários níveis. Isso permite a segmentação de diferentes dados para uso por diferentes departamentos ou pessoas.



NÍVEIS (LAYERS, LEVEL)

Figura 2.41 Uso de níveis em projeto (36).

Funções de entrada de dados

A entrada de dados pelo usuário constitui um conjunto de funções fundamental para o sistema de computação gráfica. A entrada é realizada por meio do dispositivo de entrada de dados, e na seção anterior já apresentamos uma série deles. As funções de entrada do usuário devem, é claro, ser escritas especialmente para um determinado complemento dos dispositivos de entrada usados no sistema. A forma como foram projetadas as funções para entrada de dados pelo usuário tem um efeito significativo na facilidade do uso do sistema. As funções de entrada devem ser escritas para maximizar os benefícios da capacidade interativa do sistema. O objetivo do projeto de software é encontrar o equilíbrio ótimo entre fornecer funções suficientes para cobrir convenientemente todas as situações de en-

trada de dados sem inundar o usuário com comandos que ele não pode lembrar. Uma das metas sempre buscada pelos projetistas de software é a simplificação da interface com o usuário, o suficiente para que o projetista com pouca ou nenhuma experiência de programação possa operar efetivamente o sistema.

2.2.2.3.- Construção da Geometria

Uso de elementos gráficos

Os sistemas gráficos executam a definição de um modelo pela construção de elementos gráficos. Esses elementos são chamados pelo usuário durante a construção e somados um a um para criar o modelo. Existem muitos aspectos sobre esse processo de construção que devem ser analisados.

Primeiro, à medida que cada novo elemento vai sendo solicitado, antes de ser anexado ao modelo, o usuário pode especificar seu tamanho, sua posição e sua orientação. Essas especificações são necessárias para formar o modelo na escala e formato apropriado. Para esse objetivo, as várias transformações mencionadas anteriormente são utilizadas.

Um segundo aspecto do processo de construção é que os elementos gráficos ou podem ser subtraídos ou somados. Outro modo de dizer-se a mesma coisa é dizer que o modelo pode ser formado com elementos gráficos positivos e negativos. A figura 2.42 ilustra esse recurso de construção para um objeto bidimensional. O objeto é desenhado pela subtração do círculo B do retângulo.

O terceiro recurso disponível durante a construção do modelo é sua capacidade de agrupar muitos elementos juntos em unidades que são chamadas de células. Uma célula, nesse contexto, refere-se à combinação de elementos que podem ser chamados para serem usados em qualquer parte do modelo. Por exemplo, se um parafuso é para ser usado em muitos lugares na construção de um modelo do conjunto

mecânico, o parafuso pode ser formado como uma célula e acrescentado em qualquer lugar do modelo. O uso de células gráficas é um recurso conveniente e poderoso na construção de modelo geométrico. Alguns fabricantes designam essas células por figuras, sub-figuras e figuras estendidas. As duas primeiras são tratadas como um único elemento em que nenhum de seus elementos podem ser alterados; a última tem as propriedades das duas primeiras exceto que seus elementos podem ser alterados.

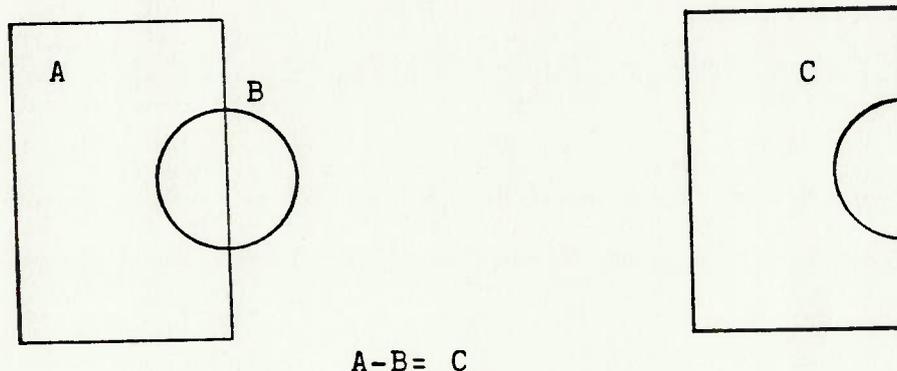


Figura 2.42 Exemplo de modelo bidimensional construído por subtração do círculo B do retângulo A. (19).

Definindo os elementos gráficos

O usuário tem uma variedade de modos diferentes para chamar um elemento gráfico em particular e posicioná-lo na geometria do modelo. A tabela 2.4 lista uma variedade de modos de construção de pontos, linhas, arcos e outros elementos gráficos, através da interação com o sistema gráfico. Esses componentes são mantidos no banco de dados na forma matemática e referenciados no sistema tridimensional de coordenadas. Um polígono poderia ser definido como um conjunto ordenado de pontos representando vértices. Um círculo pode ser definido pelo seu centro e raio. Matematicamente, um círculo pode ser definido pela equação no plano xy.

$$(x - m)^2 + (y - n)^2 = r^2$$

Ela especifica que o raio do círculo é r; x e y estão afastados da origem de m e n. Em cada caso as definições matemáticas são

convertidas em suas linhas ou superfícies correspondentes para preenchimento do banco de dados e apresentação na tela.

Para uma definição da forma matemática dos elementos gráficos mais comuns recomendamos Rogers e Adams (29), Faux e Prat (28) que apresentam as representações matemáticas dos elementos em diversos modos. Em Liming (32) encontramos uma excelente apresentação das expressões analíticas para os elementos geométricos usados em computação gráfica. Esse trabalho é especialmente agradável aos engenheiros mecânicos e aeronáuticos porque o autor parte de problemas complexos e reais tais como definição de uma asa ou um mecanismo de trem de pouso etc., e faz uma representação matemática.

Edição da geometria

Um sistema de computação gráfica fornece recursos de edição de geometria para fazer correções e ajustes na geometria do modelo. Quando observar o modelo, o usuário deve ser capaz de eliminar, mover, copiar e rodar os componentes do modelo. Nós já discutimos antes as funções do pacote gráfico.

O procedimento de edição envolve a seleção de uma porção desejada do modelo (geralmente por meio de uma das funções de segmento) e executar o comando apropriado (frequentemente envolvendo uma das funções de transformação).

O método de selecionar o segmento do modelo a ser modificado varia de sistema para sistema. Um método comum é um retângulo formado em volta da porção. O retângulo é definido pelos dois pontos de uma diagonal.

Outro método envolve a caneta eletrônica ou cursor colocado sobre o elemento a ser modificado.

O computador deve avisar de algum modo o usuário sobre qual porção do modelo foi selecionada. A razão disso é verificar que a parte selecionada pelo computador é a que o usuário quer.

Várias técnicas são usadas por diferentes sistemas gráficos

para identificar o segmento. Entre outras temos, colocação de uma marca no segmento tornando-o mais claro que os outros ou fazendo o segmento cintilar.

Na tabela 2.5 - apresentamos uma série de recursos de edição de elementos mais encontrados em sistemas gráficos comerciais.

Tabela 2.4 - Métodos de Definição de Elementos em Sistemas Gráficos. (19).

Pontos

Métodos para definição de pontos em compugrafia:

1. Indicando a posição na tela por meio de cursor
2. Introduzindo as coordenadas pelo teclado alfanumérico
3. Acrescentando um deslocamento (distância em x,y, e z) de um ponto previamente definido
4. A intersecção de duas linhas
5. Colocando pontos em intervalos regulares ao longo de um elemento.

Linhas

Métodos para definição de linhas:

1. Usando dois pontos previamente definidos
2. Usando um ponto e especificando um ângulo em relação à linha horizontal
3. Usando um ponto e traçando a linha ou normal ou tangente a uma curva
4. Usando um ponto e traçando a linha ou paralela ou perpendicular a uma outra linha
5. Fazendo uma linha tangente a duas curvas
6. Fazendo a linha tangente a uma curva e paralela ou perpendicular a uma outra linha.

Arcos e Círculos

Métodos para definir arcos e círculos:

1. Especificando o centro e o raio
2. Especificando o centro e um ponto do círculo
3. Fazendo a curva passar por três pontos previamente definidos
4. Fazendo a curva tangente a três linhas
5. Fazendo a curva tangente a três outras curvas
6. Especificando o raio e fazendo a curva tangente a duas linhas ou curvas.

Cônicas

Cônicas (elipse, parábola e hipérbole) podem ser definidas em qualquer plano por um dos métodos a seguir:

1. Especificando-se cinco pontos do elemento
2. Especificando três pontos e uma condição de tangência
3. Fornecendo os parâmetros foco, vértice, eixo e geratriz pelo teclado alfanumérico.

Curvas

Splines matemáticas são usadas para ajustar uma curva por um conjunto de pontos dados. Por exemplo, em uma spline cúbica, segmentos polinomiais de terceira ordem são ajustados entre cada par de pontos adjacentes. Outra técnica para geração de curvas muito utilizada em compugrafia são as curvas de Bezier e curvas B-splines. Ambos os métodos usam um procedimento que suaviza o efeito da variação dos pontos dados; como resultado a curva não passa por todos os pontos. Nesses casos os dados podem ser digitados no sistema gráfico e o tipo de ajuste de curva ser especificado.

Superfícies

Os métodos descritos para geração de curvas podem também ser usados para determinar a definição matemática da superfície. Fabricantes de automóveis usam esses métodos para representar as superfícies esculturais de chapas da carroceria do automóvel. Alguns desses métodos para geração de superfícies são:

1. Usando superfície de revolução formada pela rotação de qualquer linha/curva em torno de um eixo.
2. Usando a intersecção de linha e superfície, ou duas superfícies interseccionando-se poderia ser usado para gerar uma seção transversal da peça pelo plano de corte através da peça na orientação desejada.
3. Pelo deslocamento de uma linha ou uma curva sobre uma trajetória base.
4. Através de uma nuvem de pontos no espaço, gerando uma superfície de Bezier ou B-spline.

Tabela 2.5 - Recursos de Edição de Elementos mais Comuns em Sistemas Gráficos (19).

1. Deslocar um item para outra posição. Isso envolve a translação do item de uma posição para outra.
2. Duplicar um item em outra posição. A função copiar é similar à função mover, excepto que ela preserva uma cópia do item na sua posição original.
3. Rodar um item. Esta é uma transformação por rotação, na qual o item é rodado através de um ângulo específico da sua orientação original.
4. Rebater um item. Este cria uma imagem de espelho de um item em torno de um plano especificado.
5. Eliminar o item. Essa função causa a remoção/apagamento de uma parte do modelo escolhida na tela e do banco de dados.

6. Remover o item da tela (sem eliminar do banco de dados). Este remove um determinado segmento do modelo da imagem presente na tela. Entretanto, ela não é eliminada do banco de dados. Então com a reapresentação da tela a partir do banco de dados o segmento reaparece.
 7. Cortar ou estender um componente. Essa função remove a porção de linha que passa de um certo ponto, ou estende uma linha até alcançar certo ponto.
 8. Criar células de elementos gráficos. Esse recurso fornece a capacidade de construir uma célula de um determinado grupo de elementos. A célula pode ser acrescentada ao modelo em qualquer orientação desejada.
 9. Fazer um item em escala. Um componente pode ser ampliado por um certo fator ou em x, y e z, ou em todas as direções. O tamanho completo do modelo pode ser alterado ou ele pode ser ampliado em somente uma ou duas direções.
-

2.2.2.4.- Banco de Dados - Estrutura e Conteúdo

Todo o sistema gráfico depende basicamente de seu banco de dados, ou seja, sua capacidade de conter as informações necessárias para uso eficaz do sistema. O banco de dados de um sistema gráfico contém os modelos de aplicação, projetos, desenhos de detalhes, conjuntos montados, informações alfanuméricas tais como lista de materiais e texto. O banco de dados também tem muito do software gráfico interativo tais como sistemas de comando, menus de funções e rotinas de plotagem e de saída. O banco de dados reside na memória do computador (memória primária) e na memória secundária de armazenamento.

Uma vez que informações do banco de dados podem ser trocada rapidamente entre memória secundária e primária, se necessário, não vamos nos preocupar com a discussão de como o banco de dados é armazenado fisicamente.

Nossa principal preocupação é com o conteúdo do banco de dados e com sua organização. Foley e Van Dam (25) apresentam os ingredientes básicos de um modelo de aplicação (modelo geométrico de uma peça qualquer) que devem ser incorporados ao banco de dados, Groover e Zimmers (19) apresentam uma estrutura de modelo formada de acordo com essa sugestão:

- 1- Elementos geométricos básicos (pontos, retas ou outros elementos primitivos).
- 2- Geometria (forma) dos componentes do modelo e suas posições no espaço.
- 3- Topologia ou estrutura dos modelos - o modo como os vários componentes são conectados para formar o modelo.
- 4- Dados para aplicações específicas, tais como propriedades geométricas e de materiais.
- 5- Programas de aplicação específicos para análises, tais como programas para análise por elementos finitos ou para síntese de mecanismos.

Essa lista representa uma abordagem de construção por blocos na construção do modelo. Os itens da categoria um são os ingredientes mais elementares. Eles são combinados para formar a categoria dois que por sua vez é usada para formar a categoria três, e assim por diante. A estrutura do modelo é formada por dados e procedimentos para conectar, descrever e analisar o modelo.

O banco de dados pode ser organizado de vários modos, de acordo com o modelo (mecânico, elétrico etc.) e preferência do projetista. Alguns sistemas adotam uma descrição mais completa do modelo que é armazenado explicitamente como dados. Essa requer mais memória, como no caso de processamento de imagem. Outros sistemas são projetados para armazenar o mínimo de dados mas com procedimentos mais completos para reconstruir o modelo. Esse modelo requer menos memória para armazenamento, porém gasta mais tempo de processamento. É como se guardássemos a equação geradora de uma tabela de números em vez dos próprios números.

Uma estrutura de dados possível envolve o armazenamento das coordenadas da geometria junto com outras informações que podem ser necessárias para programas aplicativos. Existem algumas desvantagens nesse tipo de estrutura de dados. Considere, por exemplo, a definição de um cilindro. A definição consiste de um segmento de linha (geratriz), paralela ao eixo y, e rodada para formar um cilindro. Os dados armazenados para esse componente podiam consistir das coordenadas do seguimento de linha (geratriz) e do eixo de rotação. O computador pode gerar a imagem do cilindro para apresentação na tela do terminal, mas ele não tem todos os elementos do cilindro sólido armazenados no banco de dados. Seria difícil para o sistema computacional determinar que o cilindro era um objeto sólido. A característica de ser sólido poderia ser importante em análises subsequentes para verificação de interferência quando o cilindro fosse montado em conjunto com outros componentes sólidos.

Entre alternativas para estrutura de banco de dados temos o modelo diagramático sugerido por Groover e Zimmers (19). O modelo diagramático, ilustrado na figura 2.43 para o tetraedro, é composto de uma série de pontos, arestas e superfícies do elemento geométrico. Somente os pontos (vértices) são armazenados como coordenadas espaciais no banco de dados. Entretanto, as relações que conectam arestas aos vértices, faces às arestas e o sólido às superfícies são também armazenados. Isso resulta em um modo compacto de se definir um sólido.

Operações Booleanas (regras para manipulação de variáveis com lógica simbólica) podem ser usadas para construir o modelo geométrico. O processo é ilustrado na figura 2.44 e às vezes é referido como modelamento Booleano.

O modelo sólido na parte (a) da figura é formado pela intersecção do complemento do cilindro "C" com a união do retângulo sólido "A" e o prisma triangular "B". De forma mais concisa, o objeto em (a) é igual a

$$\bar{C} (A+B)$$

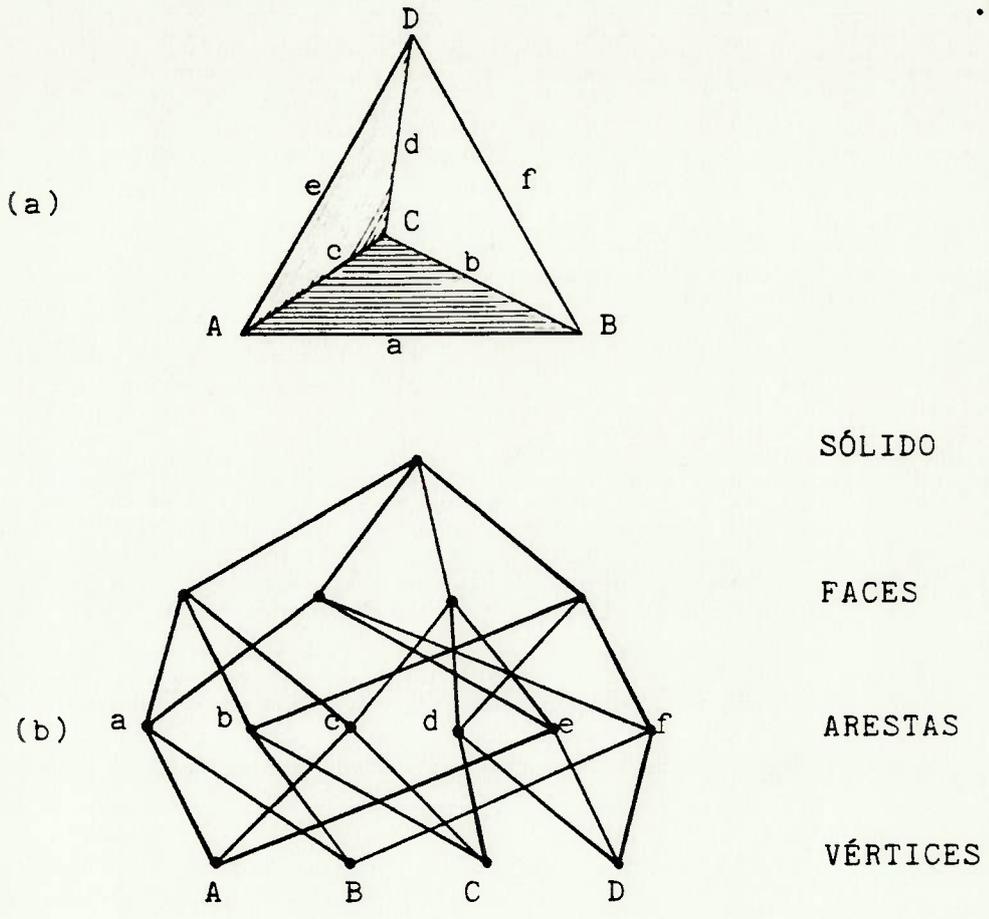


Figura 2.43 Modelo diagramático(b) para o tetraedro (a)(19).

A parte (b) da figura mostra os três elementos "A", "B" e "C" em uma seção transversal. Um modelo geométrico mais complexo, criado de forma similar com operações Booleanas, é ilustrado na figura 2.45 mostrando-se a remoção do material em (a) para formar o objeto em (b).

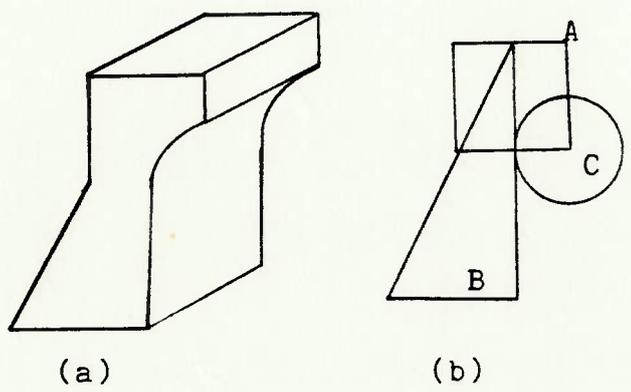


Figura 2.44 Operação Booleana $\bar{C}(A+B)$ realizada nos elementos em (b) para obter o sólido em (a)(19).

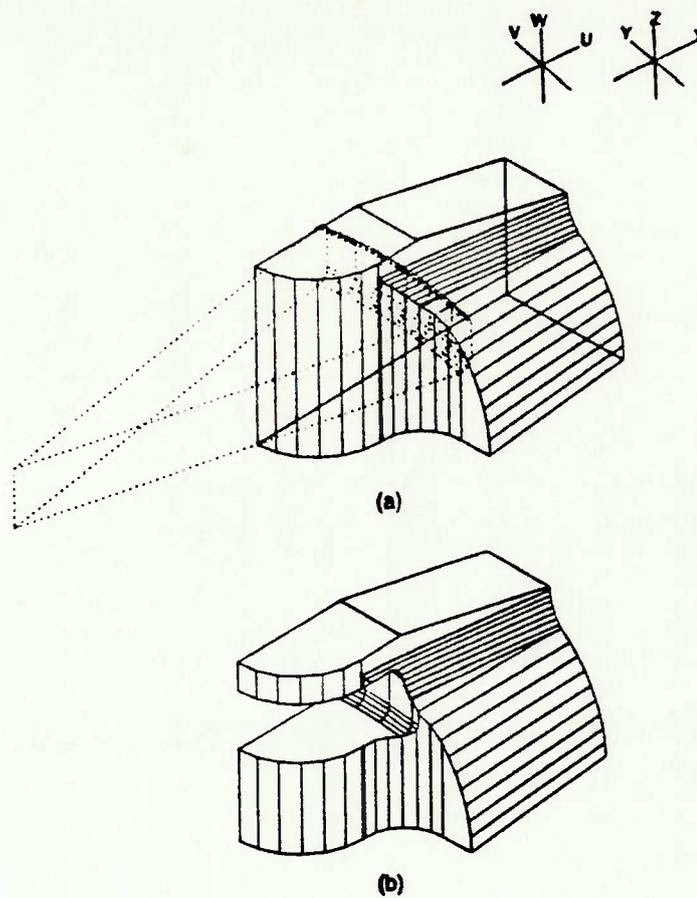


Figura 2.45 Sólido geométrico de forma complexa mostrando a remoção do material em (a) para obter o objeto em (b) (19).

2.3. - CAD/CAM na Engenharia e Manufatura

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

O uso de CAD/CAM na engenharia libera o engenheiro das tarefas cansativas tais como cálculos demorados e processos complicados de desenho. Se por um lado propicia mais rapidez nos projetos, por outro, exige do engenheiro conhecimentos mais amplos e em profundidade dos assuntos relacionados ao projeto. Na tabela 2.6 apresentamos algumas áreas dentro de Engenharia de Projeto e Manufatura que podem eventualmente ser influenciadas pela tecnologia CAD/CAM.

Tabela 2.6 - Áreas assistidas por CAD/CAM

Engenharia de Projeto - Desenvolvimento de Produto

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

Engenharia de Manufatura - Fabricação do Produto

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

. Planejamento de processo

2.3.1.- Benefícios de CAD na Engenharia

Existem muitos benefícios do projeto auxiliado por computador, somente alguns dos quais podem ser facilmente mensuráveis. Alguns benefícios são intangíveis, refletidos na melhoria da qualidade de trabalho, informações precisas, melhoria do controle do projeto. Existem outros benefícios tangíveis, mas o retorno surge quase no final do processo de produção, de forma que é difícil atribuírem-se valores a eles na fase de projeto. Na tabela 2.7 apresentamos uma lista de potenciais benefícios do sistema CAD/CAM integrado.

Dizemos que um sistema CAD/CAM é integrado quando compartilham o banco de dados a atividade CAD com a atividade CAM, sendo que a primeira projeta o produto e a segunda materializa-o. Na figura 2.46 temos uma representação do uso comum do banco de dados.

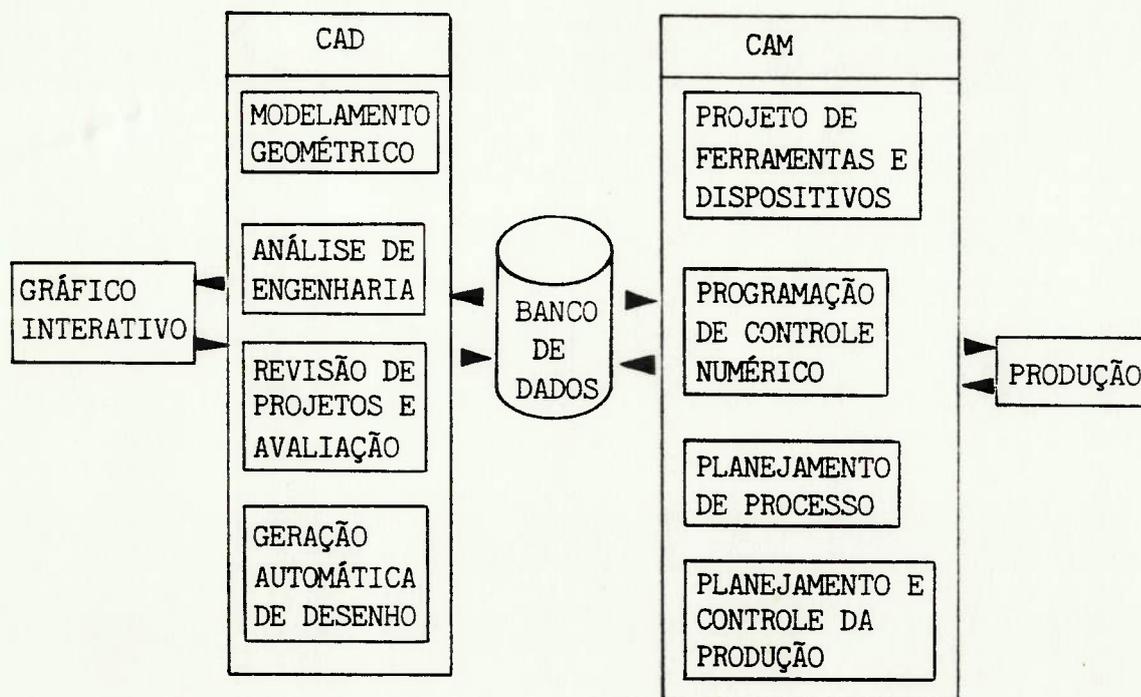


Figura 2.46 Relação entre banco de dados com CAD e CAM.(19).

Nas subseções seguintes comentamos alguns dos benefícios de um sistema CAD/CAM integrado.

Tabela 2.7 - Relação de potenciais benefícios que podem resultar da implementação de CAD como parte de um sistema CAD/CAM integrado (19).

1. Redução no prazo de projeto
2. Modificações são mais fáceis de fazer
3. Redução de subcontratações para atender cronogramas
4. Diminuição do número de erros de transcrição de desenhos
5. Aumenta precisão do desenho
6. Análise mais fácil das interações dos componentes
7. Análise melhor de desempenho para reduzir teste de protótipos
8. Auxílio na preparação de documentação
9. Maior padronização de projetos
10. Projetos melhores em função de análise de mais alternativas
11. Aumenta a produtividade em projeto de ferramenta
12. Fornece melhor conhecimento dos custos
13. Reduz tempo de treinamento para tarefas de rotina em desenho e programação de peças em controle numérico
14. Menos erros em programação de controle numérico
15. Potencial para reutilização de peças e ferramentas existentes
16. Ajuda a garantir que os projetos são adequados para as técnicas de manufatura
17. Economiza material e tempo de máquina com algoritmos otimizados
18. Fornece resultados operacionais sobre o estatus do trabalho em andamento
19. Torna o gerenciamento do pessoal de projeto mais efetivo
20. Auxilia na inspeção de peças complicadas
21. Melhor interface de comunicação e melhor entendimento entre engenheiros, projetistas, desenhistas, gerência e diferentes grupos de projeto.

Aumento de produtividade no projeto

O aumento de produtividade traduz-se em uma vantagem competitiva para a indústria porque ela poderá reduzir a necessidade de recursos para um dado projeto, o que leva a custos menores junto com a redução do tempo para desenvolver o projeto. Prazos mais curtos são fundamentais para ganhar concorrências.

O aumento de produtividade em projeto auxiliado por computador comparado aos processos convencionais depende de fatores tais como (19):

- complexidade de desenho de engenharia
- nível de detalhes requerido no desenho
- grau de repetitividade nas peças projetadas
- grau de simetria entre as peças
- abrangência da biblioteca de entidades geométricas comumente utilizadas.

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

Redução de Prazos de Projeto

Projeto auxiliado por computador interativamente é mais rápido que os processos convencionais de projeto. Também acelera o trabalho de preparar relatórios e listas de peças que tradicionalmente são efetuadas manualmente. Portanto é possível com o sistema CAD produzir um conjunto de desenhos de componentes e os relatórios associados em tempo relativamente mais curto. Menores prazos para desenvolvimento de projeto traduz-se em menor tempo entre uma necessidade de mercado identificada e lançamento do produto final. A produtividade melhorada dos projetistas trabalhando em CAD tende a reduzir as atividades de projeto e análise de engenharia como elementos de prazos críticos no prazo global de fabricação.

Análise de Projeto

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

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

Menos Erros de Projeto

O sistema CAD fornece um recurso intrínscico de evitar erros de projeto, detalhamento e documentação. Os erros que normalmente ocorrem no processo manual, durante a compilação de dados são praticamente eliminados. Uma razão para tal precisão é simplesmente que nenhuma informação precisa ser tratada manualmente. Erros futuros são evitados porque o CAD executa tarefas cansativas tais como colocação de símbolos repetitivos rapidamente e de forma consistente.

Maior Precisão nos Cálculos

Existe também um alto nível de controle dimensional, muito além da precisão alcançada manualmente. A precisão matemática é frequentemente de oito casas decimais. A exatidão obtida pelo sistema CAD interativo em projetos tridimensionais é tão superior àquela obtida manualmente que não cabem comparações. As peças são identificadas pelo mesmo nome e número em todos os desenhos. Uma modificação em um desenho propaga-se em toda a documentação e sistemas que se utilizam da peça modificada. A exatidão também aparece na forma de estimativas e custos de materiais mais precisos.

Padronização de Projeto, Desenho e Documentação

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

Desenhos mais legíveis

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

Na figura 2.47 apresentamos uma relação entre recursos de CAD utilizados e a melhoria da visualização.

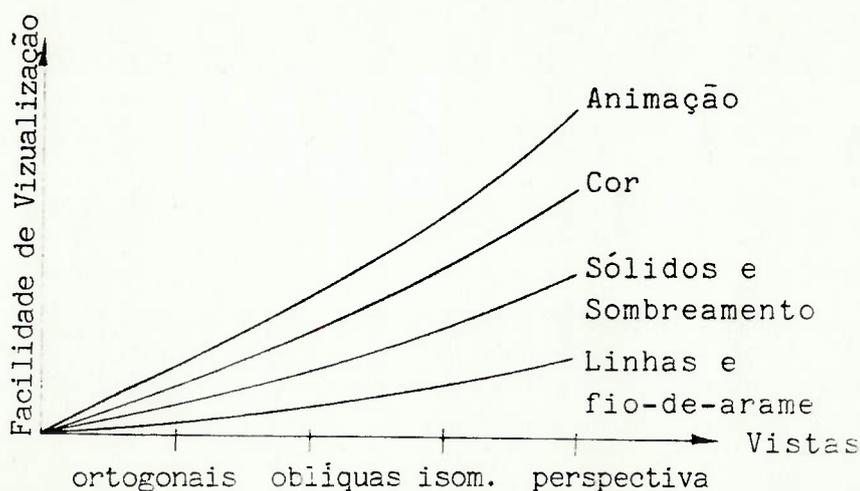


Figura 2.47 Melhoria da visualização de imagens para vários tipos de desenhos e recursos gráficos. (19).

Procedimentos para Modificações de Produto

O controle e implementação de modificações de engenharia é significativamente melhorado com o CAD. Desenhos originais são arqui-

vados no banco de dados. Isto torna-os mais acessíveis do que documentos guardados em arquivos convencionais. Eles podem ser imediatamente verificados contra uma nova informação. Qualquer modificação passa pelo gerente de sistema que tem acesso ao banco de dados para modificação. Como resultado temos um controle melhor das modificações implementadas.

2.3.2.- Benefícios para Manufatura

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

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

Esses benefícios derivam do banco de dados gerados pelas atividades de engenharia. A discussão de cada uma dessas áreas não será objeto de nosso estudo. Recomendamos Hordeski (1), Groover e Zimmers (19) para uma apresentação detalhada desses tópicos.

2.4 - Uso de CAD/CAM na Indústria

O uso generalizado de sistemas computacionais como auxílio no ambiente industrial é perfeitamente conhecido, principalmente na área administrativa e financeira tais como folhas de pagamento, emissão de pedidos de compra, contabilidade, fluxo de caixa, etc.

O tratamento dado a informação quando se trata de sistemas gráficos interativos é algo diferente. Primeiro por se tratar de um processamento de dados intensivo e segundo porque o ambiente é eminentemente técnico, o que por vezes resulta em incompatibilidade com o pessoal de processamento de dados convencional. Para o engenheiro o computador é tão somente uma ferramenta que executa os trabalhos repetitivos e não criativos. Para o processamento de dados convencional o uso do computador é o próprio trabalho.

Não importa que seja uma empresa de serviços ou indústria de produção de bens, o sistema gráfico interativo sempre tratará com modelos geométricos do produto e se utilizará de todos os benefícios que dele derivarem. A imagem nos permite muito mais alternativas.

O sistema CAD/CAM está presente nos mais diversos campos industriais, de indústria aeroespacial à indústria de calçados. A seguir apresentamos uma distribuição de usuários no Brasil, de acordo com a atividade.

Tabela 2.8 - Distribuição de usuários de sistemas CAD/CAM no Brasil

<u>Indústria/atividade</u>	<u>Participação</u>	<u>Setor</u>
.Indústria Automobilística	10,7%	Mecânica
.Indústria Metal-Mecânica (Máquinas e Equipamentos)	11,3%	Mecânica
.Indústria Aeronáutica	5%	Mecânica
.Indústria Bélica	6%	Mecânica
.Indústria Química	3%	Química
.Indústria Siderúrgica	5%	Metalúrgica

.Indústria Petrolífera	6%	Mecânica
.Indústria Alimentícia	3%	Alimentos
.Indústria Ferroviária	3%	Transportes
.Usinagem de Peças Mecânicas	8%	Mecânico
.Utilidades Domésticas (Eletrodomésticos)	6%	Mecânico
.Moldes Plásticos para injeção	6,5%	Mecânico
.Movimentação de Materiais (Pontes e esteiras rolantes)	5,5%	Mecânico
.Máquinas e Implementos Agrícolas	6%	Mecânico
.Indústria de Papel e Celulose	5%	Papel
.Concessionárias de Energia	2%	Energia
.Armazenagem de Materiais	2%	Embalagens
.Telecomunicações	3%	Eletrônico
.Outros (Textil, Calçados, etc.)	3%	Outros
Total	100%	

Fonte: adaptado do Boletim Sobracon, n.º 42, 1989, São Paulo, SP. p.15.

Para melhor visualizar as diversas aplicações vamos resumir a tabela 2.8 em setores, portanto temos:

Tabela 2.9 -Aplicação de CAD/CAM por setores

Setor	Participação	Observações
.Mecânica	71%	.Sistema utilizado em projeto de peças, componentes e programação de máquinas CN. Maiores ganhos de produtividade em padronização de componentes e qualidade do projeto.
.Metalúrgica	5%	.Aplica-se no projeto de equipamentos e instalações. Desenhos de diagramas de fase.

.Papel e Celulose	5%	.Aplica-se no projeto de instala- ções, desenvolvimento de máquinas especiais e no controle do proces- so.
.Elétrica e Eletrônica	3%	.Utiliza-se no projeto de redes, es- tações e circuitos de centrais ele- trônicas. Projeto de placas de cir- cuito impresso.
.Alimentos	3%	.Sistemas utilizados em controle de processo e projeto de máquinas uti- lizadas na produção de alimentos.
.Transportes	3%	.Sistemas utilizados no projeto de locomotivas e vagões ferroviários. No estudo de traçado de estradas, pontes e viadutos.
.Química	3%	.Utiliza-se no projeto de instala- ções. Uso intensivo de tubulações e verificação de interferências. Plantas de Processos.
.Energia	2%	.Sistemas utilizados pelas concessio- nárias de energia para projeto de redes de distribuição e mapeamento dos logradouros públicos.
.Embalagens	2%	.Sistemas utilizados no projeto e otimização de embalagens, simula- ção de transporte e armazenagem.
.Outros	3%	.Sistemas especializados para corte de tecidos e couro na fabricação de calçados e roupas. Também utili- zado no desenho de moldes e dese- nhos de estamparia.

O uso de CAD/CAM na indústria é uma resposta efetiva à necessidade de redução de custo e aumento de qualidade. A maior parte da responsabilidade pelo custo e qualidade de um produto está no seu projeto no estágio de desenvolvimento, sob responsabilidade do engenheiro projetista. Na Figura 2.48 apresentamos a participação de cada atividade no custo de projeto.

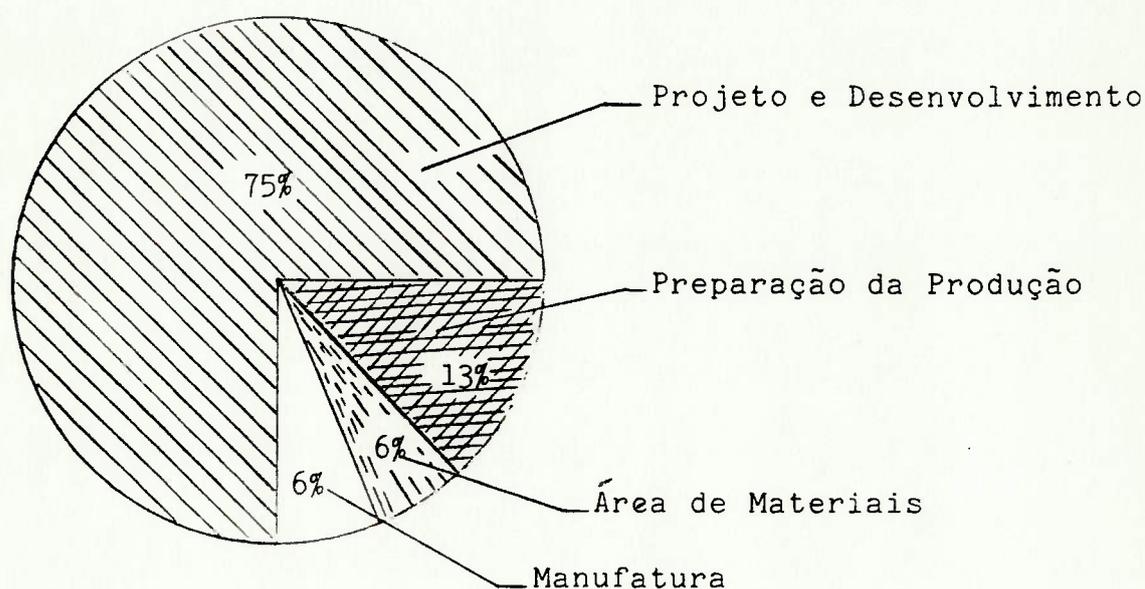


Figura 2.48 Distribuição da responsabilidade de custo.(24).

A oportunidade de se apreciarem muitas alternativas de projeto antes do produto final contribui para minimizar os erros e reduzir custos de modificação, porque essas podem ser feitas na fase de projeto e desenvolvimento, ver figura 2.49. Portanto um produto ruim é fruto de um projeto ruim.

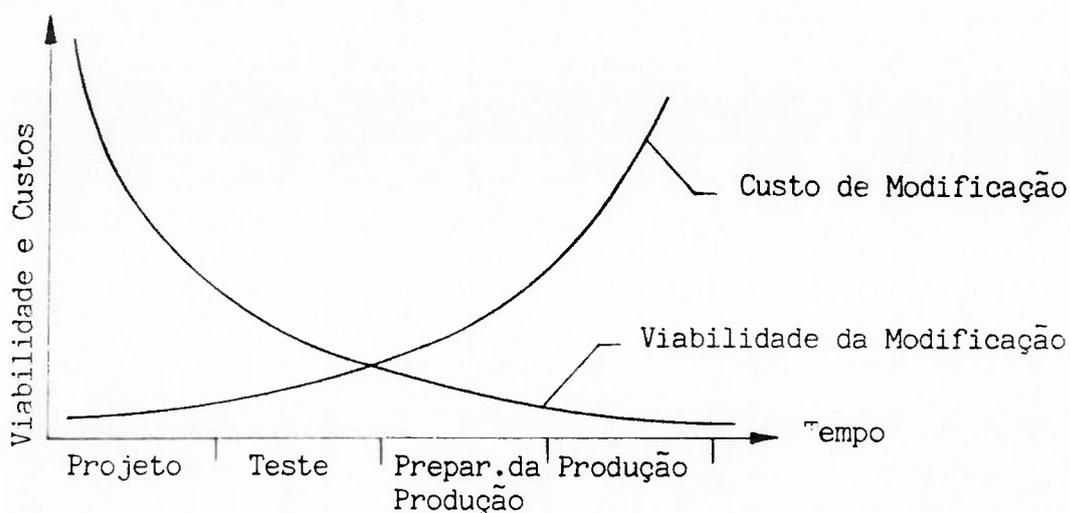


Figura 2.49 Viabilidade e custo das modificações do produto.(24).

Indústria Aeronáutica

Os sistemas CAD/CAE/CAM estão presentes nesta atividade desde a década de 60, sendo a Indústria Aeronáutica uma das responsáveis pelo desenvolvimento dos sistemas de computação gráfica interativa. Trata-se de uma indústria que apresenta problemas complexos de análise estrutural e de fabricação por se utilizar de ligas especiais e formas de superfícies esculturais. Nessa indústria destacamos as seguintes atividades:

- Projeto e fabricação de aviões, helicópteros, foguetes, satélites e desenvolvimento de fornecedores de componentes. Faz uso intensivo de CAD para desenvolvimento das formas geométricas da fusilagem e de CAM para fabricação dos perfis de seções de asas (chapelonas) e usinagem de modelos para testes aerodinâmicos.
- Pré e pós-processamento de programas de análise estrutural e fluidodinâmica. Nesta fase faz uso dos modelos geométricos nos bancos de dados para desenvolvimento das malhas de elementos finitos. Esta fase propicia altos ganhos de produtividade e significativa redução no tempo de projeto.
- Detalhamento do projeto. Uso intensivo do sistema CAD para gerar desenhos de detalhes de componentes estruturais e mecânicos. Estudos de localização de redomas de proteção a radar e antenas de comunicação. Otimização de espaço interno com alternativas

para distribuição de mobília.

- Verificação de interferências entre tubulações e cabos elétricos. Projeto de peças mais exatas com tolerâncias estreitas e baixo número de rejeições.
- Geometrias bem traçadas em desenhos limpos de acúmulo de traços e legíveis. Documentação objetiva e completa, substituição de longos trechos descritivos por imagens de alta definição. Esta atividade proporciona aos fornecedores de serviços e componentes um ganho significativo de tempo na interpretação do desenho e compreensão do projeto. Ganho global de qualidade.
- Projeto dos sistemas de energia, alimentação de combustível, caminhos dos milhares de metros de cabos e fios elétricos, esquema dos circuitos hidráulicos. Alguns sistemas possuem rotinas especiais que simulam e dimensionam aqueles circuitos.
- Estudo cinemático das peças móveis tais como "flaps" e trens de pouso.
- Estudos ergonômicos da tripulação e dos passageiros.
- O sistema CAM tem largo emprego na manufatura através da programação de máquinas CN e centros de usinagem. Peças estruturais em chapas são desenvolvidas para obtenção da forma de corte de chapas que por sua vez são posicionadas nas folhas de material para cortes que reduzem as aparas. O uso de CAD para traçados ótimos de tubos junto com CAM para programar as máquinas de corte e dobramento dos tubos reduzem significativamente o gasto de material.
- Projeto de corte e fabricação de materiais compostos através de análise de resistência e processos de fabricação.

Na figura 2.50 sugerimos uma representação esquemática do uso de banco de dados integrado nas atividades CAD/CAE/CAM, e outros usos não convencionais proporcionado pelos modelos geométricos.

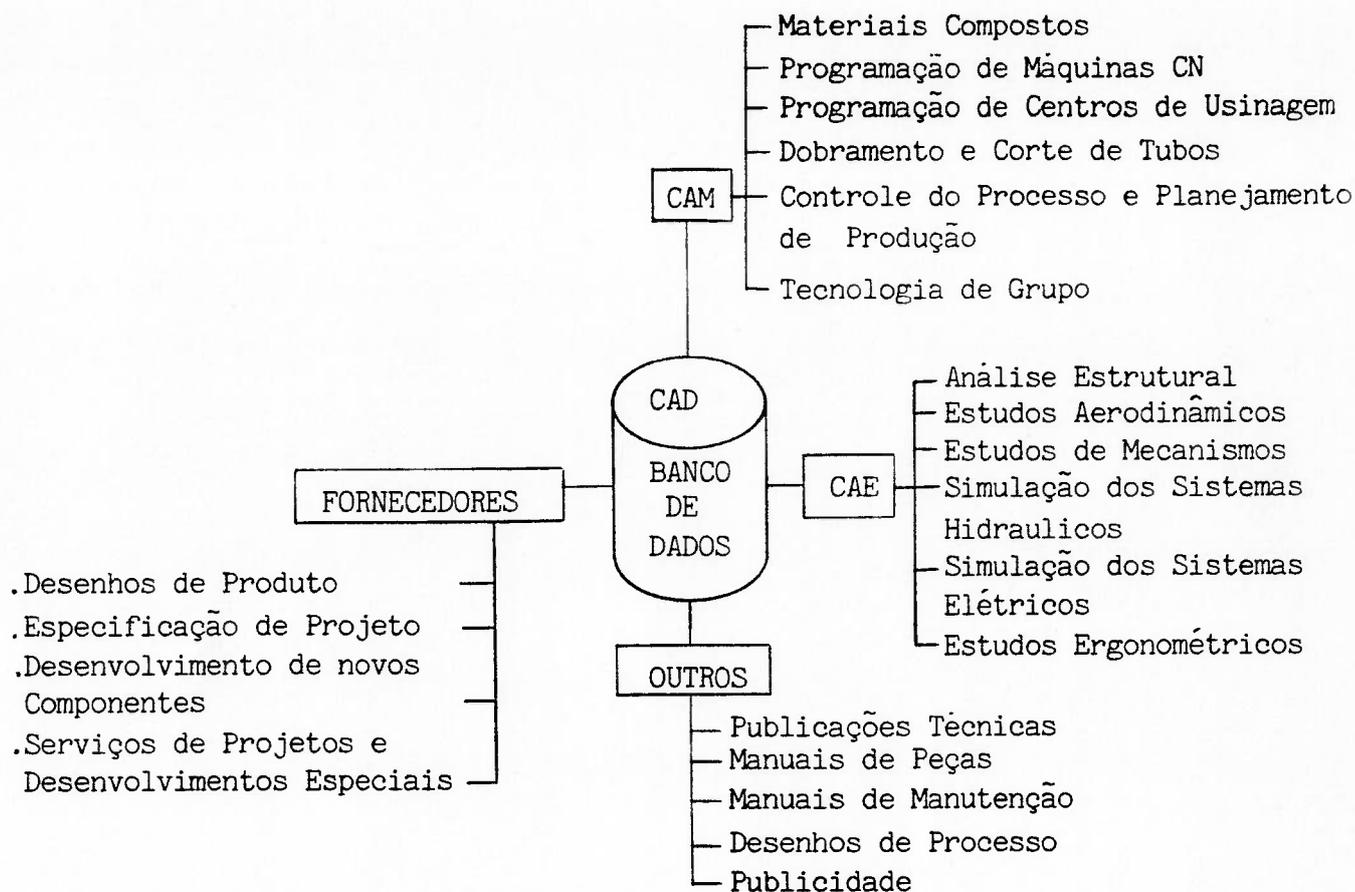


Figura 2.50 Uso de CAD/CAE/CAM na Indústria Aeronáutica.

Indústria Automotiva

A indústria automotiva, assim como a indústria aeronáutica, foi responsável pelo desenvolvimento e aplicação de CAD/CAM a partir da década de 60. Tem sido empregado com sucesso no estudo de estilo do veículo e na fabricação de ferramental. Entre todas as atividades, destacamos as seguintes:

- Projeto de carros, caminhões, ônibus, camionetas, motocicletas e furgões. Faz uso intensivo de CAD para estudo de formas do veículo e componentes estruturais e de CAM para fabricação dos componentes e criação de modelos para estudos aerodinâmicos.

- Uso de banco de dados pelos fornecedores de componentes e serviços para desenvolvimento e produção de peças, tais como pneus, vidros, faróis, sensores de combustíveis, bancos, spoilers, motores, etc.
- No desenvolvimento inicial do veículo diversas alternativas de estilo e formas são apresentadas sob o efeito de cores e iluminação obtidos no computador. Isso permite uma escolha mais adequada da forma do carro com a conseqüente redução de protótipos. Ganho global no prazo para lançamento do veículo e redução de custos.
- Uso intensivo dos modeladores de superfícies e dos softwares de programação de máquinas CN que vão fabricar as matrizes de estampagens.
- Uso do banco de dados para pré e pós-processamento de programas de análise estrutural e cinética dos mecanismos.
- Estudos do espaço interno do veículo e de ergonomia. Análise de visibilidade para os espelhos retrovisores externo e interno. Cálculo do volume do porta-malas e tanque de combustível. Dimensionamento volumétrico de câmaras de combustão. Ganho global de qualidade, melhora competitiva do veículo.
- Na área de manufatura obtém-se ganho significativo no projeto das matrizes de estampagem porque a transposição das peças da posição do veículo para a posição do estampo consome muito tempo e mão de obra, em CAD é feita imediatamente com a combinação adequada dos comandos para rodar, rebater e mover. Ganho global no prazo do projeto.
- Na fabricação e montagem o sistema auxilia na determinação dos pontos de solda, programação de robôs de pintura e projeto dos dispositivos de fixação e ferramentas para montagem da carroceria.
- Como produto final o banco de dados fornece as ilustrações das peças em ótimo traçado para edição dos manuais de peças e serviços e produção dos desenhos para programação e processo de produção. Como produto adicional, as ilustrações oferecidas

pelo sistema são largamente utilizadas em publicidade, marketing e propaganda.

Na figura 2.51 apresentamos uma representação das múltiplas utilizações do sistema CAD/CAM na indústria automobilística e na figura 2.52 temos o uso de CAD no estudo ergométrico do interior do veículo.

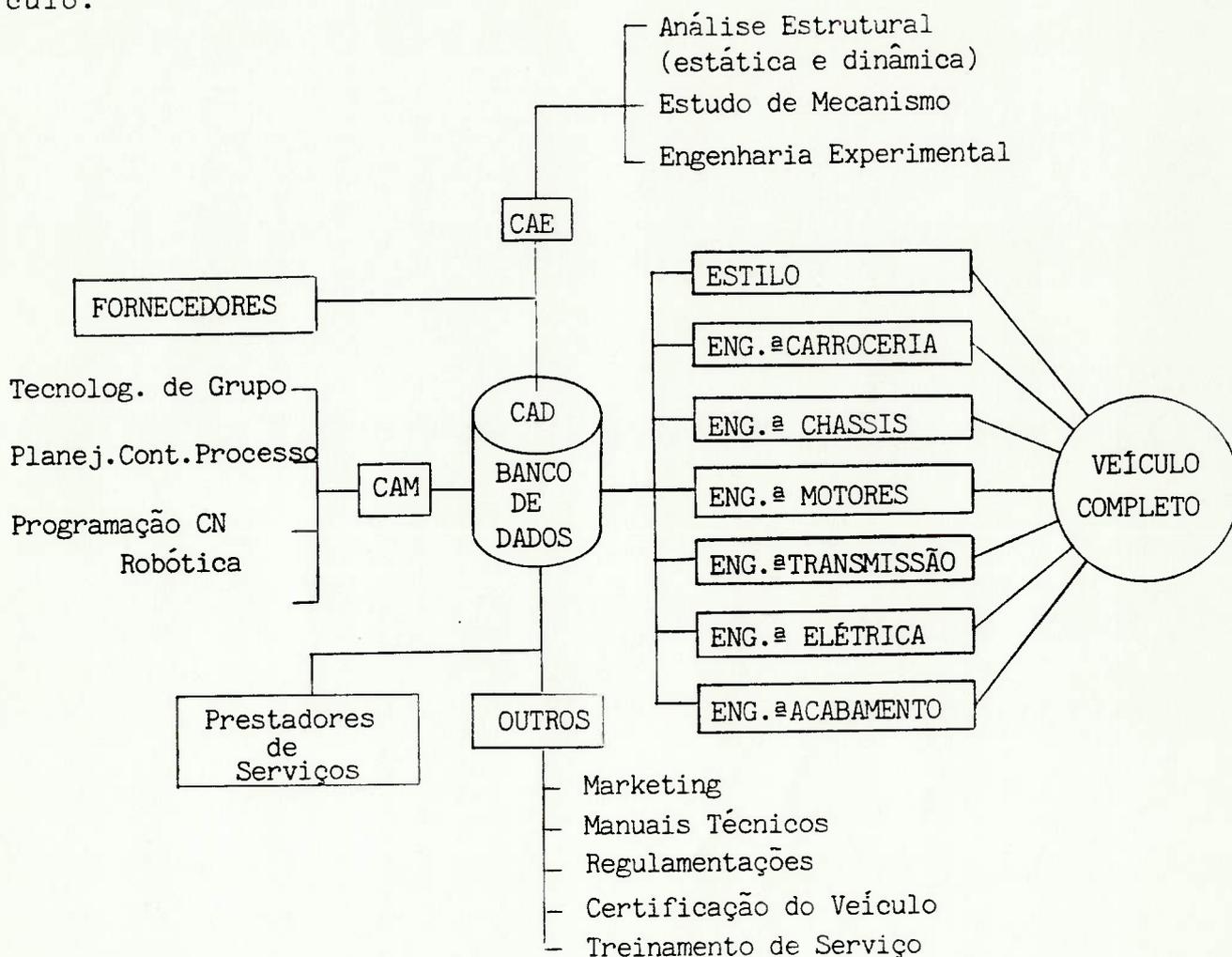


Figura 2.51 Banco de dados e seu uso múltiplo em projeto de automóveis.

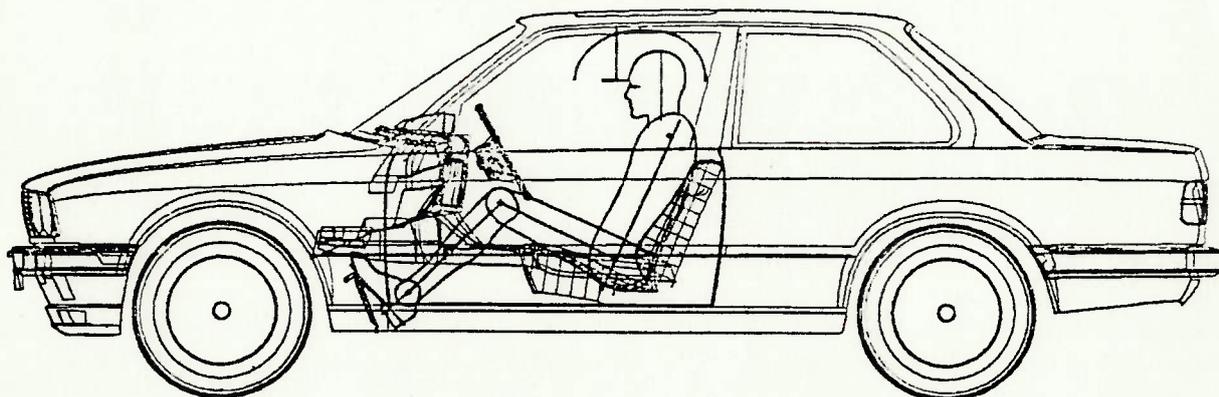


Figura 2.52 Estudo ergométrico do interior do veículo.

Indústria Naval

A procura de representações matemáticas para as curvas que definem os diversos cascos de navios sempre ocupou a mente dos projetistas navais. Mesmo antes do surgimento de CAD/CAM já haviam desenvolvimentos nessa área, Newton se ocupou desse problema em 1695 (40) com uma formulação variacional para superfícies de mínima resistência. Com o apoio de sistemas computacionais surgiram diversas formulações que são facilmente encontradas nas Transactions SNAME (39). Porém o uso de sistemas CAD/CAM na Indústria Naval vai muito além do projeto de cascos de navios, embora seja esta a atividade que resulta em maiores ganhos de produtividade, qualidade e redução de custos. Entre as muitas aplicações destacamos as seguintes:

- Projeto de cascos de navios-tanques, iates, submarinos, e navios de guerra. CAD é utilizado no projeto e desenvolvimento da fase conceitual até o detalhamento dos componentes estruturais. Na fase conceitual o casco pode ser projetado para atender às normas nacionais e internacionais de projeto e o sistema pode fornecer ainda as propriedades de massa e geométricas das seções e facilmente calcula os volumes de tanques, de lastro, carga útil, combustível, etc.
- A geometria no banco de dados é utilizada para pré e pós-processamento de programas de análise estrutural estática e dinâmica e estudos hidrodinâmicos. Com o modelo tridimensional efetua-se análise de estabilidade do modelo sob diferentes condições de carga, solicitação e danos.
- Na fase de detalhamento, CAD é usado para definir formas mais econômicas para as chapas do navio e gera o programa correspondente para seu corte de forma a aproveitar ao máximo o material. Nessa fase o CAD é utilizado para fazer o projeto detalhado dos elementos estruturais complementares (enrigeadores, travessas, cantoneiras, etc.) e para detalhamento do projeto de tubulação para circuitos hidráulicos, ventilação e água potável.

-Projeto da casa de força e layout dos componentes de propulsão e geração. O uso de elementos geométricos padronizados tais como luvas, válvulas, bombas, etc. Asseguram confiabilidade, uniformidade, produtividade na produção por redução de complexidade.

Na indústria naval, como ocorre na indústria aeronáutica e automobilística, há uma redução nos prazos de projetos com ganho de competitividade. Existe um mercado crescente de barcos para uso de lazer ou esportivo. Esses fabricantes têm nos sistemas CAD/CAM uma oportunidade de apresentar um projeto sob encomenda no prazo de um barco regular de produção. Na figura 2.53 apresentamos uma representação do uso de CAD/CAM na Indústria Naval e os múltiplos usos do banco de dados.

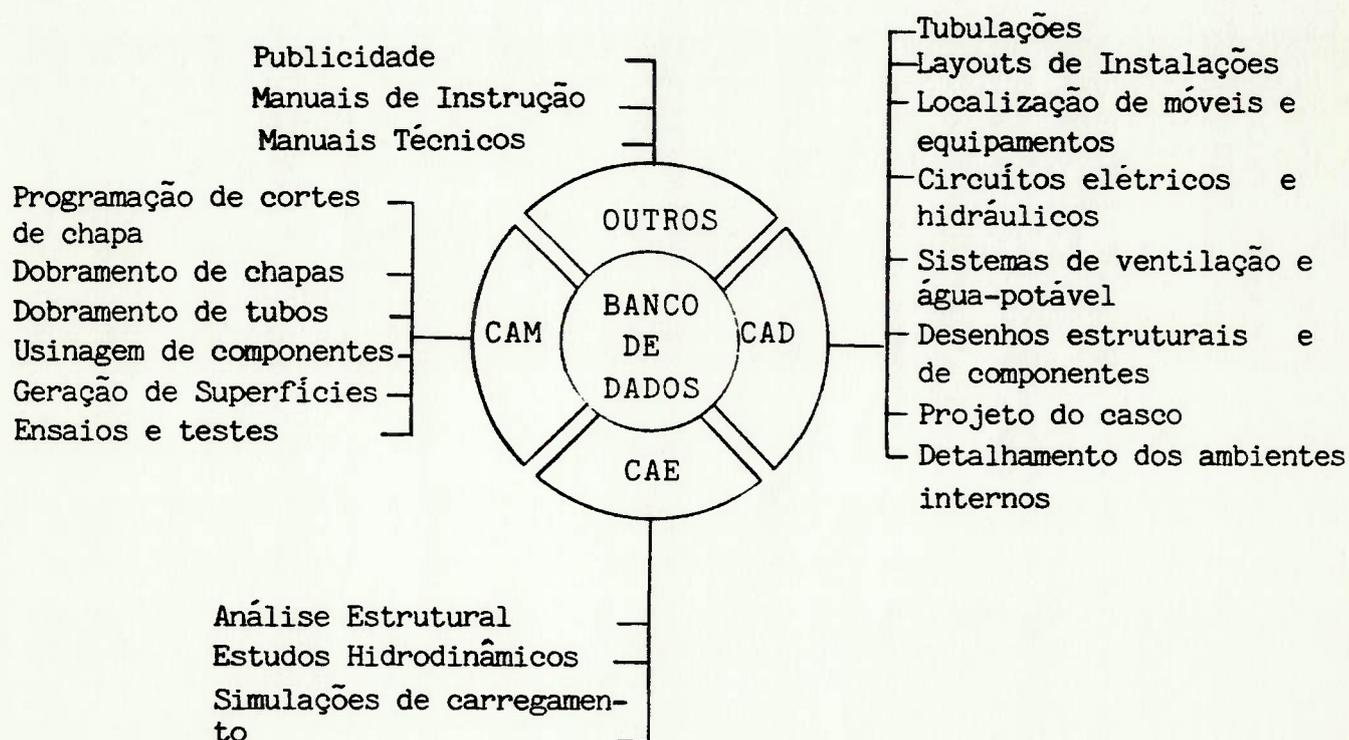


Figura 2.53 Uso de CAD/CAM na Indústria Naval.

Indústria de Plataformas Marítimas

O uso de CAD/CAM no projeto de plataformas de petróleo teve início em meados da década de 70. O projeto de plataformas marítimas apresenta grandes desafios ao engenheiro por combinar solicitações estáticas e dinâmicas permanentemente sob ação de meios corrosivos. A necessidade de localizar jazidas tem levado à exploração em águas profundas (lâminas de água de 800 até 1000 metros) que apresentam enormes desafios e vem se tornando possível com o auxílio de recursos computacionais no projeto e na operação dessas plataformas. Entre as principais aplicações de CAD/CAM podemos citar:

- Construção de modelos tridimensionais da estrutura da plataforma. Posterior uso do modelo para entrada em programas de análise estrutural que dimensionam a estrutura para atender as especificações nacionais e internacionais. As principais aplicações no detalhamento estrutural estão no desenho dos componentes estruturais tais como jaquetas, cantoneiras, tubos, etc. e depois fornecer o conjunto montado e uma lista de componentes.
- Utilização dos modelos geométricos para alimentar programas que simulam o carregamento dinâmico provocado pelas ondas. Esses dados são fundamentais para estimar a vida útil da estrutura.
- Uso do sistema CAD com programas especializados para simular o transporte da plataforma até ao local e também seu lançamento.
- O sistema CAD permite o projeto das instalações de suporte à vida tais como heliporto, casa de força, dutos de ventilação e trajeto de tubulações de água-potável. Projeto e layout de alojamentos, distribuição dos móveis e utensílios, etc.
- Verificação de interferência entre os elementos estruturais o que garante a montagem da estrutura no mar.
- O uso intensivo de elementos padronizados contribui para melhor qualidade do projeto e redução de custo. Por outro lado muitas redes de tubos contém sub-redes repetidas, que uma vez desenhadas são reutilizadas sempre que preciso, contribuindo para um

projeto em tempo menor.

- Uso de CAM permite a programação de máquinas CN para corte de chapas e dobras de tubos.

Indústria de Máquinas-Ferramentas

O uso de CAD/CAM na indústria de Máquinas-Ferramentas propicia ganhos de produtividade e redução de custo devido à padronização, permite a redução no prazo dos projetos pela reutilização de peças comuns a todas as máquinas. O custo e projeto de novas máquinas são facilitados pelo uso do banco de dados. Entre os principais usos de CAD/CAM na indústria de máquinas-ferramentas podemos citar:

- Desenhos de detalhes legíveis e facilmente atualizáveis para incorporar modificações de projeto. Rapidez na produção de novas peças tais como um novo porta-ferramenta, por fazer uso de peças similares no banco de dados.
- CAD/CAM é utilizado para correção de engrenagens e projeto das caixas de velocidades das máquinas operatizes. Permite também o projeto e dimensionamento de novas engrenagens (helicoidais ou retas) com número de dentes e material adequados.
- Simulações cinemáticas são executadas no sistema para garantir que não haverá interferência entre as peças móveis.
- Produção de desenhos de montagem, diagramas elétricos, desenhos de painéis de comando.
- Geração de desenhos em vistas explodidas tanto de conjuntos mecânicos como de sistemas elétricos para publicações técnicas. Esses desenhos também auxiliam no projeto de ferramentas e dispositivos de fixação para manufatura e na programação de máquinas CN para usinagem dos componentes e no planejamento do processo de fabricação.
- Projeto e dimensionamento de novas ferramentas e apresentação de propostas comerciais.

Indústria de Calçados

CAD/CAM é utilizado em vários estágios de projeto e na engenharia de processo de fabricação. No estágio mercadológico, os sapatos podem ser projetados na tela do terminal e fotografados em diferentes cores, em diferentes ângulos e sob diferentes condições de iluminação. As fotografias podem ser usadas para testar a reação do consumidor sem investimento de fabricação de protótipos. Esse mesmo recurso é utilizado na indústria automobilística. Os principais usos de CAD/CAM na indústria de calçados são:

- Desenhos de formas de sapatos que são feitas pela composição de superfícies esculturais e utilização do modelo para gerar as trajetórias da ferramenta na programação de máquinas CN.
- Desenho de superfície superior do sapato e sua posterior planificação para corte do couro. O mesmo se dá com a lateral e com a palmilha. Todas as formas são cortadas com máquinas de jato de água ou laser que são programadas pelos recursos de CAM para maior aproveitamento possível do couro.
- Geralmente o desenhista faz apenas um modelo de determinado tamanho. Os demais tamanhos são obtidos com recursos do sistema CAD através da técnica chamada gradação.
- CAD é usado no desenho de botas e também nos desenhos decorativos.

Na indústria de calçados já se encontram sistemas especialistas que, através de recursos pré-existentes e um software interativo familiar ao estilista de calçados, proporciona grande economia de material e redução do prazo de lançamento de novos modelos.

Concessionárias de Energia e Fabricantes de Equipamentos

CAD/CAM tem sido utilizado nessa atividade a partir da década de 70 para projeto e especificação de componentes tais como bombas, compressores e turbinas. Uma das razões para cedo começar a se

utilizar de CAD/CAM nessas áreas é a definição estritamente matemática de alguns dos equipamentos, como pás de turbina, por exemplo. As especificações do equipamento são estabelecidas pelo usuário e frequentemente necessitam de trabalho manual para o projeto final, o que leva tempo e está sujeito a imperfeições. Entre as aplicações principais de CAD/CAM na área destacamos:

- Uso dos modelos estruturais para análise de tensões e deformações.
- Utilização de elementos de biblioteca o que auxilia na padronização
- Projeto de pás de turbinas e programação de máquinas CN para usinagem. Trata-se de usinagem em máquinas 5 eixos.
- Projeto de layout de tubulações e protetores de painéis.
- Verificação de interferências entre peças.

As concessionárias utilizam sistemas especialistas para projeto de redes e localização de chaves de proteção, ao mesmo tempo fazem mapeamento dos logradouros públicos.

Indústria Têxtil

CAD/CAM é utilizado no desenho de roupas, na otimização do processo de corte de tecido para garantir que a menor quantidade possível de material seja desperdiçada, e para produzir os programas para comandar os sistemas de corte de tecidos, normalmente são máquinas de corte por jato-de-água em alta pressão, corte a laser ou facas mecânicas. Os recursos gráficos de CAD no traçado de curvas B-splines permite que os estilistas produzam variadas estampas e padronagens. O CAD permite também o controle de costuras decorativas e na preparação dos programas de controle dos teares. O sistema CAD/CAM tem sido utilizado com os recursos de CAD para criar bordados e as facilidades do CAM para programar as máquinas bordadeiras.

Indústria de Eletrodomésticos

Na sociedade de consumo atual, eletrodomésticos (aspiradores, lavadoras, televisores, barbeadores, secadores de cabelo, etc.), estão sofrendo constantes aperfeiçoamentos a fim de atender as necessidades de mercado bastante competitivo. O uso de CAD/CAM permite reduzir drasticamente o prazo para lançamento de novos produtos o que representa uma vantagem competitiva para novos ganhos de participação no mercado. Por outro lado, o uso de plástico injetado e moldado tem crescido muito nessa atividade, sendo assim, o uso de CAM no projeto de ferramentas de injeção desempenha um papel de destaque na atividade de fabricação. CAD/CAM apresenta ganhos significativos nessa atividade nas seguintes aplicações.

- .Projeto e detalhamento de produtos
- .Modelos geométricos para uso em publicidade
- .Publicação técnica e material promocional
- .Cálculo de injeção de plástico (velocidade e temperatura)
- .Fabricação de ferramentas de injeção
- .Otimização de material
- .Modelos geométricos para estilo, apresentação e decoração do produto. Propostas de cores.

Indústria de Embalagem

CAD/CAM é utilizado para fabricação de vários tipos de embalagens em vidro, plástico ou papelão, tais como xampus, garrafas de detergentes, caixas de sabão, yogurtes etc. Devido à necessidade de apresentar produtos atraentes, numa combinação de maior espaço interno, maior área externa e menor quantidade de material, o projeto de embalagens requer técnicas de engenharia e projeto bastante sofisticadas; por exemplo, a embalagem de yogurte deve ter máximo volume interno, menor área externa e uma forma que minimize a troca de calor.

Assim o uso de CAD/CAM apresenta grandes possibilidades porque pode ser usado para explorar novas formas de embalagens e ao mesmo tempo programar as máquinas para fabricação. No estágio conceitual, CAD é utilizado para criar várias geometrias possíveis. Os recursos de sombreamento e intensidade de luz e de cor serão utilizados para mostrar como um determinado projeto vai aparecer na prateleira da loja. A informação geométrica é usada para cálculo de volume interno do recipiente, para cálculo do peso com e sem conteúdo. O modelo em CAD vai servir para uma análise estrutural do recipiente para tratar sua resistência ao tipo de impacto que ele eventualmente possa sofrer. O sistema CAD permite também avaliar quantas caixas que contém esses produtos podem ser empilhadas.

Indústria de Máquinas e Equipamentos

A indústria de máquinas e equipamentos tem uma vasta gama de clientes que vão de fabricantes de papel a máquinas de empacotamento. A grande vantagem de CAD/CAM nessa indústria é a reutilização de projetos de máquinas muito similares embora para finalidades diferentes. Entre as principais aplicações temos:

- Uso de biblioteca de elementos padronizados
- Uso de elementos parametrizados
- Estudo de cinemática de mecanismos
- Produção de desenhos de montagem e manuais técnicos com as vistas explodidas tanto de conjunto mecânico como de sistemas elétricos, incluindo painéis de controle.

Indústria Eletromecânica

Componentes eletromecânicos são usados em um grande número de indústrias. Esses componentes incluem tomadas macho-fêmea, interruptores, transdutores, chaves, seletores, instrumentos de medição, painéis de controle do processo, periféricos de computador tais

como unidades de discos e plotadores. Em muitos casos, os equipamentos são caracterizados por pequenas dimensões, alta qualidade e alta precisão. Podem haver também muitas partes móveis que devem se ajustar precisamente e todo o conjunto deve ter uma estreita tolerância resultante. Com todas essas restrições o sistema CAD/CAM torna-se indispensável para projeto. Entre as principais vantagens de CAD/CAM nessa área podemos citar:

- Uso de biblioteca de elementos padronizados. Reduz custo, complexidade e aumenta a qualidade.
- Modelos geométricos são utilizados para pré e pós processamento em programas de análise estrutural e análise de mecanismos.
- Produção de desenhos de detalhes com alta definição.
- Visualização na tela de funcionamento do mecanismo e aparência das peças.
- Desenhos de montagem e folhas de processo
- Sistema CAM para programação de máquinas para fabricação de moldes de injeção.

A indústria eletromecânica utiliza-se de sistemas específicos na área de circuitos elétricos, para cálculo de tensões e correntes de saída em vários pontos. Normalmente essas empresas tem necessidade de desenvolver softwares específicos de acordo com o tipo de equipamento fabricado, como por exemplo o fabricante de interruptores que pode desenvolver um software específico para desenhar o conjunto parametrizado para um, dois ou quatro interruptores no mesmo espelho ou um programa para desenhar interruptor e tomada juntos.

2.5 - Transferências de dados entre Diferentes Sistemas

Nesta seção trataremos apenas da necessidade de troca de dados entre sistemas. O estudo completo passa pela análise de dados de cada sistema e avaliação das normas para interfaces gráficas hoje existentes tais como GKS, PHIGS, CORE, NAPLS.

A nossa proposta é analisar a troca de dados entre sistemas do ponto de vista do usuário. Evitamos propositadamente comentar sobre apenas um tradutor para que nossas considerações não ficassem desatualizadas em função da rápida evolução no setor de software. Recomendamos TORI (4), ENCARNAÇÃO (24), CUNHA (34) e MAGALHÃES (35) para um estudo das normas de padronização para computação gráfica.

Os sistemas CAD/CAM atualmente são utilizados em praticamente todos os setores do desenvolvimento do produto, o que tem resultado em aumento da qualidade do produto, redução de custo e prazos mais curtos para desenvolvimento de novos lançamentos.

Um ganho de produtividade considerável é conseguido através do uso integrado dos sistemas CAD/CAM quando o banco de dados criado na fase de projeto permite múltiplos acessos. Essa vantagem tem sido largamente utilizada pela indústria conforme se depreende da seção 2.4. Entretanto muitas empresas gostariam de enviar seus dados diretamente a fornecedores e vice-versa, ou mesmo para outras empresas do mesmo grupo. Aqui esbarramos com a diversidade de sistemas espalhados pelas empresas.

A princípio, cada fabricante de sistema CAD/CAM desenvolvia seu software sem preocupação com a compatibilidade com outros sistemas; pelo contrário, isso era uma estratégia de marketing para obter um usuário cativo, potencial mercado para futuros lançamentos. Essa política, que a princípio se mostrou efetiva para rápida expansão da base instalada, mostrou-se uma bomba de efeito retardado. Muitos sistemas não eram compatíveis nem com suas versões mais atualizadas. Milhares de horas de trabalho estavam em risco de não mais serem utilizadas como banco de dados. Aos poucos a consciência de padronização foi evoluindo dando origem às normas já citadas.

O problema de troca de dados entre diferentes sistemas mostrou-se de tal forma importante que surgiram nos EEUU empresas especializadas em desenvolver programas exclusivos para tradução direta entre diferentes sistemas. Porém o número de tradutores diretos cresce geométricamente com o número de sistemas, ver figura 2.54 Também a atualização dos tradutores para novas versões do mesmo software representava custos adicionais e uma eterna dependência.

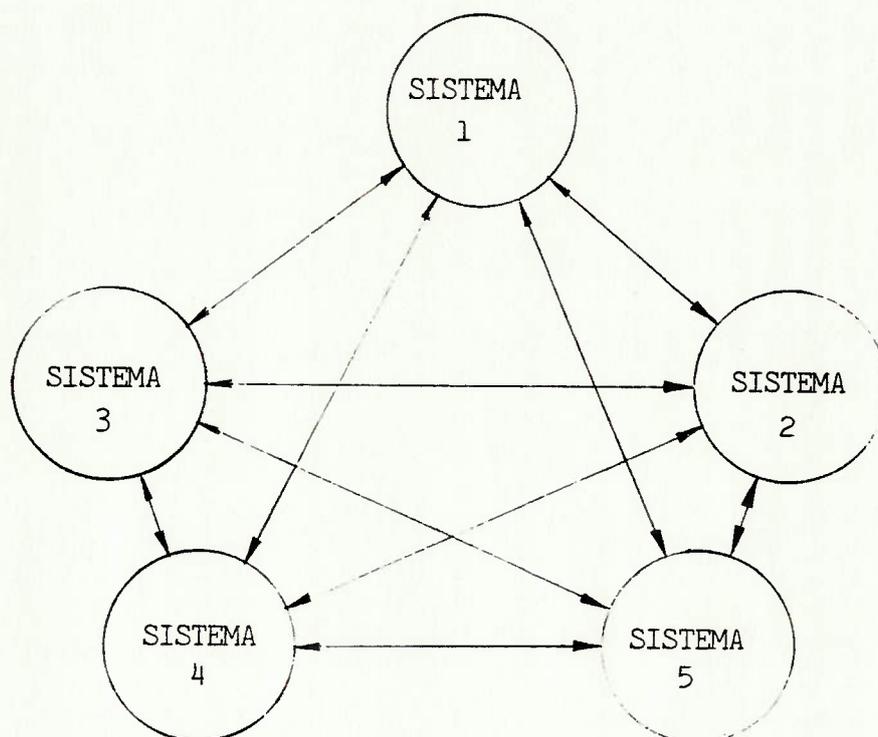


Figura 2.54 Tradutores diretos. Troca de informações entre diferentes sistemas.

Surgiu então a idéia de arquivo neutro. O primeiro projeto de arquivo neutro para troca de dados entre diferentes sistemas foi o IGES, com o suporte do Governo Americano. Com o uso do arquivo neutro para transferência resolveu-se parcialmente o problema e acrescentaram-se novas dificuldades. Na figura 2.55 apresentamos o esquema de troca de informações com o arquivo neutro.

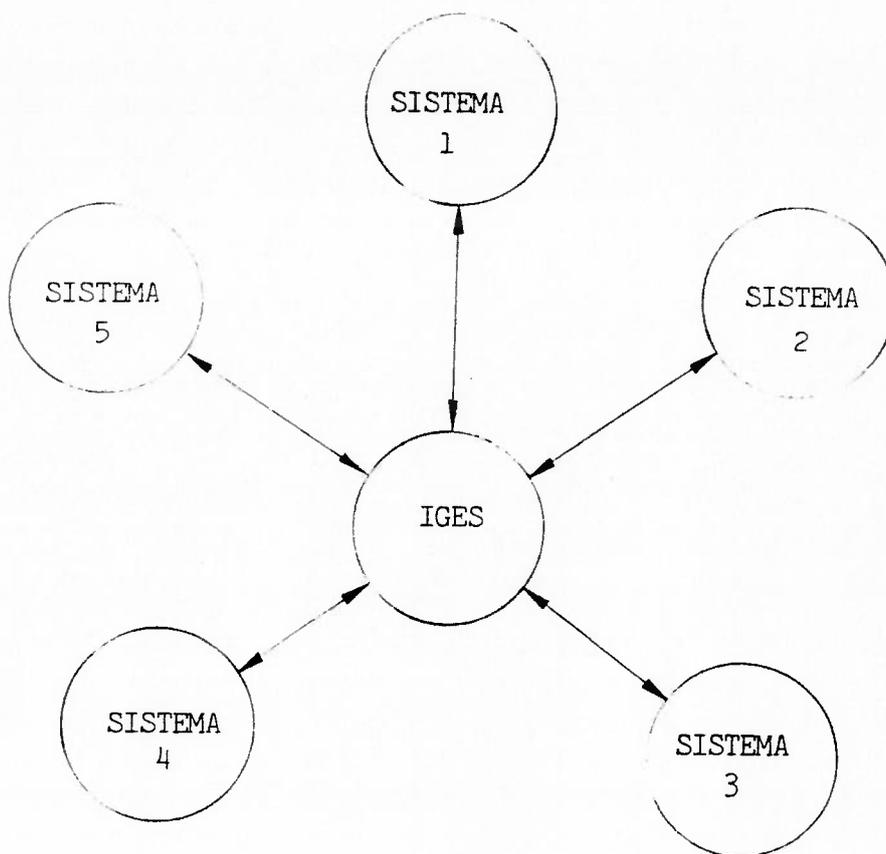
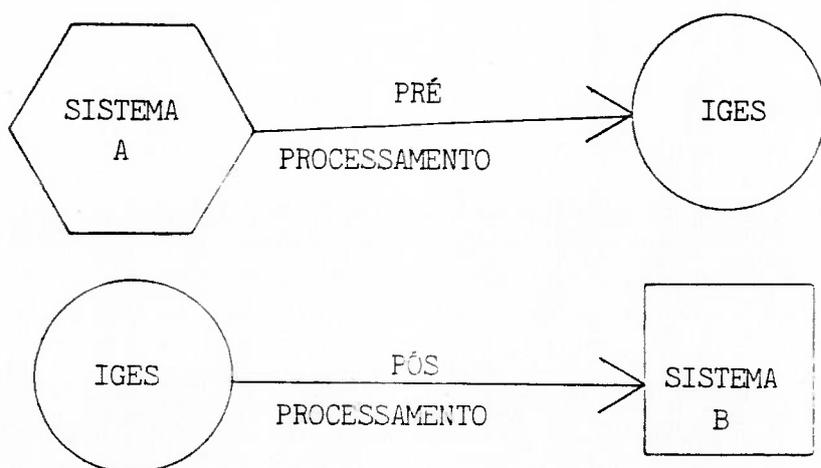


Figura 2.55 Tradutor Universal - IGES

Neste caso, cada sistema usaria apenas dois tradutores: um de ida e outro de volta, conforme mostrado na figura 2.56.



PRÉ-PROCESSADOR: TRADUZ DE UM SISTEMA CAD PARA IGES
PÓS-PROCESSADOR: TRADUZ DE IGES PARA UM SISTEMA CAD

Figura 2.56 Tradutores de ida e volta entre os diferentes sistemas

A título de ilustração apresentamos algumas características do IGES:

- .Initial Graphics Exchange Specification*
- .Documento descritivo sobre o que deve conter o arquivo de dados no formato neutro.
- .Baseia-se no conceito de entidades geométricas
- .Apresenta-se nos seguintes formatos:
 1. ASC II com registros de 80 caracteres (mais utilizados)
 2. ASC II comprimido
 3. Binário
- .As entidades IGES classificam-se em:
 - Entidades Geométricas. Definem um objeto, por exemplo, linhas, círculos, superfícies.
 - Entidades de Anotação. Auxiliam na visualização e na documentação do objeto, por exemplo, dimensionamento, notas de textos, nome de peças, etc.
 - Entidades Estruturais. Combinam outras entidades para facilitar descrições; por exemplo, células e sub-figuras.

No uso de tradutores constata-se que a maioria das transferências completa-se com perdas e que o índice de sucesso depende basicamente das entidades a serem convertidas e da procedência dos conversores IGES utilizados.

Necessidade de transferência de dados

A transferência de dados entre os diferentes setores da empresa é decorrente da própria natureza do sistema CAD/CAM integrado que se materializa através do intercâmbio entre:

- .diferentes setores de projeto (Eng.^a de Carroceria, Estilo, Chassis, etc.)
- .projeto, preparação da produção e manufatura
- .fornecedores e outras fábricas do grupo

*Especificação inicial para intercâmbio gráfico.

.diferentes sistemas CAD/CAM e

.diferentes versões de software do sistema CAD/CAM

No sistema tradicional, o intercâmbio de informação basicamente se utiliza de desenhos técnicos reproduzidos em papel heliográfico ou em outros meios físicos; de listas de materiais e modelos físicos. O tempo e custo envolvidos na manipulação desses meios físicos faz com que o auxílio de sistemas computacionais para troca de dados se torne necessário para uma troca mais eficiente e rápida, ver figura 2.57.

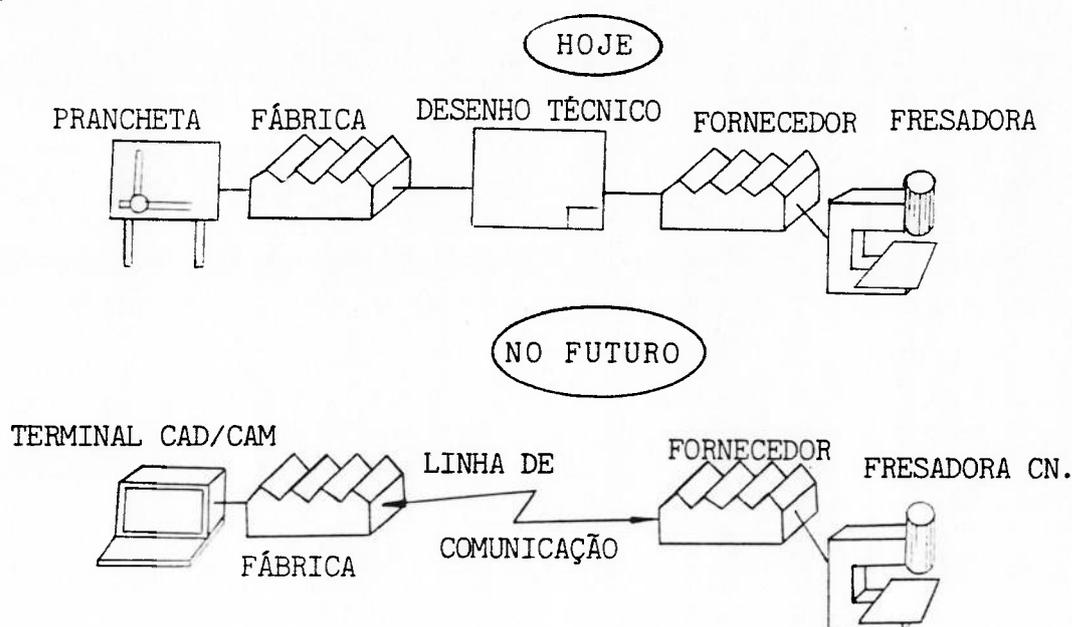


Figura 2.57 Transformação na comunicação técnica com advento de CAD/CAM (24).

Os benefícios resultantes do intercâmbio de dados através de recursos computacionais podem ser resumidos em:

- redução global de prazos
- minimização de erros
- melhor acesso à informação
- redução do trabalho repetitivo
- redução de custos administrativos
- disponibilidade de peças padronizadas

Requisitos do software para transferência de dados

Os diferentes desempenhos e recursos dos programas e diversos tipos de aplicações dos vários sistemas CAD/CAM definem as características da interface de transferência. Surgem problemas por exemplo, quando tentamos receber elementos de volume no sistema criado para trabalhar somente em ambiente 2D, Por isso, algumas condições devem ser impostas para definição de uma interface (24):

- Cada sistema CAD/CAM deve ser capaz de criar e receber todos os dados dos seus elementos no formato de transferência a ser definido.
- Os dados no arquivo de transferência devem ser preparados de forma que cada sistema possa extrair a máxima informação. Exemplo: se, na transmissão do sistema A, a linha L_1 for definida como a intersecção entre os planos E_1 e E_2 , então o sistema B, que não tem a função de intersecção, deve ainda ser capaz de receber a linha L_1 com seu ponto P_1 e extremidade P_2 . (Ver figura 2.58.

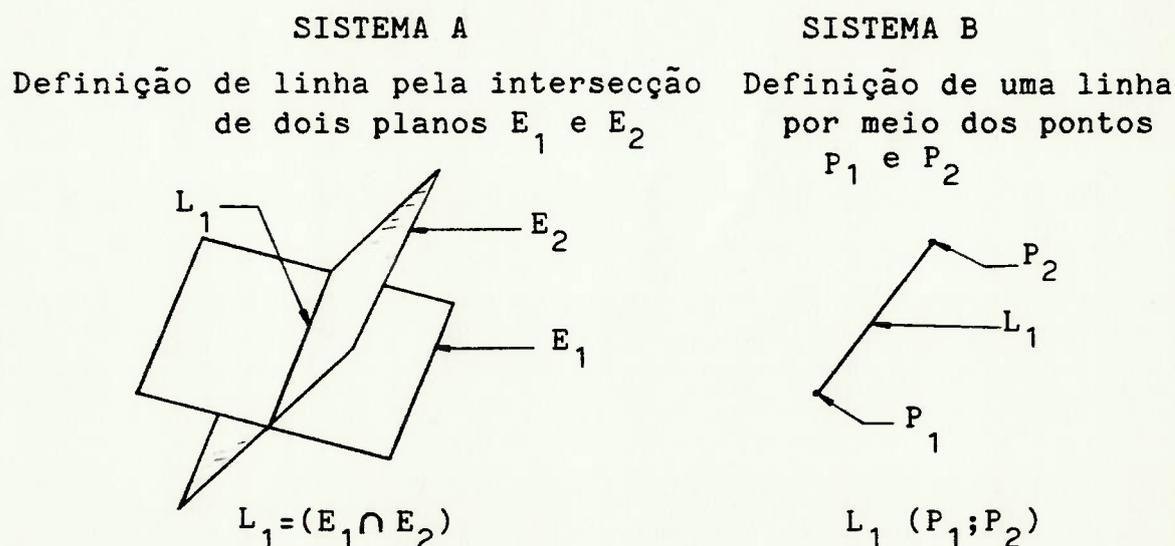


Figura 2.58 Exemplo de transferência de linhas (24).

- O usuário deve ser capaz de controlar o processamento durante a geração ou interpretação dos dados transferidos. Por exemplo, vamos analisar a transferência de uma dimensão angular e suas exi-

gências. Se as dimensões angulares criadas no sistema A (norma DIN) estão para ser transferidas, via um formato de intercâmbio, para o sistema B (norma ANSI), então o usuário deve ser capaz de escolher como as dimensões devem ser arquivadas no sistema B. Se o usuário escolher funcionalidade, então ele pode continuar a lidar com as dimensões como dimensões angulares. Se ele decidir por escolher a norma de representação então o sistema pode perder o sentido de dimensão angular.

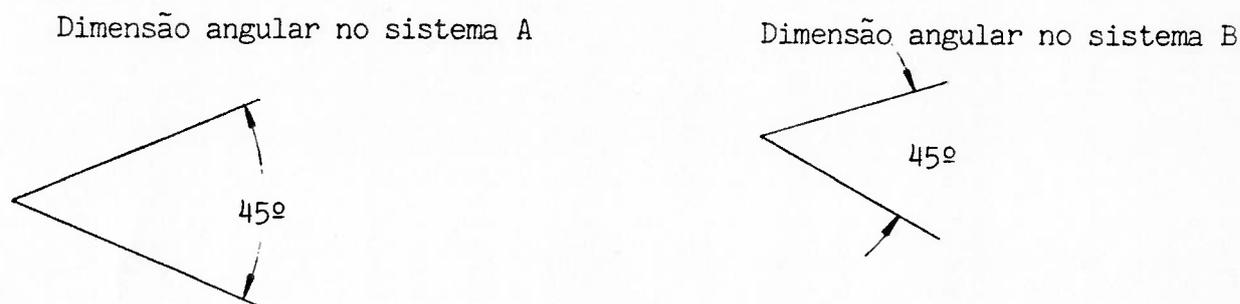


Figura 2.59 Exemplo de transferência de anotações.

- É necessário garantir que o usuário receba informação específica do processador indicando, não somente o conteúdo dos dados, mas também os erros possíveis no arquivo de transferência.
- Quando usar processadores atualmente disponíveis, a não especificação da capacidade do tradutor conduz a problemas. Nas aplicações práticas, o desempenho dos pré e pós-processadores dos fabricantes de sistemas CAD/CAM desvia bastante da norma, e somente um número reduzido de elementos definidos em normas são garantidos.

Utilização dos Softwares de Transferências

É inevitável que o usuário de CAD/CAM se depare um dia com a necessidade de transferência de dados. Principalmente com o conceito de sistemas distribuídos onde softwares em micro ou super-micros são acessíveis para qualquer empresa. Existem diversos tradutores em uso, os mais importantes são os seguintes:

- IGES. Arquivo neutro, projetado para transferência de dados de modelos em fio-de-arame, em evolução.
- VDAFS. Desenvolvido pela associação dos fabricantes de veículos alemães. É destinado à transferência de superfícies esculturais.
- DXF. Padrão utilizado pelo AUTOCAD. Tornou-se padrão para os sistemas baseados em micro.

Para realizar uma conversão com sucesso deve-se saber exatamente a qualidade e quantidade do volume de dados intercambiáveis que é absolutamente essencial, porque sempre haverá perda de informação e fica a cargo do usuário aceitar ou não a conversão. Portanto, antes de utilizar a conversão de dados como rotina, alguns procedimentos devem ser desenvolvidos para assegurar a consistência da informação. Sugerimos a seguir alguns testes, que permitem ao usuário definir o nível de conversão de dados do tradutor utilizado.

- a) Teste cíclico (24). Na figura 2.60 apresentamos o teste mais simples, com o qual uma rápida visão geral das entidades suportadas pelos processadores pode ser obtida. O teste consiste no uso do tradutor para realizar a transferência de ida e volta do mesmo arquivo entre os dois sistemas. Finalmente fazemos a comparação entre os arquivos original e o reconvertido. Para uma avaliação sistemática, esse teste deverá ser repetido para cada uma das entidades suportadas pelo tradutor. A desvantagem desse teste é que não mostra se o problema, caso exista, está no pré ou no pós-processador.

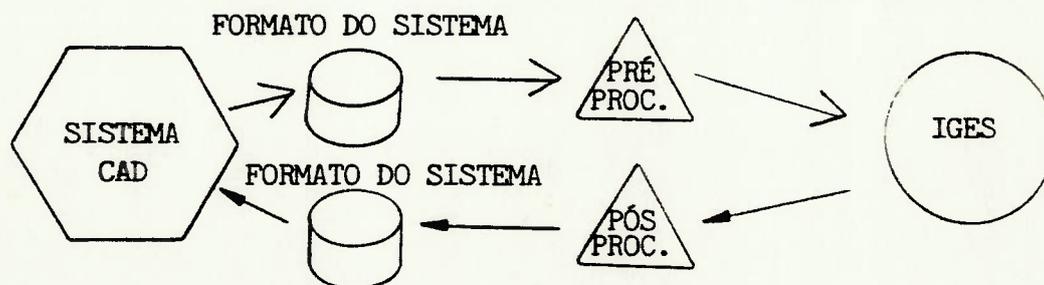


Figura 2.60 Teste cíclico de transferência.

- b) Teste de pré-processador (24). Na figura 2.61, apresentamos o esquema desse teste. Como no teste anterior, trata-se de

converter uma peça de teste em arquivo de transferência e realizar uma estatísticas das entidades convertidas e analisar a listagem de erro. Neste caso estamos avaliando somente o pré-processador. Fazer as comparações estatísticas com o arquivo original. Neste caso o usuário estabelece o critério para aceitação em relação às entidades convertidas. Por exemplo, se das quatro superfícies existentes só converteu uma, será rejeitado; embora das quarenta linhas iniciais tenha convertido todas. A desvantagem deste teste é que não verifica o pós-processador e toma muito tempo do usuário na análise estatística.

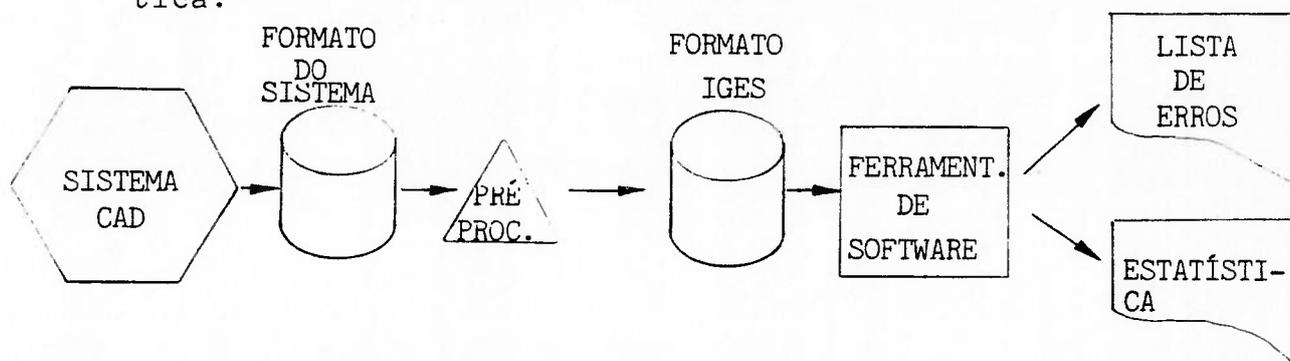


Figura 2.61 Teste inter-sistema.

c) Teste de pós-processador (24). Na figura 2.62 estamos mostrando um segundo sistema que receberá o arquivo neutro obtido no teste b) já verificado. Convertemos o arquivo de transferência no sistema B e fazemos a estatística da conversão. Em seguida comparamos com a estatística do arquivo de transferência. Novamente cabe ao usuário estabelecer os níveis de aceitação.

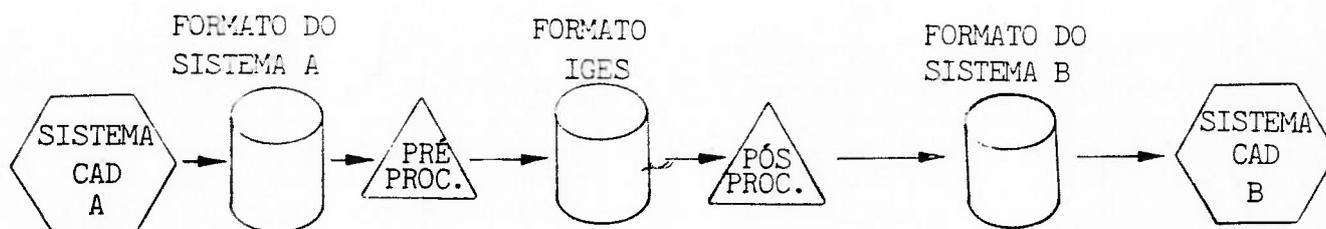


Figura 2.62 Teste de pós-processador.

Nessas avaliações não se considera custo de uso de máquina e nem tempo para conversão, pois admitimos que o tradutor, sistema A e sistema B são de propriedade do usuário. Se considerarmos o uso de empresas especializadas em conversões devemos considerar também o tempo e custo da conversão. Neste caso, pode acontecer que seja mais barato reconstruir o modelo em outro sistema, partindo dos desenhos detalhados do original, não só pelo custo envolvido, mas também porque no caso de uma transferência incompleta é arriscado utilizar um modelo sem a certeza de sua completeza e completar em CAD modelos complexos incompletos é tarefa improdutiva na maioria das vezes.

3 - MODELAMENTO GEOMÉTRICO E APLICAÇÕES

3.1. - Considerações Gerais

Em muitos projetos de engenharia é mais fácil, barato e seguro fazer experiências com modelos em vez de se avaliar diretamente um protótipo real. Existem também situações tais como estudo de reatores nucleares, avaliação de suspensão de automóveis, perfil aerodinâmico e sustentação de aviões, que o uso de modelos e simulações fornece o único meio viável para se desenvolver o produto.

O uso de modelos reais requer instrumentação sofisticada e experimentador experientes, muitas horas de ensaio, etc, e técnicas matemáticas, às vezes sofisticadas, para interpretação de resultados e correlação com a situação real. Esse conjunto de exigências torna o processo experimental e a construção de protótipos a parte mais custosa no desenvolvimento do produto. Por isso os modelos criados em computador estão conquistando espaço e permitindo uma avaliação mais econômica dos projetos em desenvolvimento.

A maior preocupação no modelamento é projetar e implementar um modelo que, pelo uso de quantidades precisas e adequadas, reflita eficientemente as propriedades do sistema. Se possível, um modelo deve sempre ser verificado contra o sistema real para permitir o seu contínuo ajustamento.

3.1.1. - Construção de modelos

Os modelos frequentemente são representados como um sistema de equações, com variáveis de entrada e de saída e parâmetros de ajustes tais como, coeficientes e expoentes. Além disso, funções especiais podem ser definidas pelo usuário, permitindo ao modelo adquirir características orientadas para um determinado propósito.

Na simulação de um sistema contínuo a entrada e a saída podem ser facilitadas por meio de comandos de controle orientados pelo usuário para preparação de um conjunto de dados para um incremen

to das variáveis independentes. Meios convenientes devem estar disponíveis para terminar a simulação com uma sequência de testes lógicos computacionais.

A evolução do modelo parte do problema real e passa por várias etapas simplificadoras, conforme representado na Figura 3.1. Em cada etapa é introduzido um erro devido às simplificações. A habilidade e conhecimento do engenheiro para reduzir esse erro é fator preponderante para o sucesso da análise.

Na utilização de sistemas CAD/CAM o usuário interage com sistemas computacionais para gerar modelos geométricos ou modelos de produtos a partir de problemas reais, em que os erros de simplificação são reduzidos ao mínimo.

O termo modelamento geométrico é o processo de construir-se um modelo no computador, que contenha todas as informações necessárias para representar a geometria da peça. O termo modelamento do produto acrescenta ao modelo geométrico informações do tipo, cor, material, peso, resistência e assim por diante, quando finalmente obtemos aquilo que se chama modelo mecânico no computador.

A criação de modelos em sistemas CAD/CAM é facilitada por se tratar de um sistema interativo, conversacional. Essa forma de operação é conseguida pela combinação de sistema operacional com equipamento para processamento em tempo real, que de fato permite ao usuário se comunicar de forma conversacional: fornecendo e requisitando novas informações, corrigindo outras e fazendo sugestões. O usuário e o computador estabelecem uma conversação do tipo pergunta e resposta, passo a passo, que auxilia o usuário na solução de um grande número de problemas.

Existem muitos problemas de engenharia e projeto que não podem ser resolvidos apenas com uma única resposta. Após estruturar o problema matematicamente, deve-se ser capaz de analisar os dados em uma sequência de iterações. A fim de se obter o melhor resultado possível, o problema é resolvido para um conjunto de condições, os resultados são estudados, então as condições são modificadas; os resultados são novamente estudados. Esse processo pode repetir-se

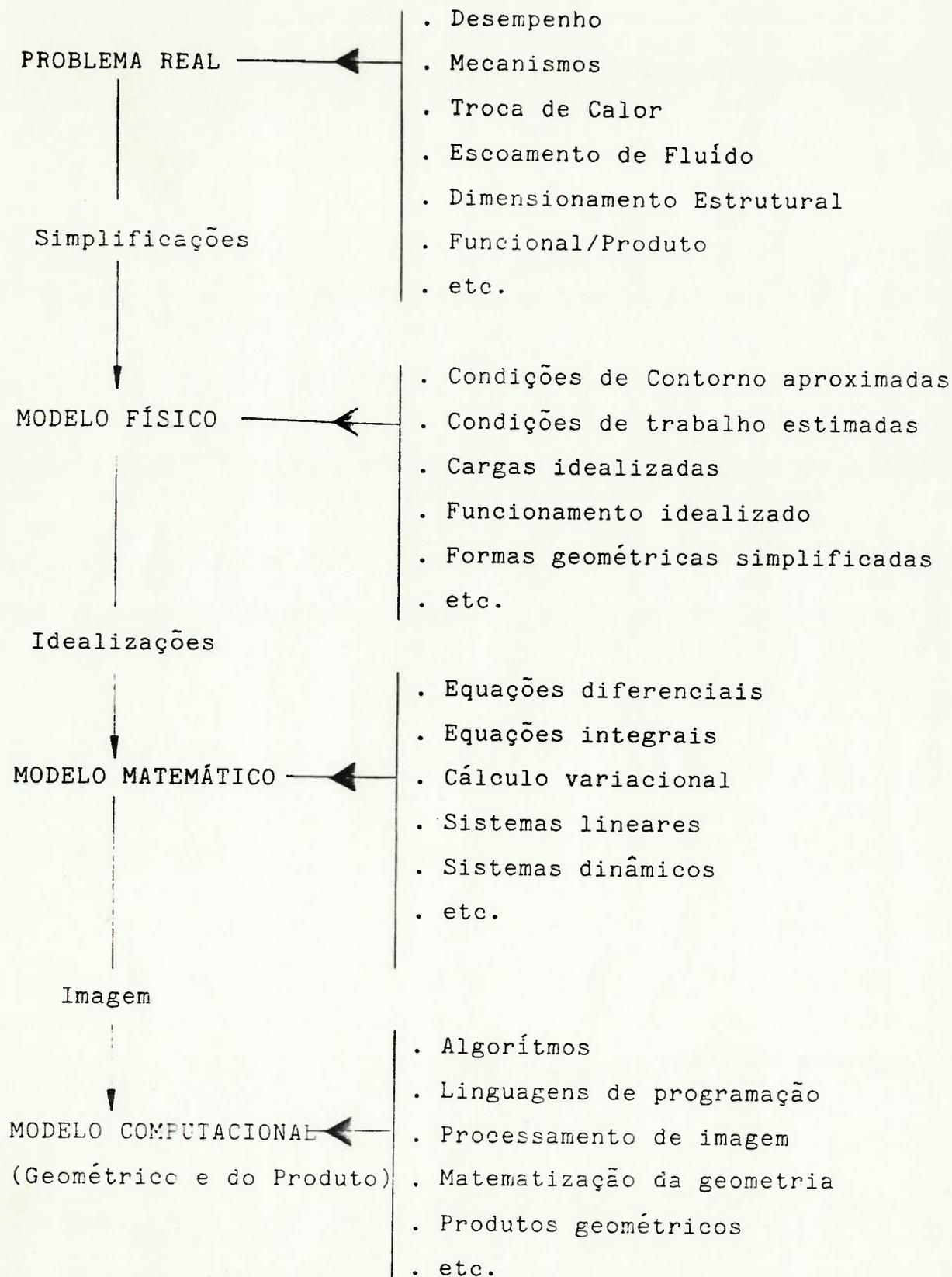


Figura 3.1 Evolução de Modelos na Engenharia.

muitas vezes antes que uma solução aceitável seja encontrada. Existem três categorias de modelos aos quais o processo conversacional se adapta exclusivamente.

1. Modelos organizacionais, inclusive estruturas burocráticas e taxionomias tais como esquema de classificação em bibliotecas e taxionomia biológica.
2. Modelos quantitativos, tais como econométricos, financeiros, demográficos, climáticos, químicos, físicos e problemas matemáticos.
3. Modelos geométricos, incluindo peças mecânicas e estruturas arquitetônicas, estruturas químicas e instalações físicas.

Os modelos não precisam ser computadorizados, mas por causa da utilidade dos modelos baseados em computador como representações de processos e objetos, estamos interessados naqueles modelos que levam a interpretação gráfica. Entre os tipos de modelos comuns para os quais a compugrafia é das mais úteis estão aqueles que têm dados geométricos intrinsecamente associados a eles. Abstrações, tais como modelos organizacionais não são orientados espacialmente, embora muitos deles possam ser representados geometricamente (ver figura 3.2).

Um modelo organizacional pode ser retratado por um organograma. Ele pode conter informação geométrica, mas a representação gráfica em particular da geometria não é exigida. A representação gráfica pode ser enriquecida com um sem número de técnicas não geométricas, tais como cor, escondimento de linhas, etc.

3.1.2. - Características do modelamento

O modelador geométrico é a parte do sistema CAD/CAM responsável por definir ou representar uma peça como modelo computacional utilizável. A qualidade do modelamento define a capacidade do sistema CAD/CAM para uma dada aplicação individual e o nível de integração entre as aplicações que podem ocorrer.

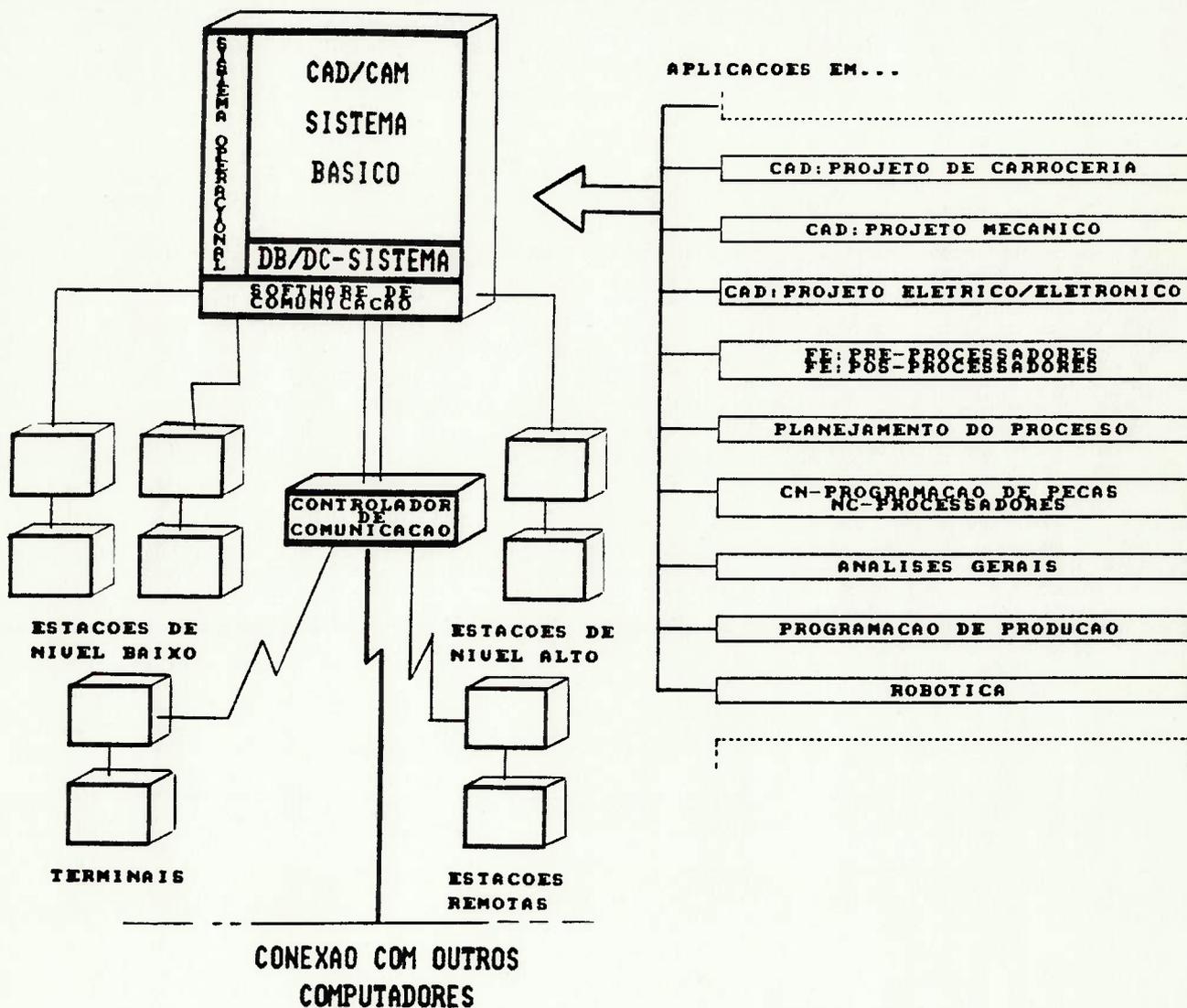


Figura 3.2 Exemplo de modelo organizacional. Aplicação de CAD/CAM na cadeia do processo de produção (24).

O modelamento geométrico está relacionado com a descrição matemática da geometria de um objeto de forma compatível com o computador. A descrição matemática permite que a imagem de um objeto seja apresentada e manipulada num terminal gráfico através de sinais da CPU para o sistema CAD. Os softwares que fornecem os recursos de modelamento devem ser desenvolvidos para uso eficiente pelo computador e pelo usuário. Para usar o modelamento geométrico o usuário constrói uma imagem gráfica do objeto na tela do terminal do siste-

ma gráfico interativo com o auxílio de três tipos de comandos:

- a) Primeiro tipo. O primeiro tipo de comando gera elementos geométricos básicos, tais como pontos, linhas, círculos, etc.
- b) Segundo tipo. O segundo tipo de comando é usado para efetuar mudanças na escala, ou seja, ampliações ou reduções; rotação em torno de eixos ou pontos pré-escolhidos; rotação, translação e outras transformações desses elementos.
- c) Terceiro tipo. O terceiro tipo de comando agrupa os vários elementos em um formato desejado do objeto que está sendo criado.

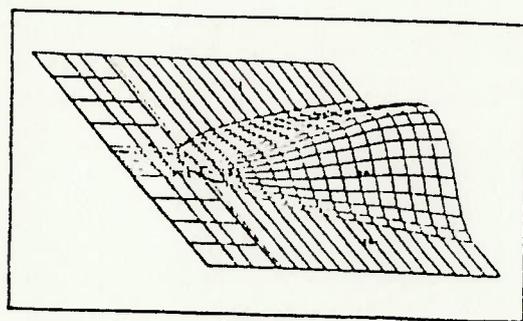
Durante o processo de modelamento geométrico, o computador converte os comandos em modelos matemáticos, armazena-os em arquivos e apresenta-os como uma imagem na tela do terminal. O modelo pode posteriormente ser chamado para revisão, análise e/ou alterações. (ver Figura 3.3).

O modelo contém diversas informações. Entre aquelas mais comuns podemos destacar:

- 1) Elementos básicos e suas inter-relações.
- 2) Esboço espacial e formato dos componentes. Isto é, suas geometrias e outras informações relacionadas à aparência, tais como, cor e sombreamento.
- 3) A conectividade dos componentes. Isto é, a estrutura ou topologia do sistema.
- 4) Os valores dos dados, tais como parâmetros elétricos ou mecânicos ou um texto descritivo.
- 5) Algoritmos para processamento, tais como aqueles usados para análise de circuitos lineares ou análise por elementos finitos de estruturas mecânicas.

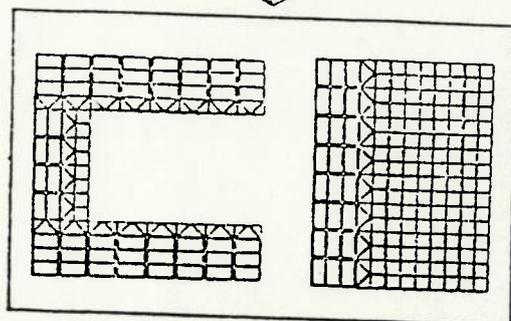
O modelo é a descrição dos componentes e dos processos que juntos especificam a estrutura e o comportamento do sistema. Em alguns casos é útil mostrar ou um, ou outro; ou ainda ambos pictoricamente. Por exemplo, nós poderíamos desejar ver um mecanismo e suas tensões

enquanto em funcionamento, ao mesmo tempo. Por isso que determinar qual a informação da estrutura e de parâmetros deve estar codificada no modelo pode envolver muitos compromissos entre a simplicidade e a utilidade do modelo e o grau de realismo requerido. Os recursos computacionais disponíveis são outra parte das considerações.



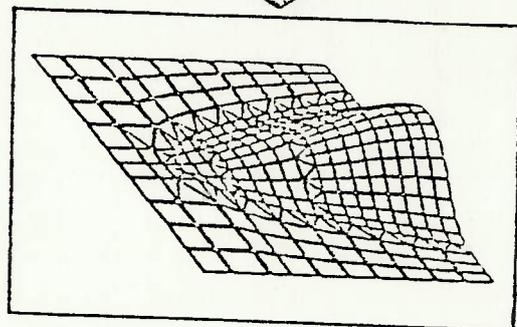
GEOMETRIA

Descrição do modelo matemático da superfície.



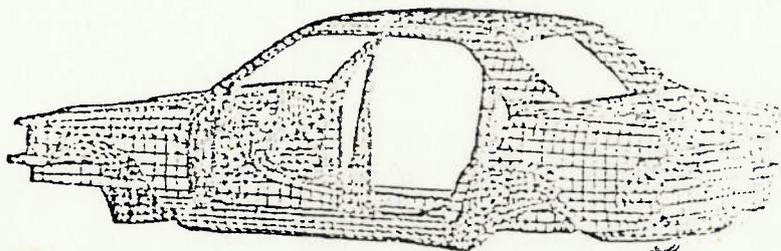
TOPOLOGIA

Distribuição de elementos finitos em nós e elementos.



ESTRUTURA-E.F.

Modelo de elementos finitos preparado para processamento.



APLICAÇÃO

Exemplo de aplicação na análise estrutural do veículo. (Elementos finitos de superfície).

Figura 3.3 Modelos computacionais permitem múltiplos usos.(24).

Existem também numerosas considerações de tempo versus espaço. Escolhas devem ser feitas em relação aos esquemas que permitam análises mais rápidas ou visualizações mais rápidas. Deve haver informação suficiente no modelo para permitir ambas: análise e visualização, mas a escolha exata das técnicas são dependentes da aplicação e consideração de hardware. Nos primeiros sistemas computacionais, a atividade de modelamento estava associada aos equipamentos para apresentação e entrada de dados; atualmente o modelamento é basicamente uma atividade de software aplicativo. Existe uma clara diferença atualmente entre a construção e modificação de modelos e seu uso. Na maioria dos programas aplicativos a maior parte do software, trata de entidades geométricas e somente 20% com sua apresentação na tela. Por isso, os sistemas CAD/CAM são muito mais de processamento de dados intensivo que processamento de imagem intensivo. Existem muitas aplicações em que a imagem em si é crítica, como por exemplo, colorir, sombrear, animação de filmes e animação de cenas para simuladores de vôo. Entretanto, CAD/CAM trata os modelos pictóricos como meios para apoiar as atividades de engenharia e construção com os quais estão relacionados.

Neste capítulo vamos tratar de modelos que envolvem grande quantidade de processamento.

Esses modelos consistem de aplicações da estrutura de dados mais uma coleção de programas e procedimentos aplicativos que definem essa estrutura. A Figura 3.4 mostra a inter-relação entre modelo, programa aplicativo e o sistema gráfico.

Os programas aplicativos podem ser agrupados em quatro classes:

- 1- Programas que constroem, modificam e mantêm o modelo pela adição, subtração, eliminação e substituição da informação nele contida.
- 2- Programas que testam o modelo a fim de extrair dele informações para apresentação ou para análises.
- 3- Programas que são utilizados em conjunto pelos programas acima para apresentar informações do modelo. Pode ser a saída

de um programa de análise, solicitação de dados e menus. Esses programas também vão tratar os dados gerados pelo usuário que conduzem ao diálogo interativo.

4- Existem também uma coleção de rotinas que não são parte do diálogo interativo, mas fazem a administração interna do sistema e o pós-processamento. Essas rotinas podem estar distribuídas pelo programa em vez de ser um módulo de programa separado.

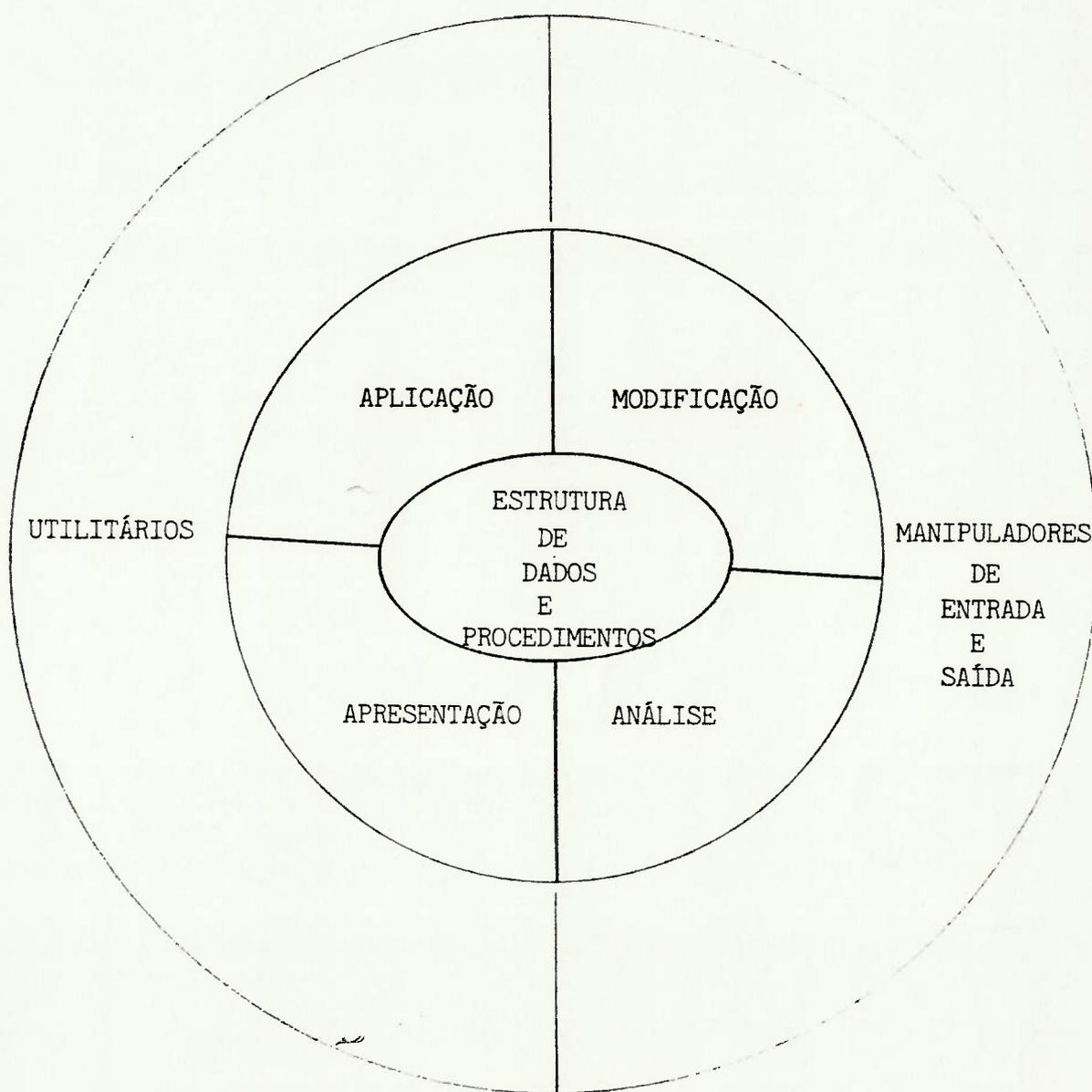


Figura 3.4 Relação do modelo, programa aplicativo e sistema gráfico.

A Figura 3.4 é uma divisão conceitual dos componentes lógicos. Os procedimentos que modificam, analisam ou mostram o modelo não são parte do modelo em si, embora nem sempre esteja claro qual parte de um programa é parte do modelo ou é externa a ele e o manipula. Pode-se argumentar que o módulo de análise de circuitos é parte da definição do modelo, porque ele descreve o modo como o circuito se comporta. Isso não é verdade se pensar-se no modelo principalmente como conjunto de dados. A mistura entre dados e procedimento será melhor explorada no restante do capítulo.

3.1.3. - Hierarquia dos Modelos

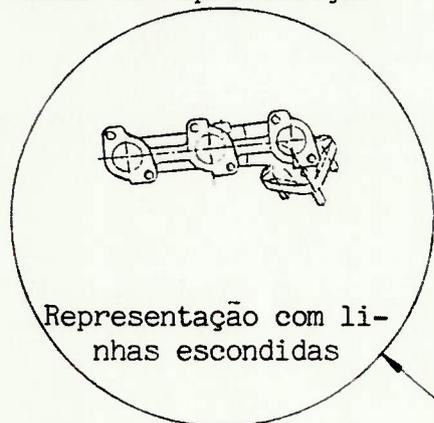
Modelos geométricos ou gráficos descrevem peças ou sistemas com geometrias a eles inerentes e os levam naturalmente a uma representação gráfica. Frequentemente possuem uma estrutura hierárquica que é construída usando-se o processo construtivo de baixo-para-cima. São usadas entidades que se associam em conjuntos, que criam unidades de alto nível, que por sua vez são usadas para construir unidades de nível mais alto ainda. Hierarquias entre objetos são comuns porque a maioria dos sistemas pode ser decomposta em partes. Em um projeto de engenharia, uma hierarquia comumente encontrada é a de montagem de conjuntos a partir dos componentes que são criados individualmente. Normalmente esses componentes são padronizados e podem ser reutilizados frequentemente. O modelo não só deve mostrar quais os componentes que fazem parte do conjunto mas também e principalmente como eles estão interconectados. Entre as vantagens da metodologia hierárquica podemos citar:

- . Um modelo complexo pode ser construído modularmente com o uso repetitivo de componentes já padronizados.
- . Uma certa economia de área de armazenamento é obtida uma vez que os componentes de uso repetitivos podem ser armazenados apenas como referências (imagens) dos objetos sem a necessidade de serem redefinidos a cada instante.

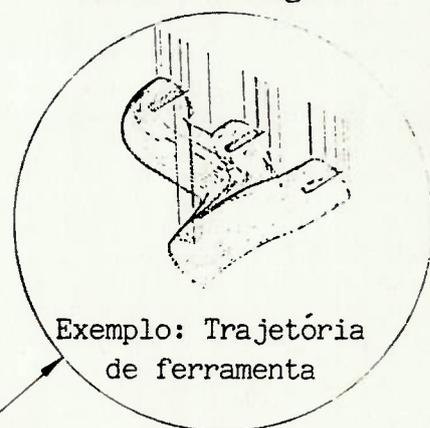
. Permite a modificação da base de dados rapidamente. Se uma modificação for feita em um componente, esta se propaga a todos os conjuntos onde ele estiver presente usando do recurso de atualização automática.

Como exemplo podemos citar um automóvel que pode ser decomposto em níveis hierárquicos com o primeiro nível contendo chassi, motor, carroceria por exemplo; e o chassi contendo rodas, suspensão, freios como segundo nível. Na Figura 3.5 apresentamos um coletor de escapamento e as informações a ele associadas. Ao modificarmos o coletor, a modificação se propaga em toda a base de dados, inclusive no modelo para controle numérico da Figura 3.6.

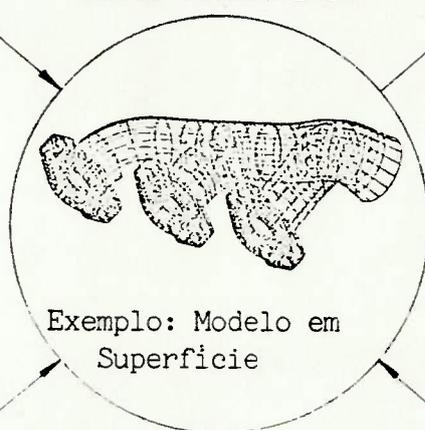
Dados de representação



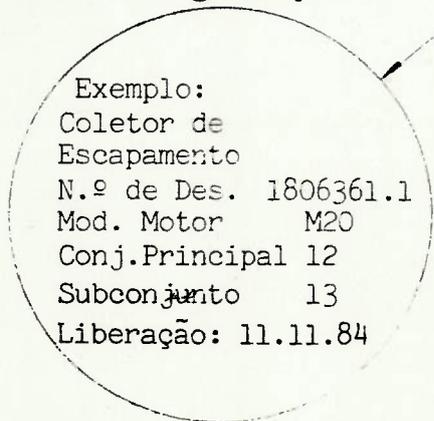
Dados tecnológicos



Dados Geométricos



Dados de Organização



Dados de Representação

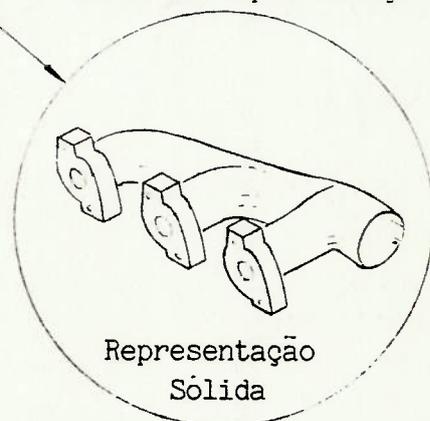


Figura 3.5 Modelo de coletor de escapamento e seus usos múltiplos.(24).

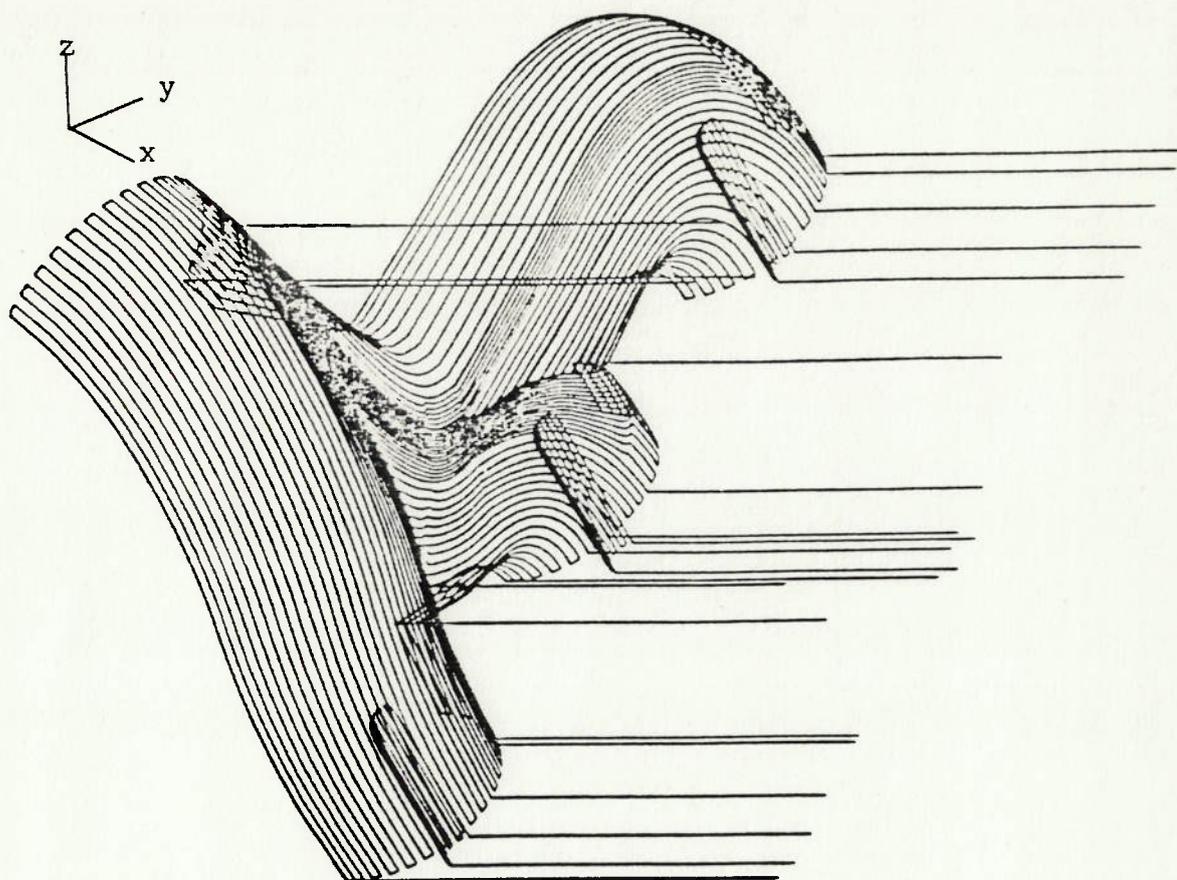


Figura 3.6 Trajetórias de ferramentas desenvolvidas em CAD/CAM sobre o modelo de coletor de escapamento (24).

3.1.4.- Métodos de Representação Gráfica

Os modeladores geométricos são classificados de acordo com a sua capacidade de gerar modelos bidimensionais ou tridimensionais conforme segue:

- a) 2D - Representação bidimensional, usado para gerar modelos planos.
- b) 2 1/2 D - Esse vai um pouco além do 2D por permitir que um objeto tridimensional seja representado, desde que não tenha detalhes laterais. Trabalha sempre com duas coordenadas de cada vez, a terceira é fixada. Conceito mais usado em programação CN.

c) 3 D - Esse possibilita uma representação totalmente tridimensional de uma geometria mais complexa.

O modelamento geométrico 2 D é somente a repetição em computador do processo convencional de desenho. Para cada vista, o modelo no computador sabe a posição das várias linhas e arcos que normalmente apareceriam em um desenho mas sem nenhuma ou pouca (2 1/2 D) conexão no modelo entre os correspondentes aspectos nas diferentes vistas. Embora tal modelador seja suficientemente adequado para algumas aplicações bidimensionais tais como circuitos elétricos, circuitos hidráulicos e outras em que só uma vista é necessária, nem sempre é adequado para a engenharia do produto e de manufatura, onde os objetos modelados são frequentemente tridimensionais de fato. (Ver figura 3.7).

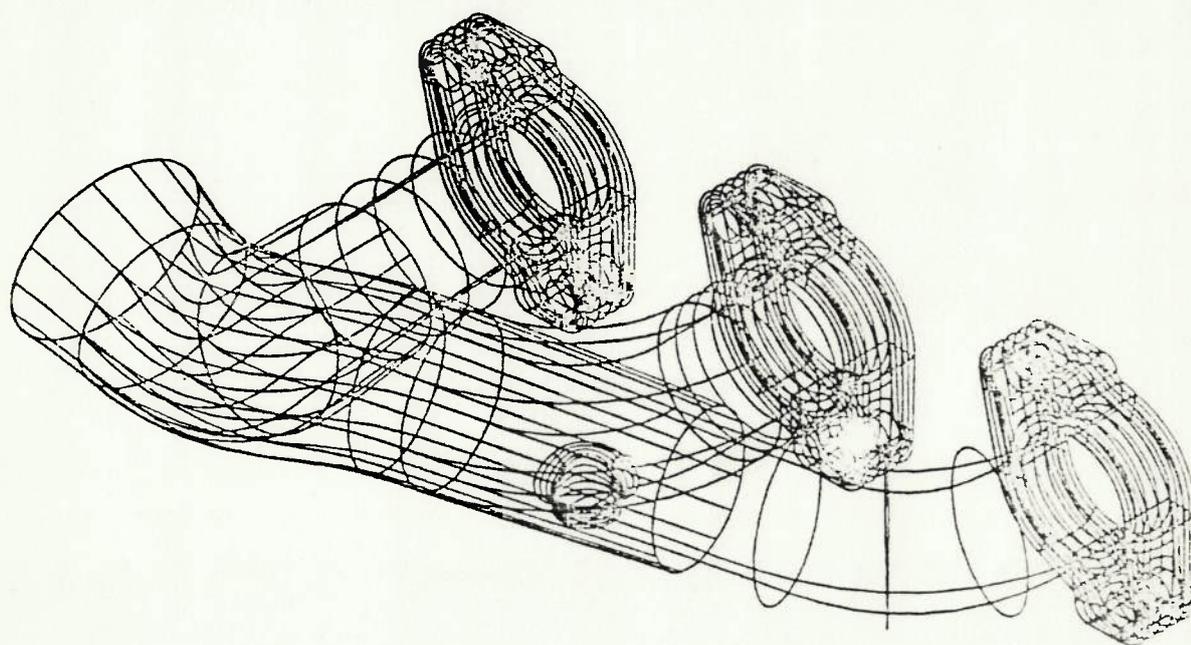


Figura 3.7 Modelo 3D da superfície do coletor de escapamento. Representação gráfica em fio-de-aramé. (24).

O modelamento geométrico 3D vai além do processo convencional de desenho e se utiliza de fato do computador para produzir modelos de peças e produtos quase reais. O projetista ganha uma enorme velocidade porque está sempre trabalhando com um modelo em que o sistema

automaticamente gera as vistas necessárias, os cortes e seções. A obtenção de medidas verdadeiras de comprimentos e distâncias é imediata.

A maioria dos projetos envolve a representação de modelos tridimensionais com as respectivas vistas apresentadas automaticamente. O modelo pode ser representado por linhas (fio-de-arame), superfícies propriamente dito, este último é necessário para cálculo de área, volume; ou sólidos que permitem a obtenção imediata de peso, centro de gravidade etc. Como o modelo fio-de-arame usa menos memória ele é comum em todos os sistemas, principalmente naqueles de baixo custo. A figura 3.8 mostra como uma coleção de linhas podem representar objetos tridimensionais.

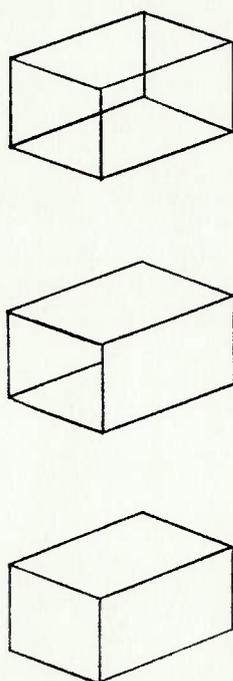


Figura 3.8 Representação de algumas formas através de linhas

3.2.- Modelos de fio-de arame

Os modelos em fio-de-arame são os mais comuns nos sistemas CAD. É também o processo que está mais próximo da representação convencional, portanto de fácil utilização pelos projetistas. Na figura 3.9

é mostrada em sequência de comandos para gerar um modelo 3D em fio-de-arame.

Os seis quadros da figura 3.9 representam a sequência usada para construir um modelo de arame 3D. Primeiro os pontos são colocados na tela. As linhas são desenhadas em uma vista para conectá-los. Quando a entidade geométrica é colocada em uma vista, sua representação adequada aparece automaticamente em outras vistas. O terceiro e quarto passo criam a terceira dimensão da entidade em uma vista, novamente aparece nas outras vistas de forma automática. O estágio final mostra como introduzir um ponto adicional para criar uma pirâmide associada à peça retangular.

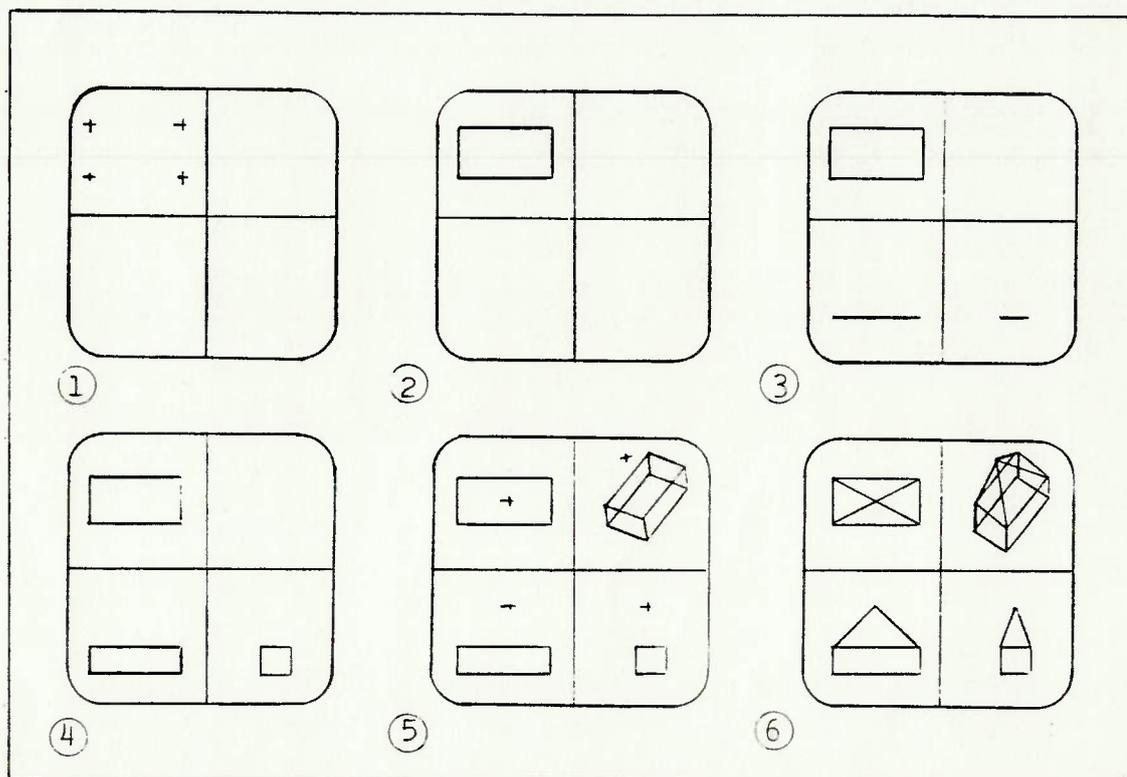


Figura 3.9 Processo de criação de um modelo 3D em fio-de-arame.

A maior dificuldade em se obter a visão espacial é que todos os sistemas de apresentação de imagem são 2D. Por isso os objetos 3D devem ser representados em duas dimensões, com a conseqüente perda de informação e pode, às vezes, gerar ambigüidades na imagem. Numerosas

técnicas são usadas para acrescentar informações de modo que o mecanismo da percepção humana de profundidade possa resolver as ambigüidades, como da figura 3.10.

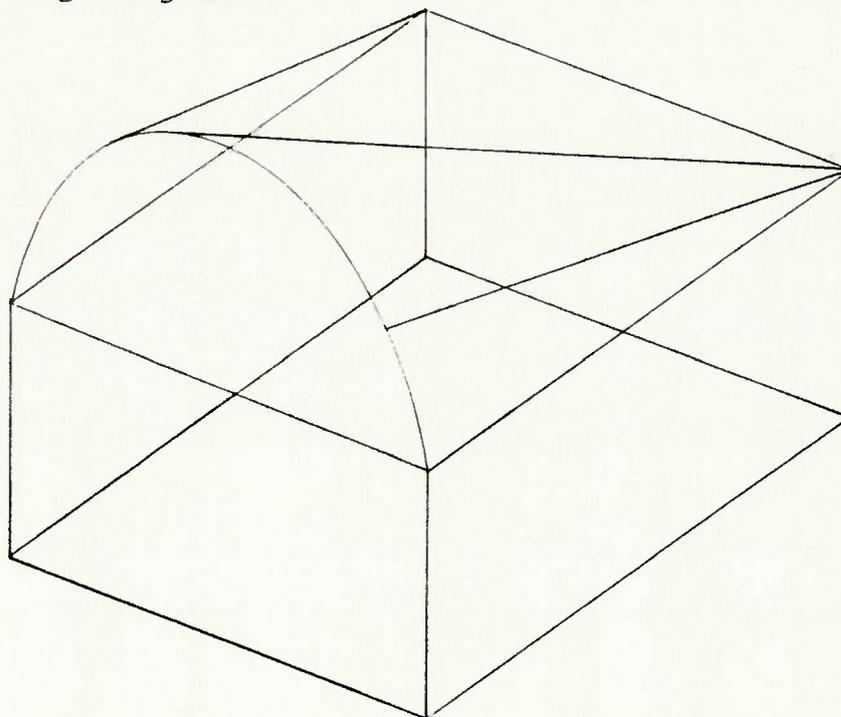


Figura 3.10 Modelo de fio-de-arame.

Considere a figura 3.11 que representa um cubo.

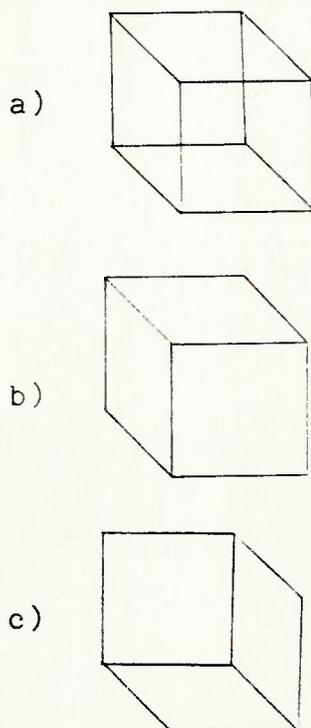


Figura 3.11 Cubo de Necker.(1)

Existe uma ambigüidade se o cubo em (a) representa o cubo em (b) ou em (c). Esse fenômeno foi observado pela primeira vez em 1832 por Necker. Mentalmente imaginamos que tanto (b) como (c) existem, e há a necessidade de interpretação. Qualquer pessoa pode facilmente reverter a visão de um para o outro porque simplesmente não existe informação suficiente para uma escolha definitiva e sem ambigüidade.

Quanto mais os observadores souberem do objeto mostrado, mais eles formam aquilo que se chama hipótese-objeto. Na figura 3.12 vemos uma escadaria. Pode ser vista como se olhada de cima para baixo ou de baixo para cima. Nós podemos escolher a vista de cima para baixo, porque normalmente é assim que vemos uma escada. Mas nós podemos também escolher de baixo para cima.

Por isso um dos objetivos da representação gráfica é mostrar a imagem 3D com relação de profundidade sem ambigüidades numa superfície 2D. Esse objetivo pode ser alcançado por uma das projeções geométricas planas, ou paralela ou perspectiva.

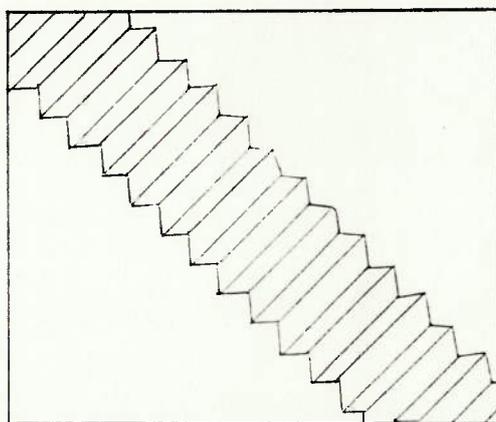


Figura 3.12 Escada que parece ter duas perspectivas.(1).

A projeção mais fácil é do tipo vistas ortogonais (ortográfica). Para compensar a falta de informação de profundidade, as vistas de topo, frontal e lateral são mostradas juntas conforme na figura 3.13.

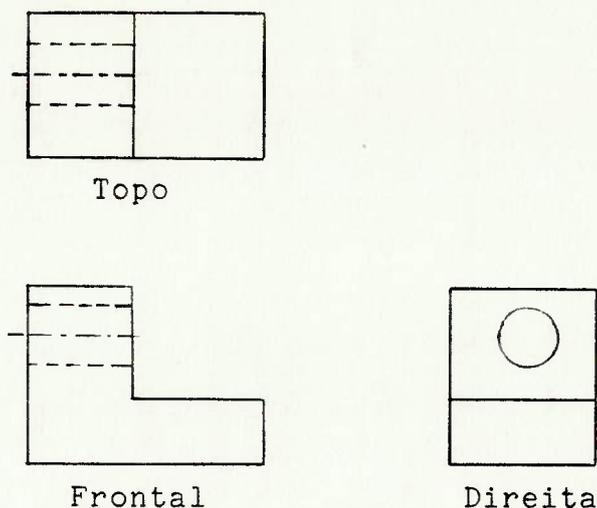


Figura 3.13 Projeção ortográfica 3.ª diedro.

Não é difícil de entender quando se trata de desenhos simples, mas os desenhos mais complicados para a fabricação de peças podem precisar de muito estudo para serem entendidos. O treinamento e experiência aprimoram a visão interpretativa e a familiaridade com os tipos de objetos sendo representados também é de grande ajuda.

A projeção em perspectiva é diferente da projeção ortográfica porque ela dá a idéia de profundidade. Neste caso o tamanho do objeto é proporcional à distância do observador. A projeção de um cubo em perspectiva é mostrada a seguir na figura 3.14, mas ainda existe ambigüidade.

A projeção em fio-de-arame da figura 3.14 pode ser vista como a representação de uma estrutura. A figura pode ser vista também como a projeção de um paralelepípedo com dois lados iguais ou como um tronco de pirâmide de base quadrada, com a base menor próxima do observador. No caso de um cubo ou paralelepípedo retangular, o quadrado menor representa a face mais distante do observador nesse modelo em fio-de-arame.

Nossa interpretação de projeção em perspectiva é frequentemente baseada no fato de que objetos menores parecem mais longe. Uma casa maior pode parecer mais perto do observador. A casa pode na realidade estar mais longe do que outra que é menor, especialmente se não houver outras indicações tais como janelas.

Um objeto projetado pode ter sua profundidade representada por linhas paralelas que parecem convergir no infinito.

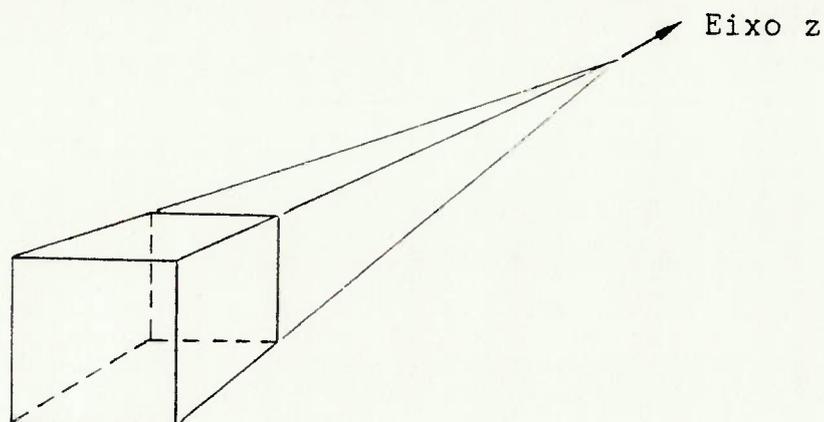


Figura 3.14 Cubo projetado para o infinito

Essa convergência pode ter mais forte indicação de profundidade do que o método de reduzir o tamanho. A representação em perspectiva é menos convincente do que projeção ortográfica quando existe falta de linhas paralelas para convergência na estrutura.

Uma outra forma de se indicar profundidade é pela variação da intensidade de luz: objeto parece mais próximo quando sua intensidade na tela é maior.

A principal vantagem da abordagem do modelamento em fio-de-aramé é que ele é relativamente fácil de usar e conceber porque as primitivas e o modo de construção são bastante similares às aquelas usadas no desenho manual. Além do mais, a abordagem de fio-de-aramé é mais eficaz em termos de custo se comparada com outras técnicas devido à redução do tempo de processamento. Também muitos sistemas CAD baseados em micro tem capacidade de modelamento 3D em fio-de-aramé.

O maior problema associado com modelos de arame, além daquela já vista em relação às ambigüidades, é que eles não distinguem entre material sólido e ar (isto é, furo), ver figura 3.15.

Outro grande problema com a técnica de fio-de-aramé é que modelos de peças não realizáveis podem ser construídas. Não existindo nesse caso nenhum mecanismo para prevenir o operador da construção

de um modelo de peça fisicamente impossível, ver figura 3.16.

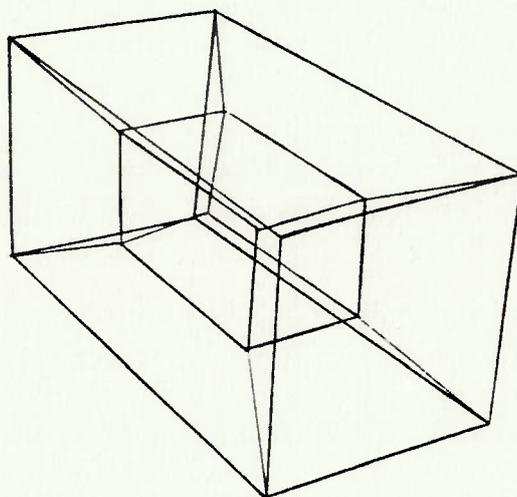


Figura 3.15 Exemplo de um modelo fio-de-arame ambíguo

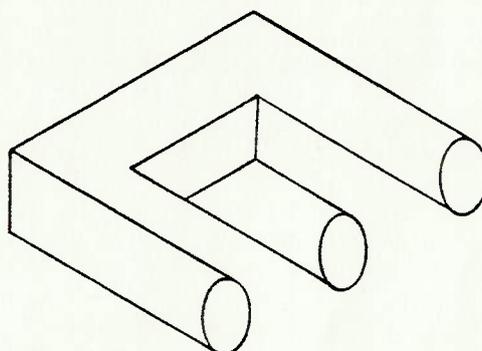


Figura 3.16 Modelo de objeto não realizável

Por último, os modelos de arame não contêm uma informação completa de uma peça. Os projetistas podem querer um modelo que, por exemplo, alimente automaticamente uma máquina de controle numérico. Como os modelos de arame podem ser interpretados de modos diferentes eles são inadequados para esse propósito. Modelos com superfície são usados nos softwares de modelamento mais avançados.

O modelo de fio-de-arame tem grande utilidade em certos tipos de aplicações. (Ver figura 3.17). Uma das grandes vantagens do modelo fio-de-arame 3D é a capacidade de decifrar projetos complexos usando vistas isométricas. Combinando-se o desenho com a lista de materiais para o conjunto, cria-se o catálogo de peças ou manuais de serviço.

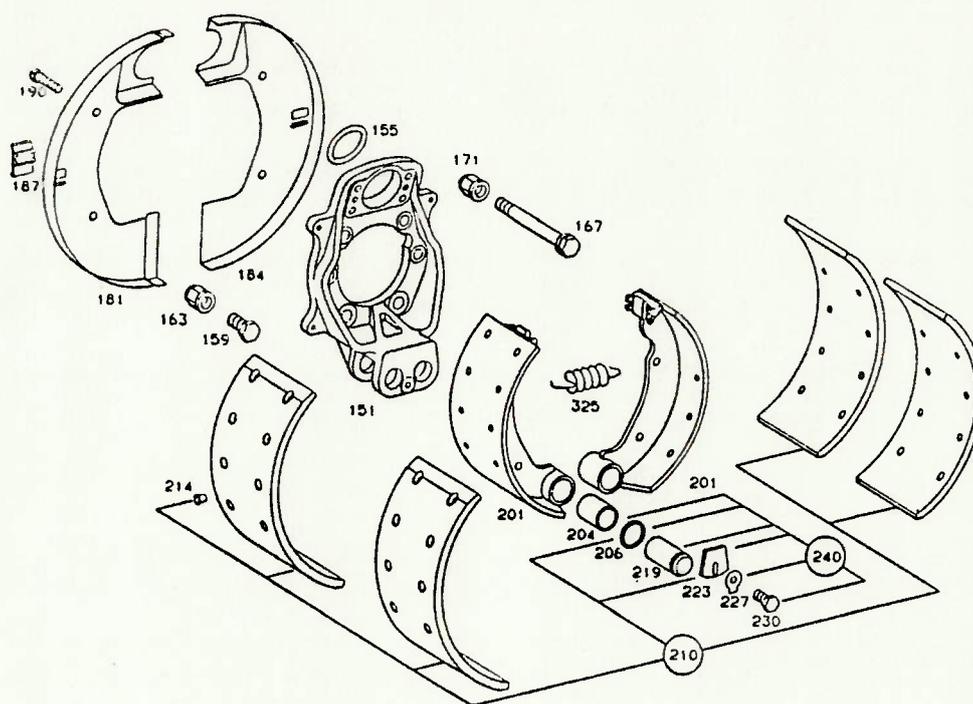


Figura 3.17 Uma utilidade de modelo em fio-de-arame (36).

3.3. - Modelos de superfície

Os modelos de superfície descrevem o exterior dos objetos, mas não o interior. A geração das superfícies nos modelos é como se cobríssemos um modelo de fio-de-arame com uma fina película plástica. (Ver figura 3.18). Os modos comumente encontrados para representação de superfícies são malhas poligonais e gomos paramétricos bi-cúbicos. Uma malha poligonal é um conjunto de polígonos interconectados para formar uma superfície plana. O exterior de muitas estruturas pode

ser adequadamente representado por uma malha poligonal. Na figura 3.18 partimos de um modelo em fio-de-arame que após "coberto" por sua superfície é mostrado como objeto sólido.

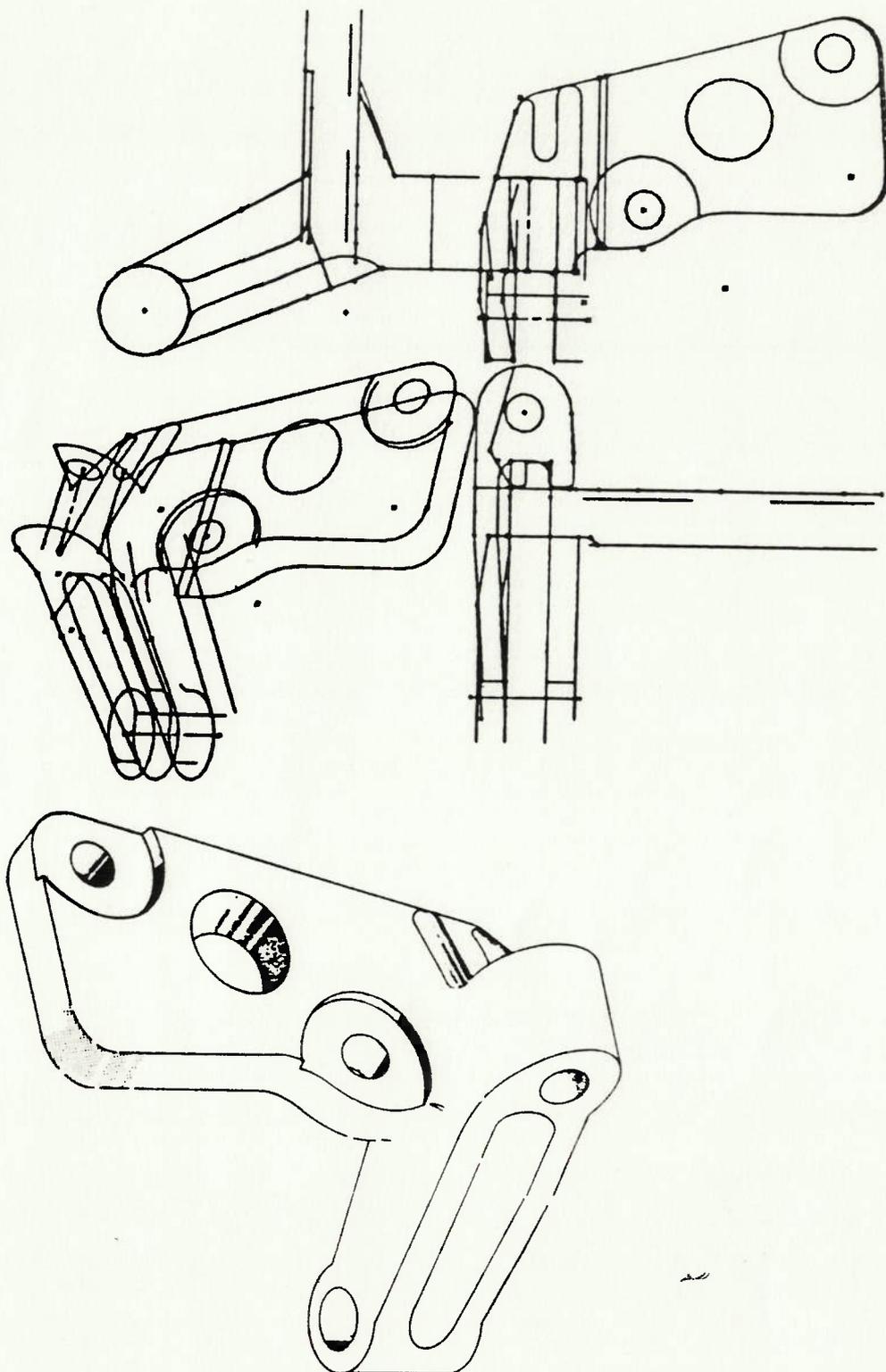


Figura 3.18 Suporte de alavanca de câmbio (36).

As malhas poligonais podem ser usadas também para representar superficies curvas. A principal desvantagem é devida à aproximação. A figura 3.19 apresenta uma seção de uma superfície e a rede poligonal usada para representá-la.



Figura 3.19 Seção curva com aproximação poligonal

A rede poligonal é um conjunto de arestas, vértices e polígonos, conforme mostrado na figura 3.20.

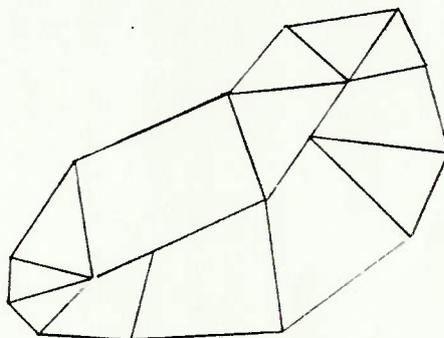


Figura 3.20 Rede poligonal

Os vértices são conectados pelas arestas e os polígonos podem ser imaginados como uma sequência de vértices e arestas. A malha pode ser representada de diferentes modos, cada um tem vantagens e desvantagens:

- . O polígono pode ser representado pela coordenada dos vértices.

$$P = (x_1, y_1, z_1), (x_2, y_2, z_2), \dots, (x_n, y_n, z_n)$$

- . O polígono pode ser definido pela indicação dos vértices.
- . O polígono pode ser definido pela indicação das arestas.

A técnica de indicação pelas arestas é a mais usada pois melhor se aplica aos testes de consistência, uma vez que eles contêm a maioria das informações.

Gomos paramétricos bi-cúbicos definem as coordenadas dos pontos de uma superfície curva usando três equações, uma para cada x, y e z . Cada equação tem duas variáveis ou parâmetros, e os termos para todas as potências dos parâmetros até ao cubo. Por isso eles são chamados bi-cúbicos. As fronteiras dos gomos são curvas cúbicas parametrizadas. Para representação de uma mesma superfície a quantidade de gomos bi-cúbicos é menor do que a de polígonos, embora os algoritmos para os gomos sejam mais complexos. Primeiro vamos analisar as representações de linhas curvas 3D, então vamos generalizar de linhas curvas para superfícies curvas.

As duas formas básicas de representar curvas são:

- 1- Funções de variáveis x, y e z .
- 2- Funções de alguns parâmetros, tais como t .

No primeiro caso as funções tem a forma de

$$x = x(t), \quad y = f(x), \quad z = g(x), \quad \text{definem o ponto } (x, y, z) \text{ na curva}$$

Essa representação apresenta algumas dificuldades:

- 1- Uma tangente infinita pode ocorrer em algum ponto da curva, então precisamos de um modo de representá-la.
- 2- Um trecho de curva é limitado por dois pontos; começo e extremidade, mas verificar se um ponto pertence a esse trecho é difícil, especialmente se a curva faz um laço.
- 3- A traçagem da curva como linha suave requer que a tangente da curva sempre seja considerada.

A representação paramétrica de uma curva 3D reduz bastante essas dificuldades. Permite que funções definidas em domínios fechados e de múltiplas variáveis possam ser mais facilmente definidas e substituem as inclinações que podem ser infinitas por vetores tangentes que não precisam ser infinitos. Uma curva paramétrica usa x, y e z para representar polinômios de terceira ordem em parâmetro t . Para segmentos finitos de curva, devemos limitar a variação desse parâmetro:

$$\left. \begin{aligned} x(t) &= a_x t^3 + b_x t^2 + c_x t + d_x \\ y(t) &= a_y t^3 + b_y t^2 + c_y t + d_y \\ z(t) &= a_z t^3 + b_z t^2 + c_z t + d_z \end{aligned} \right\} 0 \leq t \leq 1$$

As derivadas de $x(t)$, $y(t)$ e $z(t)$ em relação a t têm todas a mesma forma:

$$\frac{dx}{dt} = 3a_x t^2 + 2b_x t + c_x$$

$$\frac{dy}{dt} = 3a_y t^2 + 2b_y t + c_y$$

$$\frac{dz}{dt} = 3a_z t^2 + 2b_z t + c_z$$

Essas três derivadas formam o vetor tangente e as inclinações da curva são as razões dos componentes do vetor tangente, quaisquer que sejam eles:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}}, \quad \frac{dx}{dz} = \frac{\frac{dx}{dt}}{\frac{dz}{dt}}, \quad \frac{dy}{dz} = \frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dz}{dt}}$$

As inclinações são independentes do comprimento do vetor tangente.

Note que

$$\frac{\frac{dy}{dt}}{\frac{dx}{dt}} = \frac{dy}{dt} \times \frac{dt}{dx} = \frac{dy}{dx}$$

Utilizam-se curvas cúbicas porque equações de ordem mais baixa não vão representar os segmentos de curva e fornecer a continuidade da posição e tangência no ponto onde os segmentos se encon-

tram e ao mesmo tempo garantir que as extremidades da curva se juntem no ponto especificado. Então uma curva pode ser construída usando-se uma série de segmentos de curva conforme mostrado na figura 3.21.

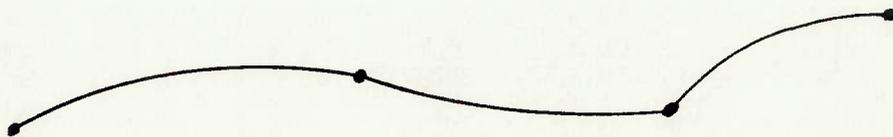


Figura 3.21 Junção de segmentos de curva

Nos pontos de conexão, os segmentos de curva e seus vetores tangentes devem ser iguais. Essa continuidade é importante para o modelo, uma vez que não se pode ter a representação de uma seção transversal de uma estrutura com pontos de descontinuidade. Uma curva é dita contínua, se não tem descontinuidade e se suas tangentes também são contínuas. Em geral essa continuidade significa que a função e suas primeiras derivadas são contínuas.

A curva paramétrica cúbica, com seus quatro coeficientes, é a curva paramétrica de mais baixa ordem que pode ser ajustada para atender as condições para posição e o vetor tangente de cada extremidade do segmento. Curvas paramétricas de ordem superior a três, também podem ser usadas, mas essas tendem a adicionar curvas indesejáveis. A cúbica também é a de menor ordem que pode descrever uma curva não plana para representação 3D.

Existem três modos principais de se definir uma curva cúbica paramétrica.

- 1- Método de Hermite, que define as posições e tangentes nas extremidades conforme foi discutido.
- 2- Técnica de Bézier, que define posição das extremidades e usa dois outros pontos que geralmente não estão na curva para definir as tangentes nas extremidades da curva. Determina uma

uma curva que faz a aproximação dos pontos.

3- Método B-Spline, que determina uma curva de interpolação dos pontos, fazendo com que a primeira e segunda derivadas sejam contínuas nas extremidades dos segmentos.

Cada uma tem certas vantagens e desvantagens.

A técnica de Hermite usa a matriz de Hermite que contém as condições das extremidades dos segmentos. Uma função de aproximação é usada para ajustar os pontos. Existem duas variáveis de interesse:

1- O comprimento do vetor tangente pode causar o efeito visto na figura 3.22.

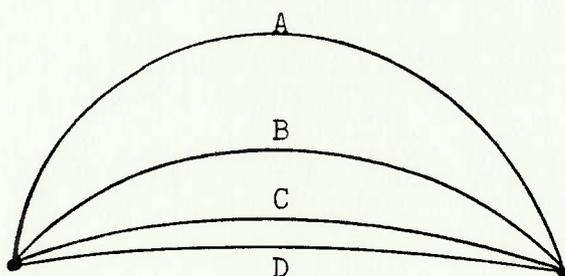


Figura 3.22 Curvas cúbicas paramétricas de Hermite com comprimentos variáveis.(1).

2- A direção da tangente produz o efeito visto na figura 3.23.

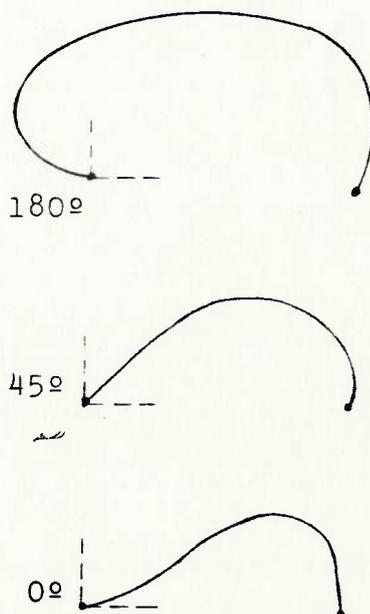


Figura 3.23 Curvas paramétricas de Hermite com diversos ângulos de tangentes.(1).

A técnica de Bézier é similar, excepto na definição dos vetores tangentes. Os vetores tangentes são determinados a partir do segmento de linha definido pelos pontos. Quatro pontos de controle são usados, como mostrado na figura 3.24. A técnica de Bézier é largamente usada por duas razões:

1- Sua matriz geométrica pode ser facilmente ajustada para mudar a forma da curva.

2- Os quatro pontos definem um polígono convexo que atua como se fosse uma superfície de borracha estendida pelos quatro pontos. Essa propriedade torna-se muito útil na definição dos modelos com superfície.

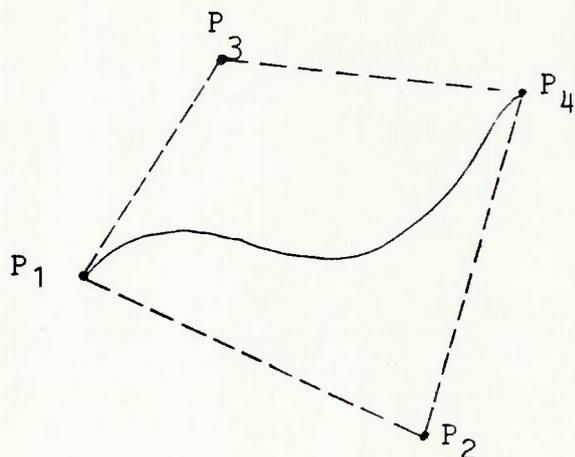


Figura 3.24 Curva de Bézier e seus pontos de controle.(1).

A técnica de B-Spline não usa nenhum ponto de controle e sua primeira e segunda derivadas são contínuas nas extremidades; por isso a curva tende a ser mais suave que nas outras técnicas. O nome tem origens nas lâminas flexíveis que são usadas para traçar curvas de superfícies de aviões, navios e automóveis, através dos pontos pré-definidos.

Uma comparação entre as técnicas de Hermite, Bézier e B-Spline mostra qual delas se adapta melhor às diferentes situações.

A técnica de Hermite é útil para aproximar superfícies existentes quando a combinação de união dos pontos e tangentes é necessário, enquanto o método de B-Spline é adequado para a aproximação de

pontos e garantir a continuidade na segunda derivada.

Tanto a curva de Bézier como a de B-Spline podem ser usadas para projetos interativos uma vez que seus vetores contêm somente pontos. Ambas as formas tem a propriedade da convexidade que é muito útil na apresentação da curva. A curva definida em uma forma pode ser convertida em outra forma pela obtenção de um vetor geométrico de uma forma em termos de outro, na outra forma. Embora o método de Hermite não tenha a propriedade da convexidade, ele também pode ser convertido em Bézier ou B-Splines que têm convexidade. As superfícies cúbicas paramétricas podem ser generalizadas das curvas cúbicas. Essas superfícies, por isso chamadas bi-cúbicas, são definidas por equações cúbicas de dois parâmetros, s e t . Variando-se ambos os parâmetros de 0 a 1 vai definir todos os pontos no gomo da superfície. Se um parâmetro é constante e o outro parâmetro variar de 0 a 1, resulta em uma curva cúbica.

Se uma superfície é definida pela técnica de Hermite, o resultado é similar àquele mostrado na figura 3.25.

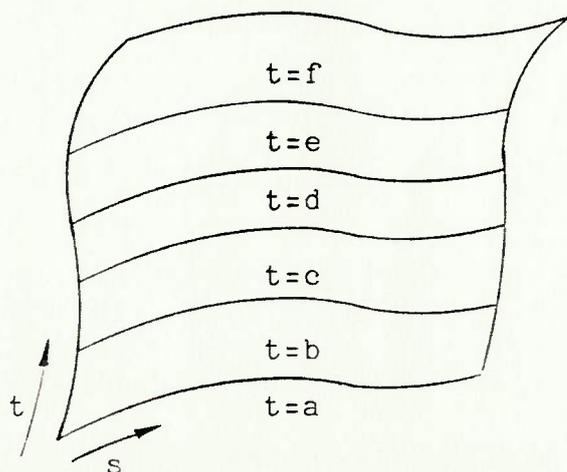


Figura 3.25 Superfície bi-cúbica de Hermite.(1).

Quando as linhas internas (a, b, c, d e f) forem retas, a superfície regradada é plana e o gomo da superfície torna-se um polígono de quatro lados. Quando existir continuidade entre os gomos, existirá

uma aresta comum como mostra a figura 3.26.

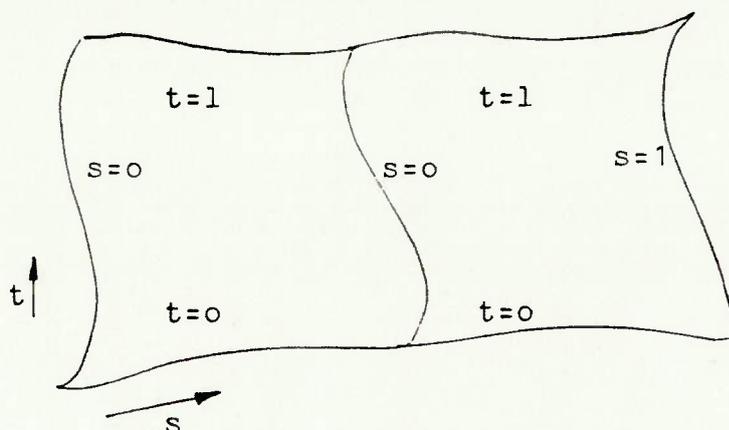


Figura 3.26 Gomos de Hermite conectados.(1).

A superfície de Bézier é definida da mesma maneira, porém é mais utilizada por permitir ajustes nos parâmetros de controle, que permitem mudar a forma dos gomos. Um gomo de Bézier é mostrado na figura 3.27. A propriedade de convexidade que comentamos para as curvas de Bézier também vale para a superfície de Bézier.

A continuidade é obtida fazendo-se os quatro pontos das arestas iguais; isso faz o arranjo dos gomos. Para ter um vetor contínuo, nós devemos também ter dois conjuntos de novos pontos de controle em cada lado da aresta colineares com o ponto da aresta, e as relações de comprimento de segmentos de linha colineares deve ser constante.

Para definir um modelo usando qualquer dessas técnicas, basicamente nós traçamos uma aproximação linear por trechos por curvas paramétricas na superfície do gomo. Nós traçamos uma curva de constante s pela variação t , e nós repetimos isso para obter todas as curvas, de constante s . Esse processo é repetido para curvas de constante t , que nós obtemos pela variação de s . Isso tende a gerar muitas equações com muitas multiplicações e divisões. As multiplicações podem ser reduzidas pelo uso do algoritmo de Horner, ou nós podemos calcular as curvas bi-cúbicas usando método das diferenças progressivas.

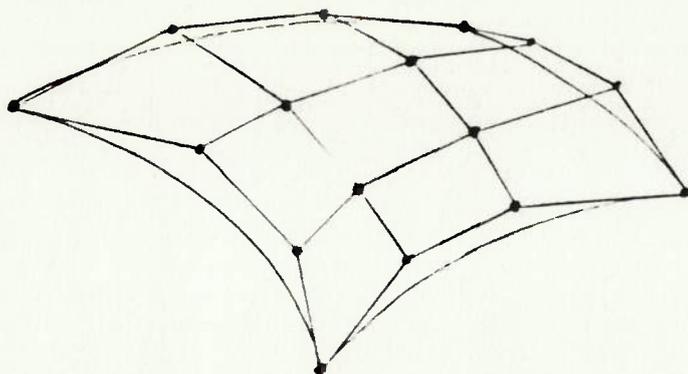


Figura 3.27 Gomo de Bézier.(1).

Nos métodos analisados anteriormente um modelo sólido é aproximado por uma superfície. O modelamento sólido, por outro lado, trata diretamente com objetos sólidos e usa sólidos primitivos tais como cubos, cones, esferas e cilindros que são somados ou subtraídos para criar várias formas.

Os modelos de superfície tem algumas vantagens sobre os modelos sólidos. Os modelos de superfície não requerem tanta memória computacional quanto os sólidos pois estes armazenam informações sobre arestas e superfícies do modelo, enquanto esses dados não precisam ser armazenados nos modelos de superfície, porque isto pode ser inferido da posição dos vértices das superfícies.

Pode-se também calcular o volume de modelos de superfície. Para fazer isso, o computador vai registrar a direção de uma face do objeto e continua até à face oposta. A distância entre as duas faces é então usada para calcular o volume baseado na área das duas faces. Como os algoritmos para armazenar superfícies são menos complexos que os para armazenar sólidos, os modelos de superfície também gastam menos tempo de processamento.

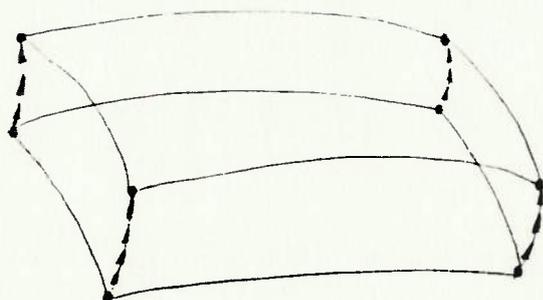


Figura 3.28 Cálculo de volume de um modelo de superfície.(1).

A principal desvantagem do modelo de superfície é que ele não traz embutido nenhuma informação sobre as propriedades de massa.

Outra desvantagem é que as superfícies são aproximadas pela combinação de planos, que produzem superfícies facetadas. O número de faces é aumentado para fornecer uma superfície lisa e o tempo computacional necessário para representar o modelo é aumentado. Apesar de tudo, é o modelamento mais usado na indústria automobilística e aeronáutica, ver figura 3.29.

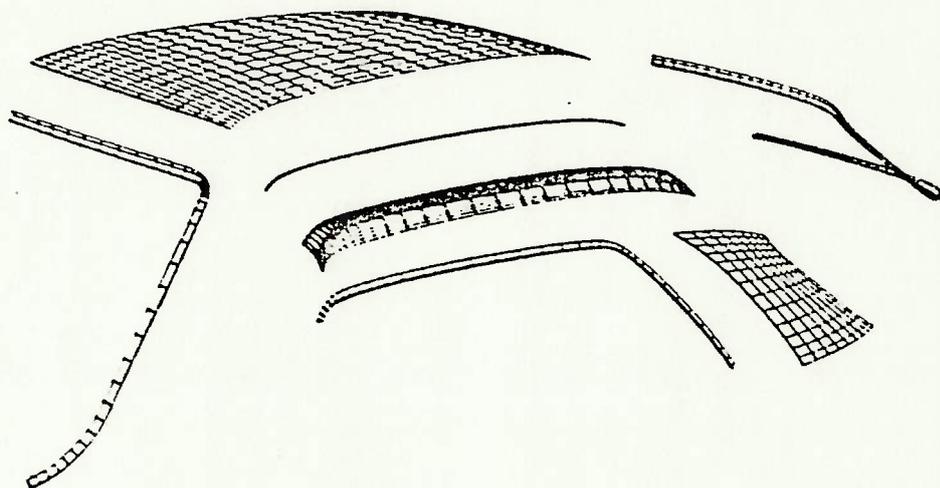


Figura 3.29 Modelo de superfície da carroceria de um automóvel.
(24).

3.4. - Modelamento sólido

O modelo sólido é matematicamente completo (i. é, sem ambigüidades) na representação de uma peça. O modelo sólido por isso descreve uma peça única completamente. A primeira geração de sistemas experimentais de modelamento sólido apareceu em meados de 1970. Esses primeiros sistemas despertaram grande interesse porque eles traziam a promessa de permitir que muitas tarefas tradicionalmente manuais tais como detalhamento, geração de malhas de elementos finitos e

verificação de programas CN fossem completamente automatizadas. Pelo final dos anos 70, uma segunda geração de sistemas dirigidos a usos industriais tinha surgido. Nos últimos anos houve uma proliferação de sistemas comerciais, inclusive para microcomputadores.

O modelamento sólido compensa as desvantagens dos modelos de fio-de-arame e de superfície ao definir as peças como objetos sólidos. Os modelos sólidos requerem mais tempo de processamento e memória que modelos em fio-de-arame ou de superfície. Os modelos sólidos podem ser usados como base para usinagem e eles podem fornecer o modelo para outros programas de análises, incluindo análise modal e programas de elementos finitos. Duas abordagens básicas são utilizadas para construir os modelos sólidos: uma baseia-se nos sólidos primitivos e outra na topologia. O método dos sólidos primitivos constrói os modelos pela simples combinação de formas tais como cubos, cilindros e cones. O método de representação por fronteira (topológico) começa com uma área bidimensional e faz uma varredura da forma na terceira dimensão para obter a espessura.

Os modelos de sólidos primitivos são construídos por operações Booleanas ou lógicas tais como união, intersecção ou diferença. Nesse método posiciona-se a peça primitiva como desejado e em seguida invoca-se a operação lógica para se obter a forma.

Os modelos por representação de fronteira são construídos da definição da topologia, ou forma da fronteira e as operações são realizadas na topologia para fornecer a geometria adequada.

Essas duas categorias principais são conhecidas como Geometria Sólida Construtiva CSG (Constructive Solid Geometry) e Representação por Fronteira B-rep (boundary representation). Ver figura 3.30. Os programas CSG que constroem os modelos por meio de blocos de construção podem combinar as primitivas que também são conhecidas como quádricas naturais tais como bloco, cilindro, cone e esfera. A maioria dos programas comerciais contém menus de 8 a 10 outros formatos complexos para auxiliar o usuário na construção detalhada de modelos. A figura 3.31 mostra alguns desses elementos.

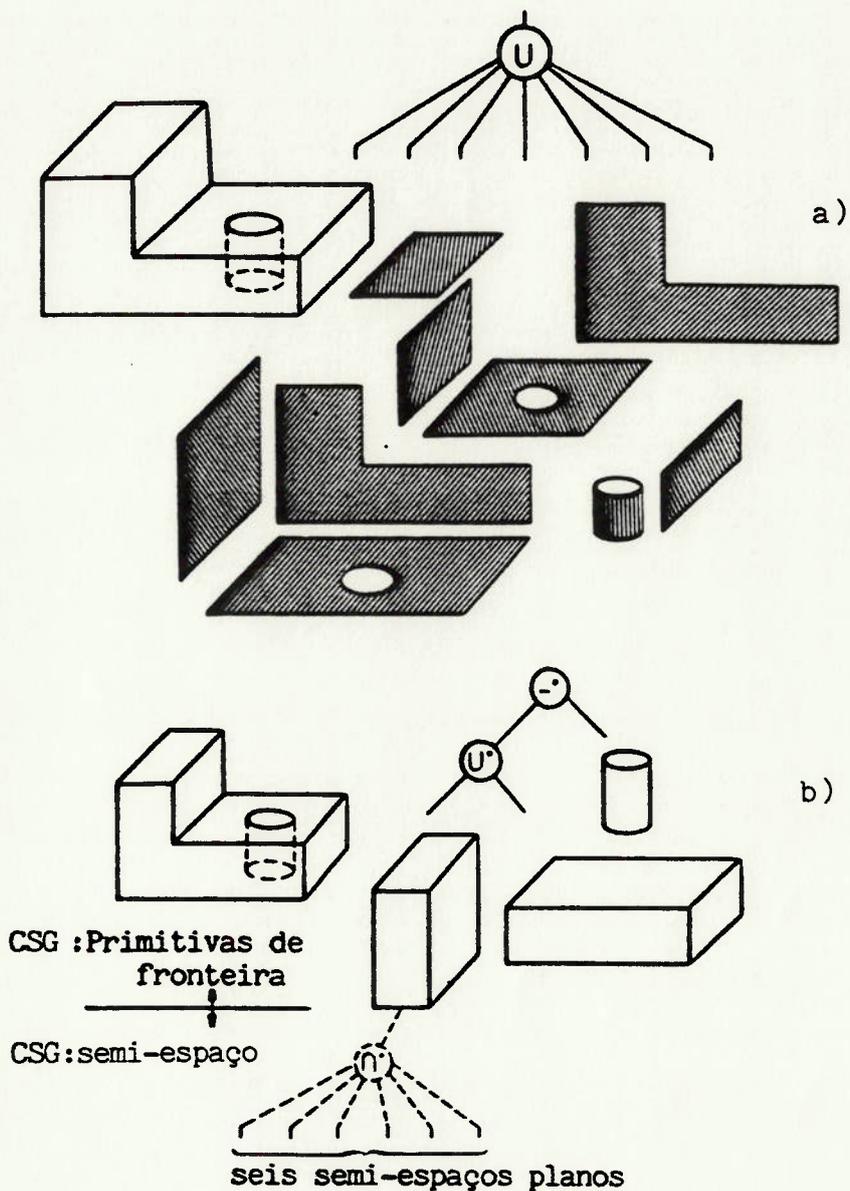
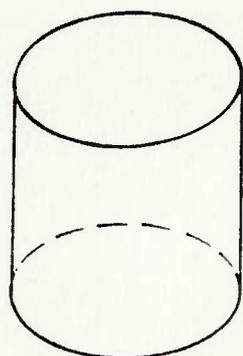
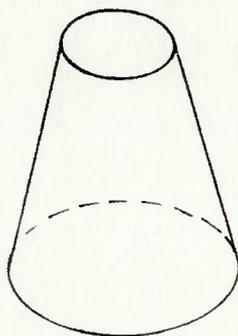


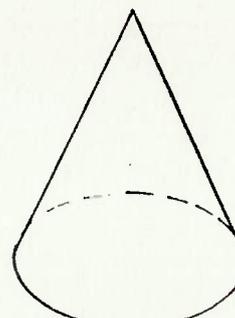
Figura 3.30 Dois métodos para representar modelos sólidos: geometria de representação por fronteiras (a); e geometria de sólidos construtivos (CSG). (31)



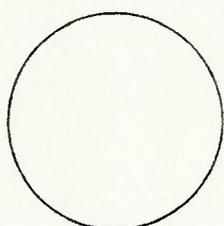
Cilindro



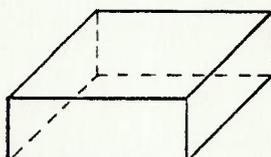
Tronco



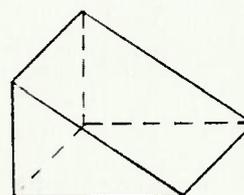
Cone



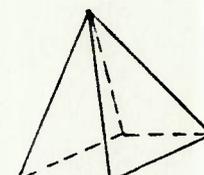
Esfera



Bloco



Cunha



Pirâmide

Figura 3.31 Elementos de modelamento sólido por sólidos construtivos.

As primitivas são combinadas através de operações lógicas Booleanas, ver figura 3.32.

- 1- UNIÃO - Operação que combine duas primitivas
- 2- DIFERENÇA - Operação que subtrai um sólido do outro
- 3- INTERSECÇÃO- Operação que define um volume comum a ambas as primitivas.

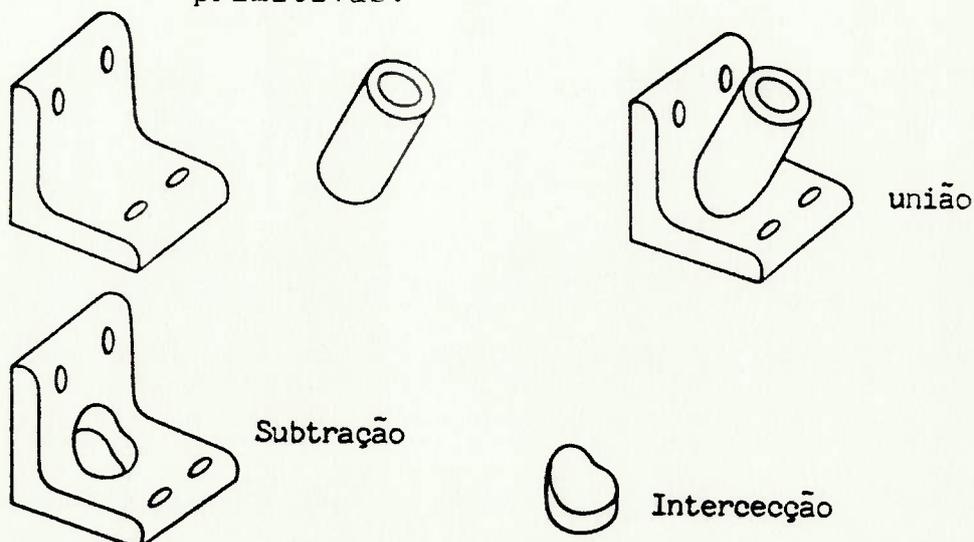


Figura 3.32 Resultados de operações específicas em geometrias sólidas construtivas. (24).

O usuário escolhe o tamanho e a posição das primitivas e então usa o operador adequado para produzir o formato que deseja. Um furo por exemplo, pode ser feito pela subtração de um cilindro em uma da da geometria. Usando operações como essa sucessivamente podem-se construir modelos complexos.

Programas de modelamento por fronteira constroem modelos pela junção de superfícies que formam uma fronteira espacial do objeto. Técnicas automatizadas de desenho definem as faces, arestas e vértices. Para auxiliar o operador na construção existem operações de varredura nas quais a superfície tridimensional, pode ser translada da, rodada e deslocada pelo espaço para gerar um volume sólido ver figura 3.33.

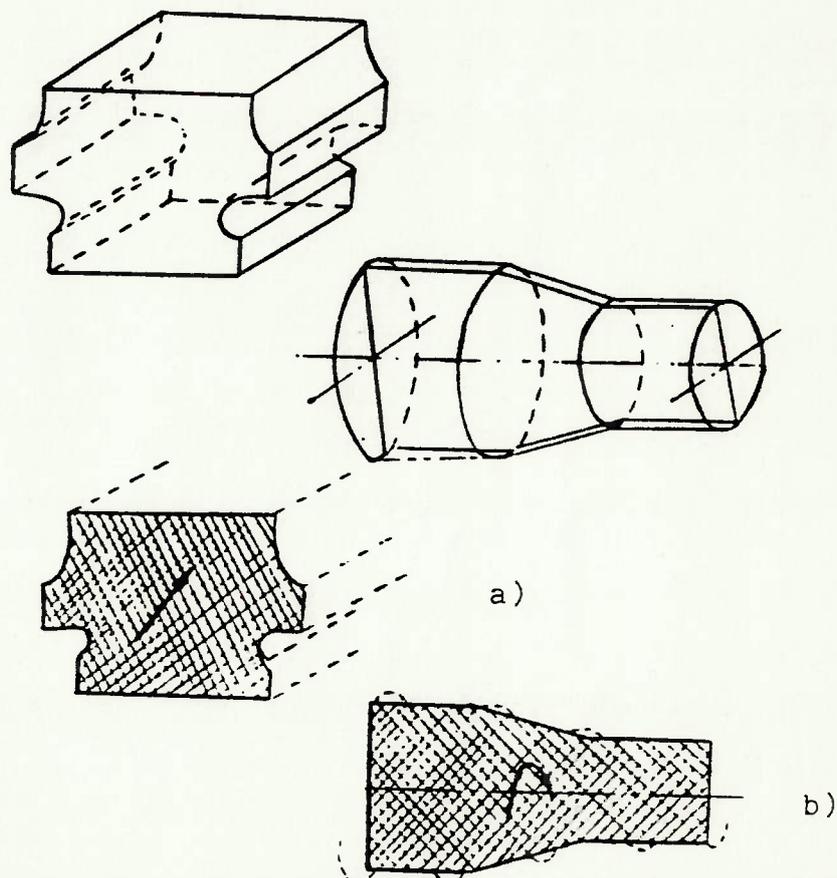


Figura 3.33 Operações de translação (a) e rotação (b) de sólidos primitivos em torno do eixo de simetria (31).

- 1- Uma superfície movida com uma varredura linear produz uma forma extrudada com espessura constante.
- 2- A superfície rodada em torno de um eixo gera uma peça cilíndrica com eixo axial de simetria.

3- Variações dessas técnicas fornecem uma superfície que é varrida através de uma curva específica para gerar um sólido complexo.

Outras técnicas de construção por fronteira são Colagem (gluing) que junta dois sólidos criados previamente numa superfície comum e o método conhecido como Esticamento (tweaking) que pode ser usado para fazer alterações locais e pequenos refinamentos como por exemplo adicionar raios de concordância.

Ambos, CSG e B-rep, têm vantagens em representar geometrias. Os sistemas CSG usam as formas básicas comuns na indústria em geral, tais como cones, cilindros ou contornos regulares, normalmente produzidos pelo torneamento, fresamento, furação, corte e outras operações de usinagem.

O modelamento sólido é considerado um dos mais significantes desenvolvimentos recentes em computação gráfica e é ponto chave para integração de CAD e CAM.

Em contraste com os modelos em fio-de-arame e de superfície que retratam somente arestas e cobertura de geometrias, os modelos sólidos podem definir o interior do material. Um tijolo e uma caixa, por exemplo, são claramente diferentes com modelos sólidos e o banco de dados, sendo mais completo, pode mais facilmente ser usado em uma variedade de outras operações auxiliadas por computador.

Essa vasta gama de aplicações é que faz com que o modelamento seja significativo em CAD/CAM. Por exemplo, seções transversais podem ser obtidas do modelo para mostrar detalhes internos de uma peça complexa. O movimento relativo das peças pode ser estudado para verificar interferências nas três dimensões e as propriedades de massa podem ser diretamente obtidas incluindo peso, centro de gravidade e momento de inércia. Ver na figura 3.34.

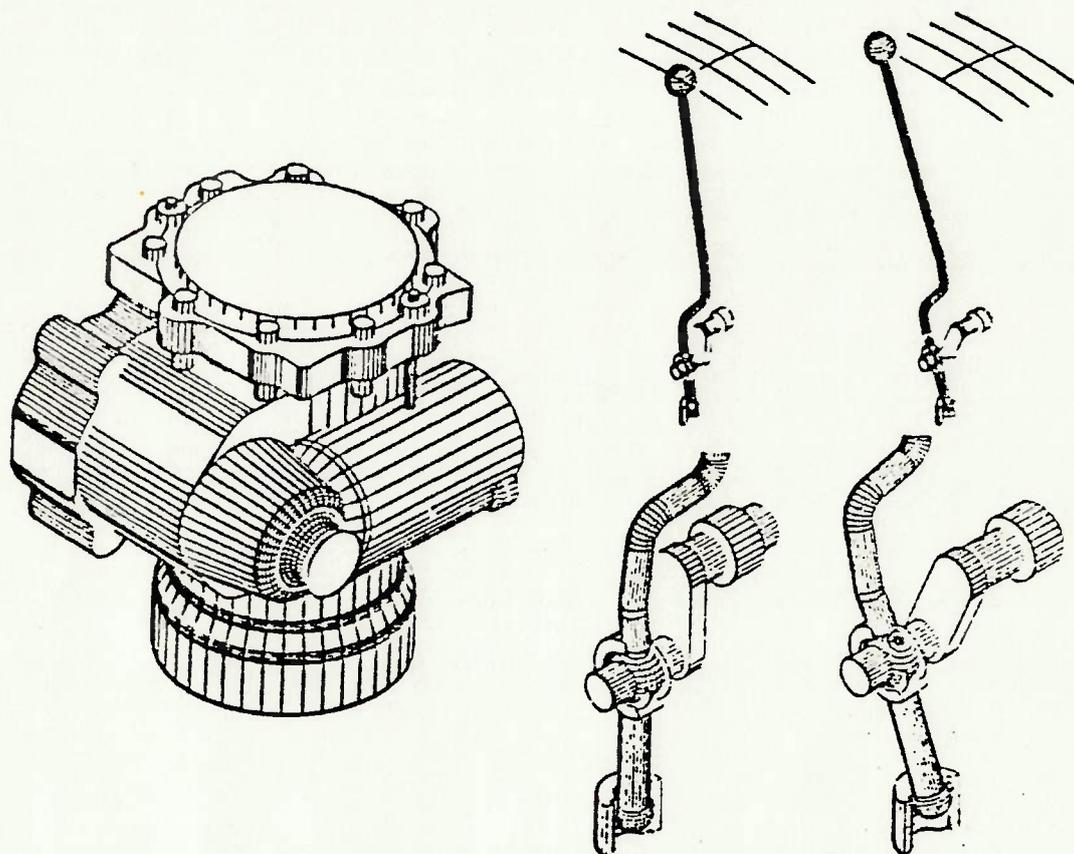


Figura 3.34 Modelo sólido na construção de componentes (24).

3.4.1. Modelamento por sólidos primitivos

Nós já vimos que uma das técnicas mais comuns de modelamento sólido é a técnica de geometria sólida construtiva - CSG ou modelamento por construção de blocos. Ele é baseado no princípio de que qualquer peça, não importa quanto complexa seja, pode ser projetada pela adição ou subtração de formas simples, tais como cubos ou cones, e colocando-se essas formas primitivas na ordem própria. Cada primitiva é um modelo sólido por si mesmo, tendo propriedades de massa. As peças acabadas que são compostas dessas primitivas também são peças sólidas.

As peças primitivas podem ser combinadas usando-se um conjunto de operadores tais como união, intersecção e complementação.

Duas primitivas podem ser acopladas no mesmo ponto pela operação de união. Um furo pode ser produzido em uma peça pela intersecção da peça com um cilindro negativo.

O modelamento CSG funciona melhor em peças que não tenham superfícies intrincadas. O sistema de modelamento por sólidos primitivos é capaz de criar superfícies esculturais complexas mas somente com a ajuda do usuário. O computador tem dificuldade de encontrar os pontos nos quais as primitivas se interceptam para produzir superfícies complexas, uma vez que o número de intersecções em potencial é muito grande para produzir tais superfícies. Um grande gasto de tempo é dispendido para achar as equações exatas das intersecções.

Somente quatro superfícies - plana, cilíndrica, cônica e esférica - são realmente necessárias para definir a maioria das peças. Esses quatro sólidos são às vezes chamados de quádricas naturais. Eles são as superfícies mais comuns no projeto mecânico. Superfícies planas são produzidas por laminação, estiramento ou aplainamento. Superfícies cilíndricas são produzidas por torneamento ou dobramento com roletes, e superfícies esféricas são produzidas do corte com uma fresa especial. Superfícies cônicas são produzidas por escareamento ou torneamento. O toróide também pode ser uma primitiva, uma vez que ele surge em superfícies em torno de furos cilíndricos ou bossas. As primitivas podem modelar a maioria das peças de engenharia, uma vez que formas simples são as mais comumente usadas na indústria. Elas são fáceis de formar e usinar, custam menos que formas complexas e normalmente funcionam bem. Mesmo quando as relações tensão/peso são críticas, as formas quádricas naturais podem compor peças com formas mais complexas.

Segundo Hordeski (1), os estudos têm demonstrado que 80% a 85% de todas as peças podem ser modeladas com planos e cilindros, e que 90% a 95% de todas as peças podem ser modeladas com planos, cilindros e cones, ver figura 3.35.

Um grande número de funções é usado nos programas de modelamento sólido para simplificar a construção do modelo. A maioria dos

softwares incluem comandos que permitem rodar, trasladar, ampliar ou reduzir o modelo de forma que a geometria uma vez definida possa ser duplicada em inúmeros tamanhos.

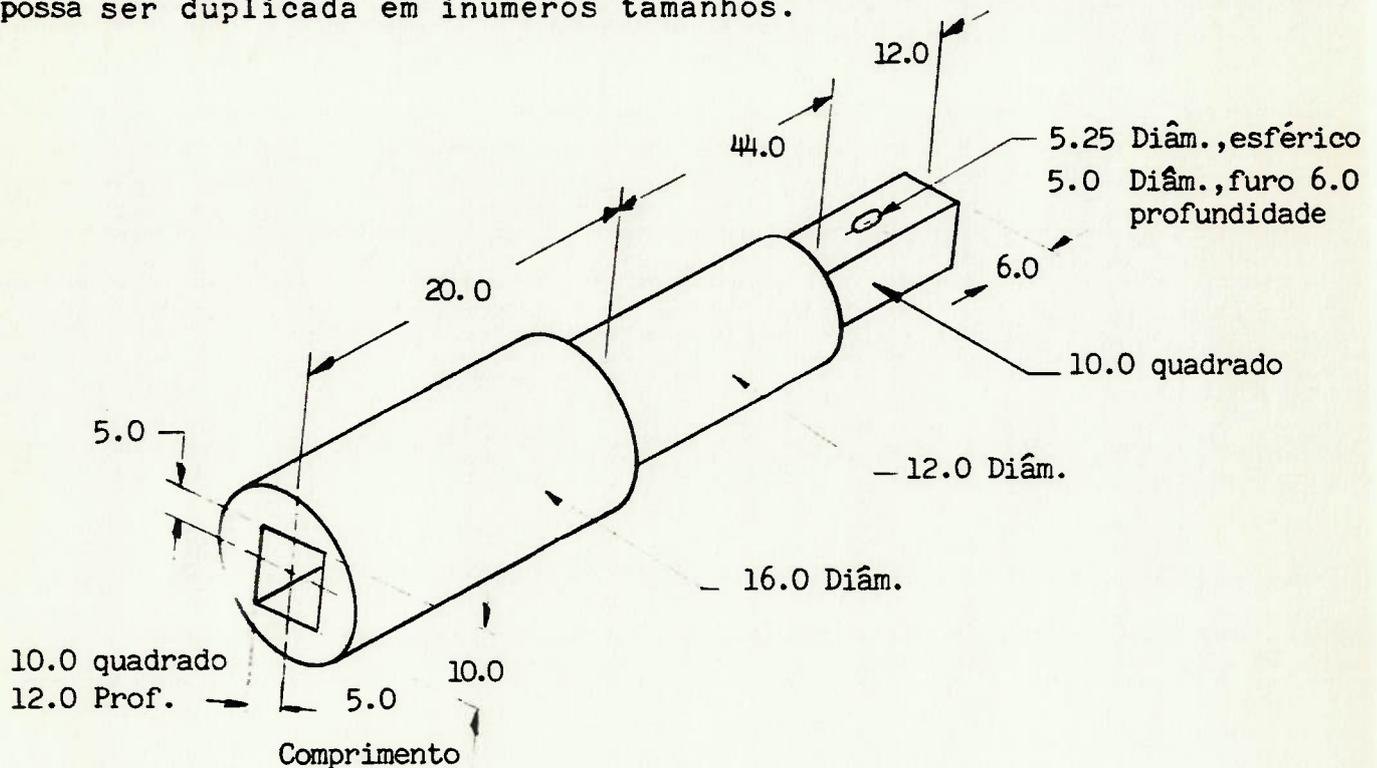


Figura 3.35 Esboço de um terminal de barra

Na figura 3.36 damos um exemplo de criação de um modelo sólido usando-se sólidos primitivos, para se obter o terminal de uma barra mostrado na figura 3.35.

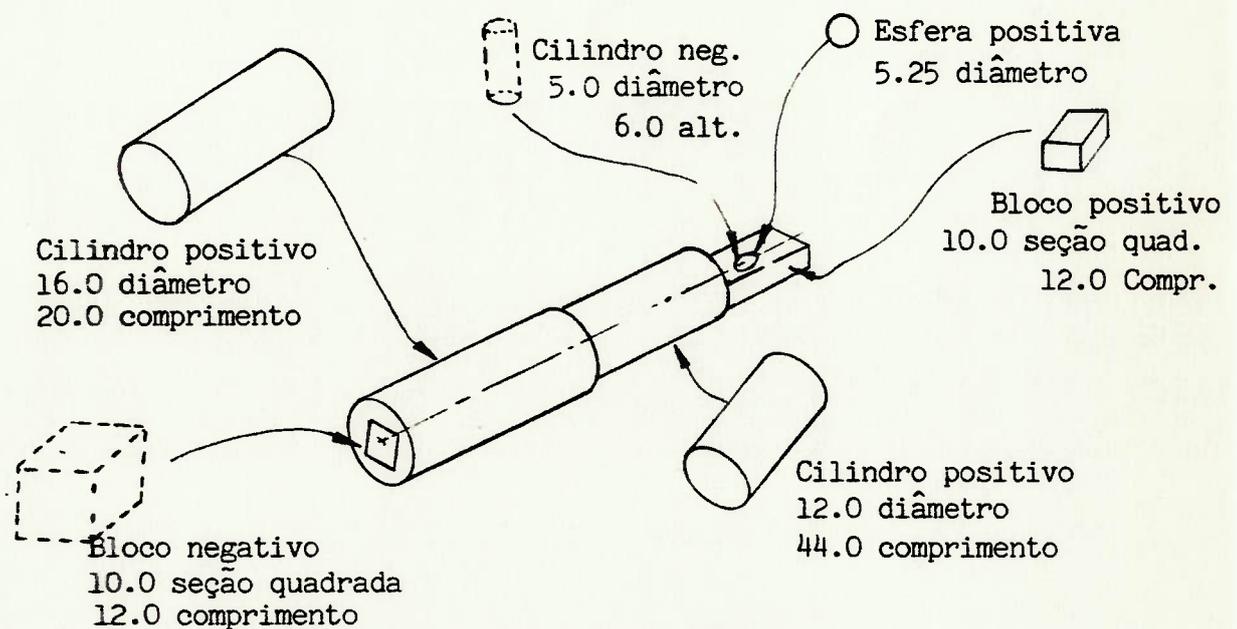


Figura 3.36 Operações de modelamento sólido.

3.4.2 Modelamento por representação de Fronteira

Os modelos por B-rep podem ser usados para peças que não podem ser convenientemente modeladas com as primitivas. São as peças com formas complicadas, como por exemplo um coletor de escapamento. Formas dessa complexidade podem ser facilmente modeladas com B-rep.

O processo se inicia com a construção de um desenho de contorno da peça, similar àquele para vistas ortogonais. Essa vista é usada para uma varredura linear que produz a espessura da peça, ver figura 3.37.

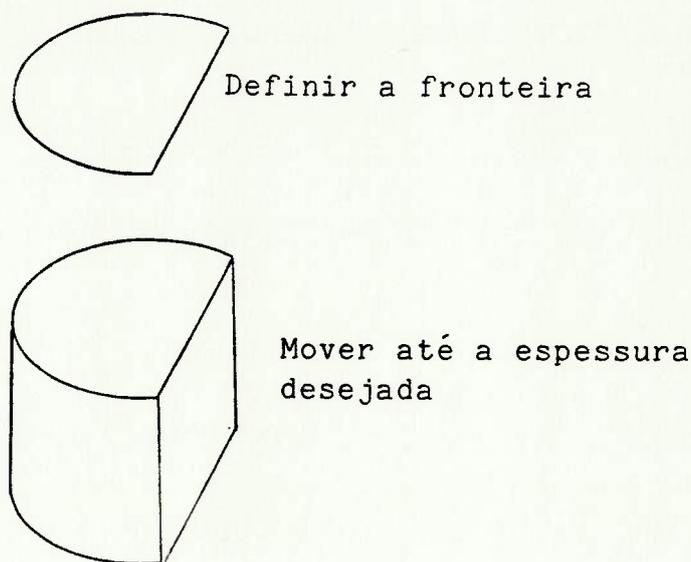


Figura 3.37 Representação de sólido por varredura da superfície.

O modelamento de representação por fronteira resulta da geometria da peça ser diferente da topologia. A topologia da peça descreve como as superfícies são conectadas, como as faces se repartem em arestas e quantas arestas se interceptam em um dado ponto.

A geometria do objeto fixa esses itens no espaço. Por isso a topologia descreve como eles são conectados, mas não as dimensões dos itens ou dos conexos. Cubos e outros paralelepípedos podem ser idênticos topologicamente, mas a adição de dimensões define a geometria de cada um. Essa separação entre geometria e topologia simplifica a adição de novas geometrias ao software de modelamento. A definição de novas geometrias pode ocorrer com a adição de sub-roti-

nas que não modificam o corpo principal do programa de modelamento que define a topologia.

O modelamento por fronteira define formas usando as relações de Euler, que diz:

$$\text{Vértices} + \text{Faces} - \text{Arestas} = 2$$

Quando os corpos possuem furos e passagens a relação se torna:

$$\text{Vértices} + \text{Faces} - \text{Arestas} - \text{Furos} - 2 \times \text{Corpos} + 2 \times \text{Passagens} = 0$$

Aqui uma aresta é a fronteira entre duas faces adjacentes e a face uma superfície limitada.

Um cubo tem seis faces e doze arestas de Euler. Um vértice de Euler é cada extremidade de uma aresta de Euler. Arestas juntam-se em um ponto chamado vértice de Euler. O cubo possui oito vértices de Euler, conforme ilustrado na figura 3.38.

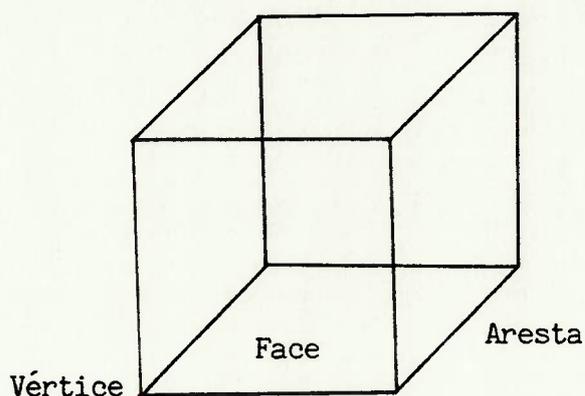


Figura 3.38 Elementos usados nas relações de Euler (1).

Na maioria dos programas a informação topológica e geométrica é retida nos modelos como nódulos. A estrutura do corpo é modelada como ligações de nós. Superfícies, pontos e trajetórias são então definidas para estabelecer a geometria de uma estrutura específica.

Uma superfície nodal é associada com uma ou mais faces nodais e resulta na geometria da face. Um ponto nodal é associado com um ou mais vértices produzindo uma coordenada fixa em três dimensões. Uma trajetória é associada com uma ou mais curvas nodais, fornecendo-lhes então a geometria de uma linha reta, círculo ou uma elipse.

Toda a vez que o usuário modifica a seção do modelo, o programa

mantém a lei de Euler de relações geométricas entre o número de faces, vértices e arestas. Ao garantir as relações de Euler o programa assegura que o modelo resultante permanece sem ambigüidades.

Os comandos típicos para modelamento B-rep:

- 1- Formar a face e o vértice
- 2- Formar a aresta e o vértice
- 3- Formar a aresta e a face
- 4- Eliminar a aresta e o vértice
- 5- Transladar
- 6- Rodar
- 7- Escondimento de linhas
- 8- Calcular área superficial, volume ou momento de inércia.

A principal vantagem do modelamento de fronteira é a ampla gama de geometrias que podem ser retratadas. Uma vez que não está restrito a formas primitivas, os pacotes de software são úteis no modelamento de geometrias com superfícies esculturais e outros contornos complexos. Se construído com a técnica de sólidos primitivos, essas formas complexas vão necessitar de muita interação com o usuário e consumir um grande tempo de processamento. Nessa categoria de superfícies estão peças tais como corpo de câmaras fotográficas, coletores de escapamento, coxins de motor, etc.

Uma outra vantagem do B-rep é que a fronteira da superfície do sólido é armazenada explicitamente e por isso não precisa ser extraída do modelo como ocorre com o modelamento CSG. Como resultado, os modelos por fronteira são imediatamente convertidos em modelos de arame para um posterior detalhamento e produção de desenhos técnicos.

As deficiências e qualidades de cada sistema de modelamento forçou o surgimento de sistemas híbridos e a diferença entre eles torna-se cada vez mais tênue à medida que a tecnologia continua a evoluir.

Muitos sistemas comerciais têm recursos de ambos os tipos. Alguns sistemas CSG possuem técnicas de varredura para gerar

primitivas definidas pelo usuário e muitos pacotes B-rep possuem operações Booleanas para combinar partes do modelo. Além disso, muitos programas de modelamento por primitivas convertem os modelos criados por sólidos primitivos em representação por fronteira para armazenamento e manipulação.

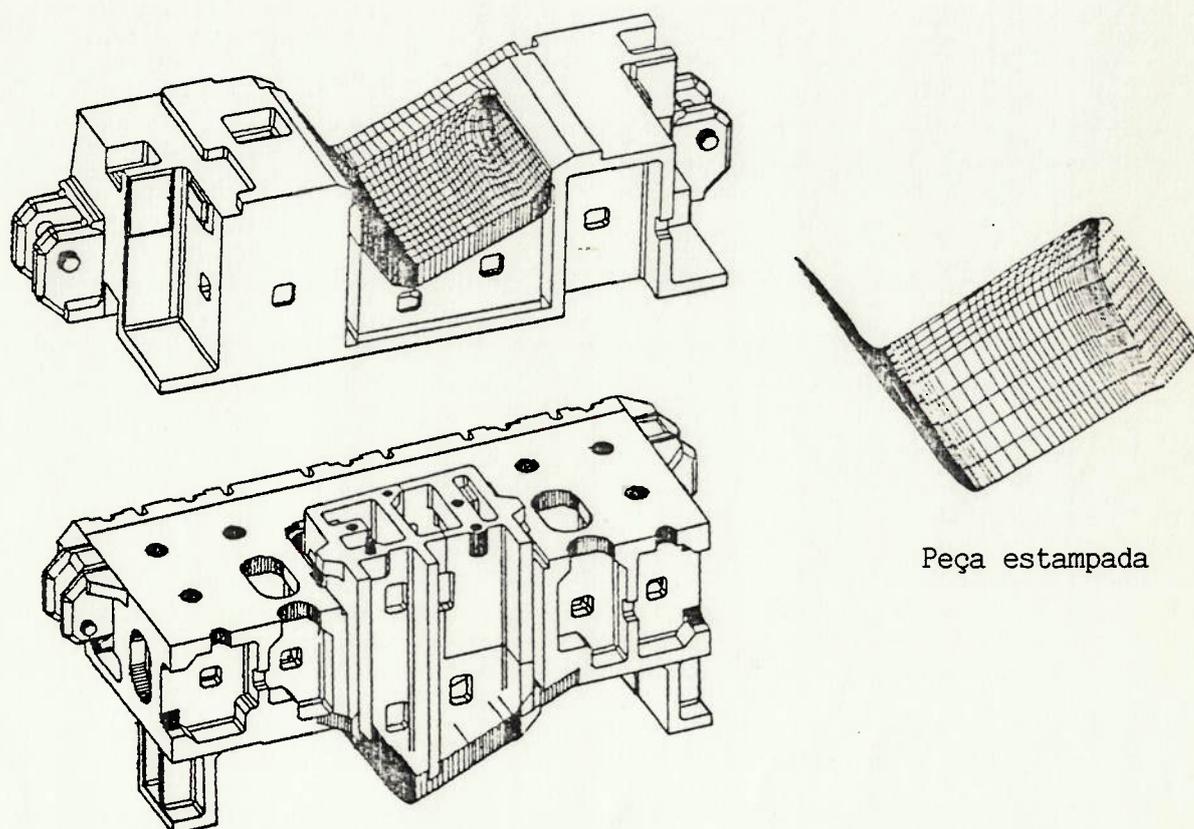


Figura 3.39 Uso conjunto de sólidos e superfícies na obtenção de matriz de estampagem. (24).

Essa tendência tem criado uma confusão considerável no modelamento sólido. A apresentação tridimensional e colorida são as mais destacadas na maioria dos pacotes de modelamento sólido e muitos usuários interpretam a tecnologia como forma de se obter imagens gráficas mais realísticas. Os modelos de arame com recursos de escondimento de linhas e modelos de superfícies sombreadas com diversos matizes também apresentam efeitos similares. Assim, muitos

usuários em potencial não têm certeza do que constitui a vantagem do sistema de modelagem sólida.

À medida em que as aplicações vão se generalizando, torna-se cada vez mais evidente que o uso conjunto de sólidos, superfícies e fio-de-aramé pode representar a solução ideal. Na figura 3.39 apresentamos o projeto de uma ferramenta. A peça em superfície é anexada ao bloco da ferramenta para formar a matriz.

Por outro lado, as áreas de aplicação vão determinar a conveniência ou não de um modelador. Na figura 3.40 mostramos como o nível de representação se relaciona com a aplicação.

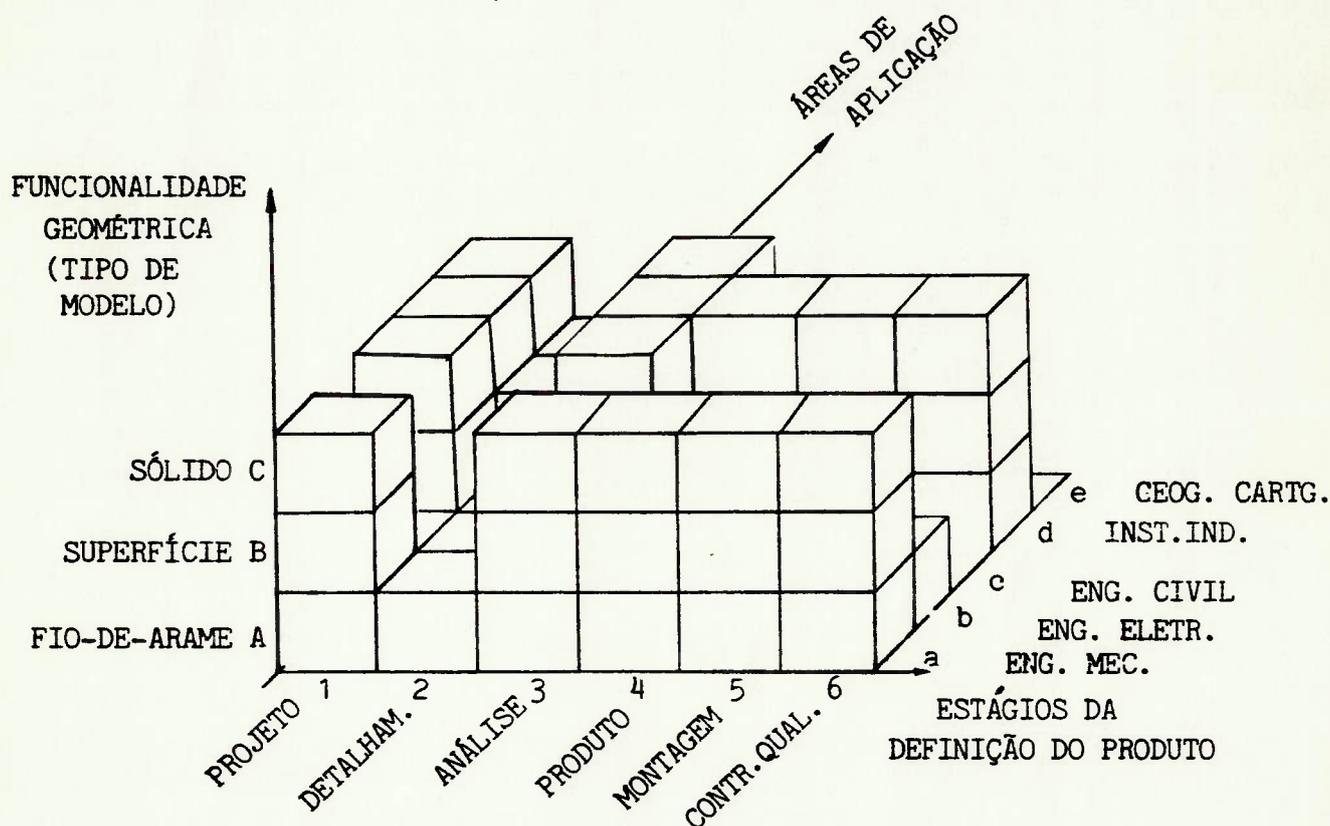


Figura 3.40 Tipos de aplicações e modelamento geométrico(24).

3.5. - Aplicações de Modelamento 2D vs. 3D.

A decisão de se utilizar um modelo 2D ou 3D depende de vários fatores entre os quais destacamos: complexidade do desenho, uso posterior do modelo, recursos do sistema. É claro que não vamos usar um sistema 2D para buscar representações 3D. Por outro lado, temos grandes vantagens quando fazemos desenhos 2D em sistemas 3D.

A maioria dos sistemas CAD/CAM no início de uma seção pergunta ao usuário se o modelo será 2D ou 3D. Após a escolha 3D o sistema abre um volume de trabalho com os eixos x,y,z, Portanto, se for necessário um modelo 3D defino as outras vistas na tela, conforme figura 3.41.

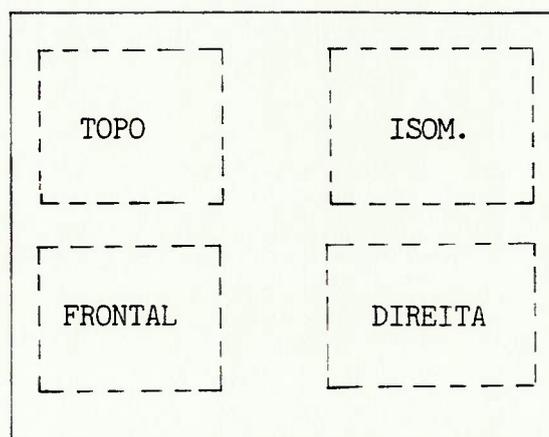


Figura 3.41 Definição de vistas para modelamento 3D. Projeção 3.º diedro.

Modelamento 2D

É mais rápido o treinamento dos operadores. Porém, o ganho inicial não compensa o uso limitado dos modelos 2D além de transformar o sistema CAD em uma versão moderna da prancheta de desenho. Modelamento 2D se aplica aos desenhos de esquemas elétricos, hidráulicos, onde não é necessário adicionar informações geométricas (dimensões, coordenadas), bastando somente informações de conteúdo (válvula, bom-

ba, etc.).

O modelamento 2D aplica-se também ao desenvolvimento de layout de instalações industriais, neste caso com a informação geométrica agregada, e estudos de distribuição de divisórias e mobiliário de escritórios.

O uso de modelos 2D em engenharia mecânica é restringido porque os sistemas não permitem a inserção de modelos 2D em modelos 3D. Nesse caso um parafuso ou arruela ou mesmo uma engrenagem de dentes retos, peças que têm em 2D uma representação satisfatória, não poderiam ser inseridas no modelo explodido de desenho de montagem ou ilustração técnica.

Modelos 3D

No caso de modelamento 3D temos que fazer considerações sobre o modelo de fio-de-arame, de superfície e de sólidos. O modelamento 3D atende as necessidades de projeto e desenvolvimento do produto no âmbito de engenharia e daqueles que têm acesso ao modelo. Considerando que ainda o meio de transferir informação é através de um desenho de detalhe cheio de cotas e notas, temos que nos preocupar com a obtenção do desenho técnico a partir do modelo 3D, para atender as demais áreas da empresa que vão se utilizar daquela informação.

Muitos trabalhos sobre CAD/CAM promovem a integração total em busca da manufatura integrada por computador, e dependendo da atividade industrial o objetivo da integração total pode ser alcançado imediatamente. A experiência tem mostrado que o objetivo, embora factível, está distante para a maioria das indústrias, pois existem inúmeros problemas pela frente. Problemas esses que vão desde o valor do investimento elevado até à falta de redes de comunicação e protocolos adequados, passando ainda pela necessidade de formação adequada de recursos humanos.

Em vista das considerações anteriores, no momento podemos dizer que o modelo 3D com fio-de-arame e superfícies, atende as neces-

sidades de projeto mecânico. Os softwares que dispõem de superfícies apresentam recursos para cálculo de volume e propriedades de massa através de integração das seções das peças. O uso do modelo de superfície vai permitir o detalhamento posterior mais facilmente. A figura 3.42, ilustra uma das dificuldades de conversão de modelos 3D em desenhos técnicos. A obtenção da cota exige que o sistema encontre as intersecções das arestas o que só é possível se os lados forem de fato linhas e não contorno de superfície. Na indústria em geral, o detalhamento de um modelo 3D demora de 3 a 4 vezes mais tempo que a construção do modelo 3D.

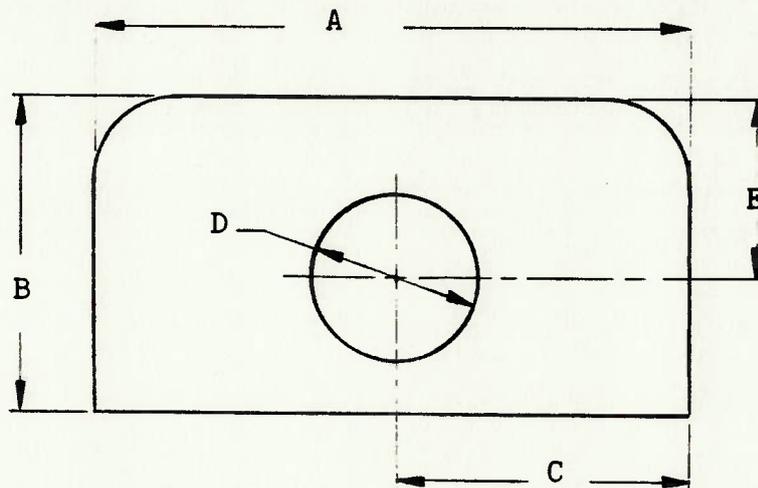


Figura 3.42 Exemplo de colocação de cotas.

Outra dificuldade apresentada pelo detalhamento na obtenção da informação do modelo é ilustrada na figura 3.43. Qual dos Raios o sistema lê para dar o valor R desejado?

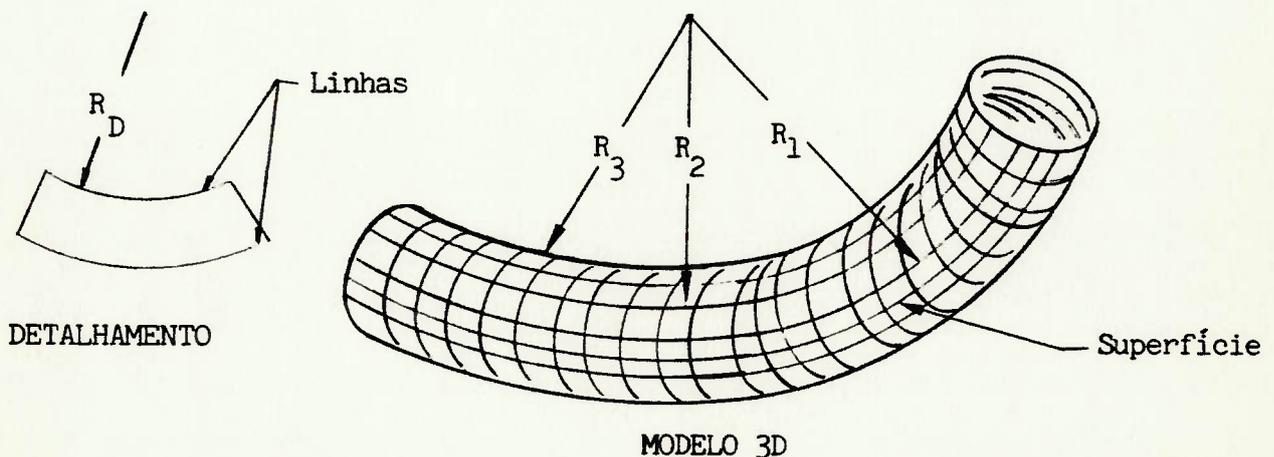


Figura 3.43 Detalhamento de um tubo curvo da seção circular.

Detalhe	.Peças parametrizadas com valores tabelados .Manufatura utiliza os valores tabulados	2D	.Construído em ambiente 2D.
Montagem	.Montagem simples -Poucas entidades geométricas .Manufatura não vai usar posteriormente.	3D	.As peças vem nos modelos em que foram construídas (fio-de-arame, superfície ou sólido).
Montagem	.Montagem complexa- grande número de entidades geométricas .Manufatura não vai usar posteriormente	3D* ou 2D	.As peças são montadas como foram criadas. Alguns sistemas fazem cópias 2D de modelos 3D.
Montagem	.Estudos preliminares, de viabilidade. .Não tem uso posterior previsto.	2D	.Somente estudo de conjuntos. O projeto final será 3D.

* Modelos 3D são mais adequados. O projeto pode ser feito em 2D após análise detalhada em conjunto com o responsável pelo projeto. Nunca se deve esquecer que os modelos 3D podem ser colocados em qualquer orientação no espaço e permitem usos múltiplos tais como publicações técnicas, análises de engenharia, projeto de ferramental, etc.

Conclusões

- .Utilizam-se modelos 2D para desenhos esquemáticos onde não há necessidade de informação geométrica.
- .Utilizam-se modelos 2D para esboços e layouts onde somente a representação do plano for suficiente e cujo modelo não seja utilizado futuramente para ambiente 3D.

- .Usa-se modelamento misto: fio-de-arame, superfície e sólido, sempre que for necessário preparar o modelo 3D para detalhamento posterior.
- .Todo o banco de dados deve ser 3D para possibilitar múltiplos usos.
- .O uso de fio-de-arame, superfície ou sólido é a critério do projetista. Dependerá basicamente de seu conhecimento do sistema, conhecimento do produto e experiência em projeto.
- .Não existem peças exclusivas para modelamento sólido, quando se considera o múltiplo uso do banco de dados e o seguimento de informação exigir um posterior detalhamento da peça.
- .O modelamento 3D por sólidos apresenta dificuldades inerentes ao processo, por obrigar o projetista a considerar as três dimensões simultaneamente.

4- CAD/CAM NA ENGENHARIA MECÂNICA

4.1 - Projeto e Desenvolvimento de Produto

As técnicas de CAD/CAM influenciam os sistemas de engenharia ao transformarem as tarefas repetitivas no desenvolvimento de projeto em simples comandos ou sub-rotinas facilmente processados pelo computador.

O processo de projetar qualquer produto é caracterizado por Shigley(42) como um processo interativo que consiste de seis fases:

- 1- Reconhecimento da Necessidade
- 2- Definição do Problema
- 3- Síntese
- 4- Análise de Otimização
- 5- Avaliação e Crítica
- 6- Apresentação

(Ver figura 4.1)

Reconhecimento da Necessidade

Esta fase envolve o reconhecimento de que um problema existe e para o qual uma ação corretiva deve ser tomada. Pode ser a identificação pelo engenheiro de algum defeito em um projeto atual de uma máquina ou a percepção de uma oportunidade de um novo produto para o mercado sugerido pela área de vendas e marketing.

Definição do Problema

Envolve a completa especificação do item a ser projetado. Essa especificação inclui as características físicas e funcionais, custo, qualidade e desempenho operacional.

Síntese, Análise e Otimização

As fases de análise e síntese estão bem inter-relacionadas e

são bastante interativas durante o processo do projeto. Um certo componente ou um subsistema de um sistema global é concebido pelo projetista, submetido a análise; aperfeiçoado com o resultado da análise e reprojeto. O processo é repetido até que o projeto tenha sido otimizado com as restrições impostas pelo projetista. Os componentes e subsistemas são sintetizados no sistema global com uma proposta final também de forma interativa e com processo similar.

Avaliação e Crítica

São relacionadas com a comparação do projeto contra as especificações estabelecidas na fase de definição do problema. Essa avaliação frequentemente requer a fabricação e teste de um modelo protótipo para estimar o desempenho operacional, qualidade, confiabilidade e outros critérios. A fase final do projeto é sua apresentação.

Apresentação

A apresentação é a forma final do projeto e requer recursos visuais que auxiliem a perfeita compreensão do problema e das soluções apresentadas. A apresentação trata da documentação de projeto através de desenhos, especificação de material, lista de montagem e assim por diante. Essencialmente, a documentação requer que um banco de dados de projeto seja criado.

PROCESSO DE PROJETO

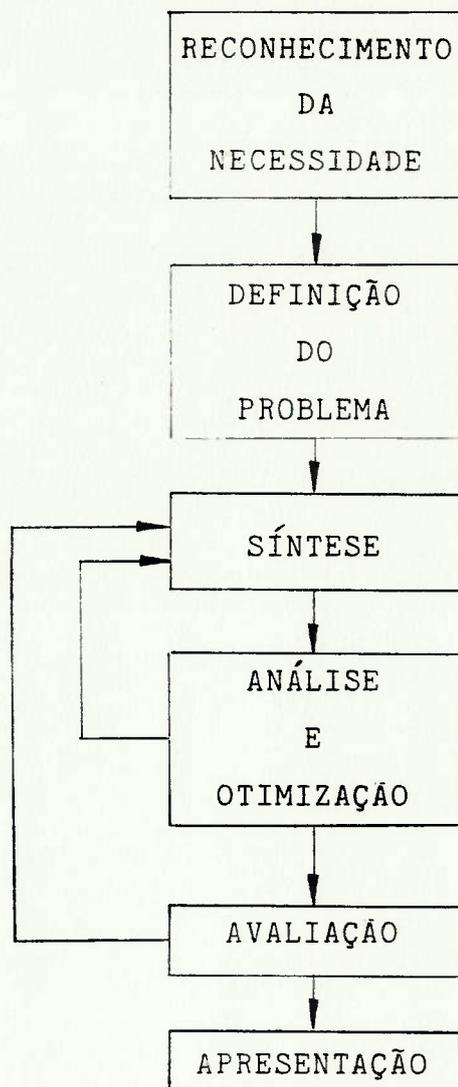


Figura 4.1 Processo geral de projeto (42).

O processo do projeto experimenta modificações devido ao uso das técnicas de CAD/CAM. As várias tarefas relacionadas ao projeto, que sofrem a influência do CAD/CAM podem ser agrupadas em quatro áreas funcionais:

- . Modelamento geométrico
- . Análises de engenharia
- . Avaliação e revisão de projeto
- . Geração automática de desenhos

Essas quatro áreas correspondem às quatro fases finais do processo geral de projeto descrito por SHIGLEY. O modelamento geométrico corresponde à fase de síntese, na qual o projeto toma forma (se materializa) no sistema gráfico interativo. A análise de engenharia corresponde à fase de análise e otimização. Avaliação e revisão de projeto é a quinta fase do processo geral de projeto. Geração automática de desenhos requer o procedimento para converter o projeto residente na memória do computador em documento impresso, que se torna um recurso importante para apresentação do projeto, sexta e última fase do processo geral. A influência de CAD/CAM no desenvolvimento de projeto é representado na figura 4.2.

PROCESSO DE PROJETO

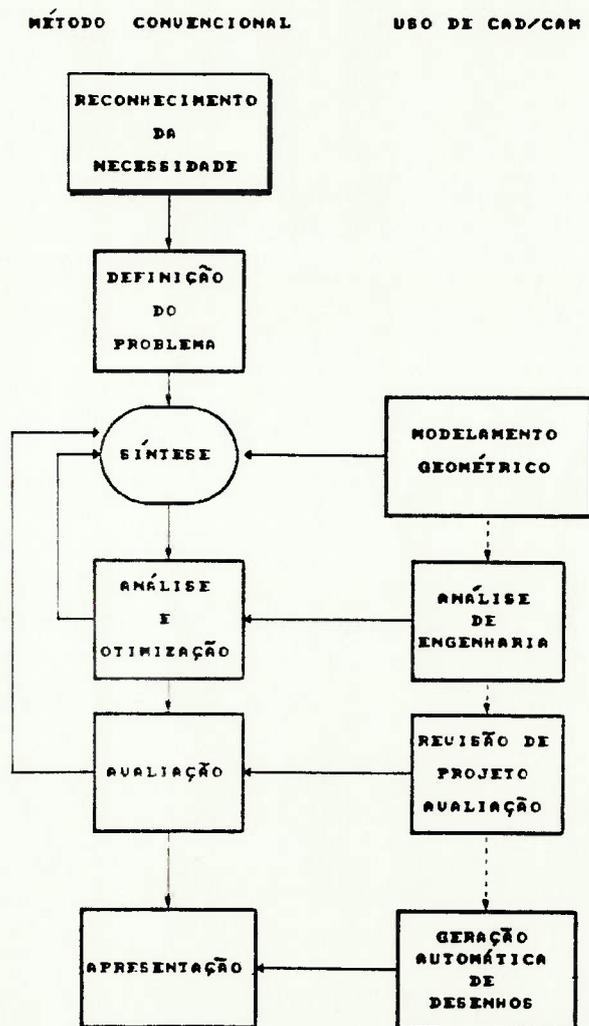


Figura 4.2 Influência de CAD/CAM no processo geral do projeto.

Modelamento Geométrico

Os métodos utilizados no modelamento geométrico já foram apresentados no cap. 3.

O impacto provocado no projeto mecânico é resultado dos múltiplos usos do modelo residente na memória do computador (banco de dados). Temos nesse modelo uma oportunidade de eliminarmos a maioria das dificuldades encontradas no desenho manual, nos fornecendo vantagens em:

- . Redução dos erros de colocação de cotas e atribuição de tolerâncias, redução das notas de desenho e especificação de materiais.
- . Erros de leitura na escala para colocação dos valores dimensionais.
- . Reduz a criação de peças praticamente iguais às já existentes no banco de dados. Aqui ocorre uma interação muito grande com o CAM através da tecnologia de grupo, que nos permite agrupar e classificar peças basicamente iguais.
- . Padronização de normas de desenho.
- . Uniformização da especificação de tolerâncias e acabamento, que influem no custo da peça.
- . Garantia de atualização da peça e em todos os conjuntos nos quais estiver inserida, automaticamente, após a execução da modificação proposta pela engenharia.
- . Fornece clareza nos detalhes de fabricação, por exemplo, um desenho ampliado do rasgo da chaveta.
- . Reduz a repetição de números de identificação iguais para peças diferentes, erro comum em processo convencional de arquivamento da informação, às vezes, com resultados catastróficos.

Análise de Engenharia

Na formulação de quase qualquer desenvolvimento de projeto de

engenharia, alguns tipos de análise são necessários. A análise pode envolver cálculos de tensão - deformação, de transferência de calor, ou uso de equações diferenciais para descrever o comportamento dinâmico do sistema projetado. O computador pode ser usado para auxiliar nesse trabalho de análise. É frequentemente necessário que programas específicos sejam desenvolvidos internamente pelo grupo de análise de engenharia para resolver um problema em particular. Em outras situações, os programas comerciais já disponíveis podem ser largamente utilizados.

Os sistemas CAD/CAM podem ser utilizados para uso conjunto com softwares de análise em engenharia. Existem centenas de softwares de engenharia disponíveis. Entre as áreas do conhecimento que possuem boas soluções já desenvolvidas podemos citar (43), considerando-se somente Engenharia Mecânica:

- . Análise computacional de fluidodinâmica e termodinâmica
 - Execução de análises lineares e não-lineares; em regime estacionário ou transiente, transporte de calor por fluídos, condensação, ebulição.
 - Modelamento 3D de turbulências
 - Convecção natural e forçada
 - Análises de percolação
 - Estudo de radiação
 - Estudo de fases líquido-gasosas, etc.

- . Análise Estrutural
 - Método dos elementos finitos para análise estática, dinâmica, linear e não linear.
 - Análises de injeção de plástico (pressão, temperatura e velocidade).
 - Análise de materiais elásticos; Elasto-plástico ou visco-plástico.
 - Análise Cinemática e Dinâmica de mecanismos

- Análise cinética, cinemática, quase estática e análise modal
- Controle de atuadores
- Administração e controle de projetos.

Não é imprescindível ter-se um software de análise para fazer estudos de engenharia. Os recursos de CAD disponíveis na maioria dos sistemas CAD/CAM propiciam enorme oportunidade de se aplicar engenharia. Há recursos de cálculo de propriedades geométricas de seções e propriedades de massa. Encontramos em LANGE (21) um bom exemplo de aplicação de um sistema CAD na solução de problemas mecânicos. LANGE se utiliza de equipamento da Computervision para cálculos de tensão e deformação, para determinação de tensões principais; análise de mecanismos e obtenção de força de Coriolis. Um recurso de CAD muito útil em dimensionamento é a associatividade de entidades geométricas que permite que um deslocamento de uma provoque o movimento das outras, o que nos leva ao desenvolvimento de programas para análise de mecanismos (44). Com o uso de recursos computacionais na análise de engenharia o engenheiro pode otimizar seus projetos, porém a utilização desse potencial vai requerer maiores conhecimentos do engenheiro.

Revisão de Projeto e Avaliação

Verificação da adequação de um projeto pode ser obtido convenientemente num terminal gráfico. Dimensionamento semi-automático e rotinas para tolerâncias que atribui especificações para superfícies indicadas pelo usuário ajudam a reduzir a possibilidade de erros de dimensionamento. O projetista pode ampliar um detalhe do projeto ou ampliar a imagem na tela para uma verificação de perto.

O recurso que distribui o desenho em várias camadas, como transparências, é muito útil para revisão do projeto. Por exemplo, uma boa aplicação desse recurso envolve a sobreposição de imagem de um formato final de uma peça trabalhada sobre a imagem de peça bruta fundida. Isso garante que existe material suficiente na fundição para permitir a usinagem para as dimensões finais. Esse procedimento

pode ser efetuado em estágios para verificar cada passo sucessivo no processamento da peça.

Outro procedimento relacionado com a revisão de desenho é a verificação de interferências. Por exemplo, a análise de uma estrutura montada na qual existe um risco de que os componentes do conjunto podem ocupar o mesmo espaço. Esse risco ocorre no projeto de grandes plantas químicas industriais, suspensão de automóveis e estruturas tubulares complicadas.

Um dos mais interessantes recursos de avaliação em alguns sistemas computacionais é a cinemática. Os pacotes para cinemática disponíveis fornecem a capacidade para animar o movimento de um mecanismo simples projetado, tais como componentes ligados ou de barras. Essa capacidade aprimora a visualização do projetista da operação do mecanismo e ajuda na verificação de interferências com outros componentes. Sem cinemática gráfica em sistema CAD, os projetistas normalmente utilizam modelos de cartões para representar o mecanismo. Pacotes comerciais de software estão disponíveis para efetuar análise cinemática. Entre esses programas citamos ADAMS (Automatic Dynamic Analysis of Mechanical System) desenvolvido na Universidade de Michigan. Esse tipo de programa pode ser muito útil para o projetista na construção do mecanismo necessário para realizar um movimento específico e/ou força.

Geração Automática de Desenhos

A geração automática de desenhos envolve a criação de cópias impressas dos desenhos de engenharia diretamente do banco de dados. Nas primeiras aplicações de CAD, a automatização do processo de desenho representava a principal justificativa para investimento em sistemas CAD. De fato, os sistemas CAD podem aumentar a produtividade nas atividades de desenho por volta de cinco vezes mais em relação ao processo manual, dependendo da complexidade do desenho. Alguns dos recursos dos sistemas CAD atuais são especialmente bem adequados ao

desenho. Entre esses recursos podemos destacar o dimensionamento automático, geração de áreas hachuradas, desenhos de detalhe em escala e a capacidade de desenvolver seções e apresentar vistas de posições espaciais para facilitar a visualização de certos detalhes do projeto. A habilidade para rodar a peça ou executar outras transformações de imagem (vistas isométricas, oblíquas, ou perspectivas) como mostrado na figura 4.3, é uma ajuda significativa no processo de desenho. A maioria dos sistemas CAD são capazes de gerar mais de seis vistas da peça.

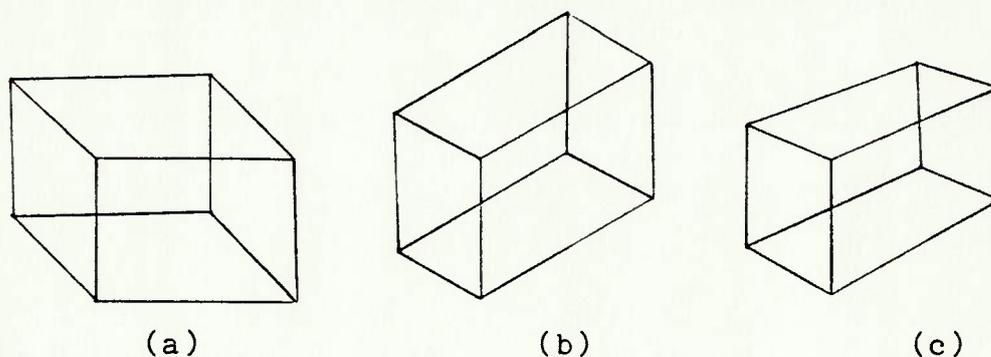


Figura 4.3 Três vistas de modelo fio-de-arama: (a) oblíqua, (b) isométrica, (c) perspectivas (19).

4.2 - Modelos Geométricos e Projetos Mecânicos

Um dos conceitos chaves em CAD/CAM é que as funções de projeto e manufatura são computadorizadas e também inter-relacionadas compartilhando um mesmo banco de dados. Isso permite ao engenheiro:

- . Definir a configuração do projeto
- . Analisar a estrutura e seus parâmetros funcionais
- . Introduzir dados de teste e observar o resultado
- . Produzir desenhos de engenharia. Isso é feito no mesmo terminal gráfico e a descrição geométrica pode ser usada para:
 - a) Ponto de partida para programação CN
 - b) Determinar os planos de processo
 - c) Estabelecer as instruções para robótica
 - d) Gerenciar as operações de fábrica.

A evolução da tecnologia CAD/CAM tem resultado na integração de diversas áreas técnicas que se têm desenvolvido separadamente nos últimos trinta anos: projeto, análise e fabricação.

No princípio, os sistemas CAD eram usados para produção de desenhos técnicos. Atualmente os sistemas gráficos interativos possuem recursos que permitem avaliar as peças projetadas para se criar um modelo do sistema. Esse modelo é então utilizado para prever o comportamento de uma estrutura completa durante sua vida útil. A simulação computacional é utilizada para determinar um regime de trabalho preciso, de forma que os componentes possam ser dimensionados adequadamente.

Alguns componentes mecânicos podem ser testados precisamente e com menor custo em vez de ser modelados. Essas peças encontram-se entre aquelas que têm pouca rigidez, tais como amortecedores ou coxins de motor. Esses componentes são geralmente testados em vez de modelados para determinação das características estruturais, tais como modos de flexão. Os dados empíricos obtidos desses testes podem então ser combinados com a análise de outros componen-

tes do sistema.

A parte crítica do processo de projetar é o modelo do sistema, que conforme vimos, é a representação matemática da estrutura completa que é armazenada no computador. O modelo é criado pela combinação dos dados dos componentes individuais e subconjuntos. Esses dados podem vir de análises por elementos finitos, testes modais ou outro banco de dados, dependendo dos dados disponíveis. Alguns componentes automotivos, tais como pneus, amortecedores, coxins de motores são ensaiados e seus dados vão alimentar os programas de análise estrutural e simulação dinâmica de um chassi de automóvel, por exemplo.

Comentamos a seguir diversas aplicações de modelos no projeto de engenharia.

Análise por Elementos Finitos (56) (57)

Um programa de elementos finitos combina as matrizes de rigidez a fim de caracterizar toda a estrutura. Na construção do modelo de elementos finitos, os nós dos elementos estão em cada mudança de seção na estrutura conforme mostrado na figura 4.4.

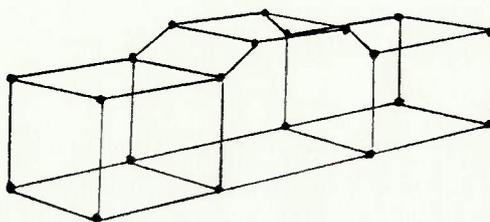


Figura 4.4 Malha grosseira de elementos finitos que representa aproximadamente a estrutura da peça.

Os nós adjacentes podem ser conectados através de outros elementos com as propriedades de material, tais como módulo de elasticidade, propriedades de rigidez, como por exemplo momento de inércia e constante torcional. Com esses dados, o computador calcula as defle-

xões nodais no espaço tridimensional. As deformações da estrutura e a distribuição das tensões podem ser obtidas daquelas deflexões.

O modelo de elementos finitos deve ter uma geometria tão simples quanto possível. O mais importante é que o modelo seja capaz de permitir o uso de geração automática das malhas, o que facilita a parte mais demorada na criação do modelo.

Projeto de Mecanismo

Inúmeros programas têm sido desenvolvidos para o projeto de mecanismo e articulações. Esses programas se classificam em três classes:

- 1- Síntese cinemática. Programas criam articulações à medida que o usuário fornece a informação sobre o tipo de movimento desejado. Destina-se a gerar um mecanismo que atenda determinada tarefa e que otimize fatores como eficiência na transmissão de carga.
- 2- Análise cinemática. Programas são usados para simular o movimento produzido por uma determinada configuração de mecanismo. Destina-se a determinar as características do mecanismo como por exemplo, velocidade, aceleração, força etc.

Os tipos de problemas que os programas cinemáticos vão resolver podem ser classificados em três áreas:

- 1- Projeto cinemático
- 2- Desempenho dinâmico
- 3- Integridade estrutural ou estática

Projeto de mecanismo pode ser classificado como sendo espacial ou plano. Movimento plano é aquele em que os mecanismos se movem em trajetórias que estão em planos paralelos; não são necessariamente coplanares. Mecanismos espaciais descrevem trajetórias que não estão em planos paralelos. A maioria dos programas resolve problemas de mecanismos planos, nem todos analisam mecanismos espaciais.

Os programas que analisam desempenho dinâmico fornecem informa-

ções sobre as características do movimento tais como, tempo de resposta, frequências naturais do sistema e cargas variáveis no tempo. A análise determina as forças aplicadas ao mecanismo e é útil no dimensionamento de atuadores e outros dispositivos de potência.

Análise estrutural determina as forças que atuam no mecanismo, ou em repouso ou em movimento com velocidade uniforme.

O modelo do sistema simula o desempenho do produto no computador mais rápido do que em testes de protótipo, conforme os métodos tradicionais de construção-e-teste.

Uma outra classe de software menos comum que pode ser usado para análises complexas de sistemas sob grandes deslocamentos dinâmicos é o ADAMS. Esse software pode ser usado para determinar a deflexão do sistema de suspensão do automóvel à medida que ele faz uma curva e para determinar a força no chassis quando a roda bate em um objeto.

Outros

Existem vários pacotes para análise de problemas de engenharia, entre outros podemos citar:

- Transferência de calor
- Fluidodinâmica
- Aeroelasticidade

Esses softwares na maioria das vezes englobam soluções linear e não-linear; regime transiente ou estacionário; problemas de calor e fluidodinâmica em conjunto. Fizemos um levantamento de alguns programas disponíveis no catálogo da SUN microsystem (43) e obtivemos o seguinte:

Aplicações	Qtde de Programas	Características
Fluidodinâmica	15	.Soluções de problemas de fluxo em regime linear, ou turbolento. Acoplado com problemas de transferência de calor.
Análise Estrutural	25	.Soluções estática e dinâmica com linearidade e não-linearidade material e geométrica. Carregamentos uniformes ou randômicos.
Mecanismos	6	.Síntese e análise cinemática de mecanismos. Obtenção de velocidade, aceleração e esforços internos dos elementos.
Projeto Mecânico	33	.Desenho e detalhamento de projetos. Recursos gráficos e de modelamento para desenvolvimento de novos produtos e sua apresentação visual. Modeladores de fio-de-arame, superfície e sólidos. Diversos recursos para transformar um modelo de uma peça em desenho de engenharia.
Modeladores MEF	16	.Auxiliam na preparação da malha para análise por elementos finitos. Possuem geradores de sólidos e superfícies. Apresentam diversos resultados tais como a estrutura deformada, e curvas de iso-tensão.
Total	98	

Não é objetivo deste trabalho fazer um levantamento das ferramentas disponíveis no mercado. O levantamento anterior teve caráter ilustrativo somente, mas chama à atenção para o número de ferramentas existentes à disposição da engenharia. Ferramentas mais ou menos complexas que requerem uma formação mais completa do ponto de vista teórico e fundamental dos problemas, para que se possam avaliar as respostas dos programas.

O uso de CAD/CAM e outros recursos computacionais na engenharia representa, sem dúvida, uma vantagem na análise de problemas. Porém, requer capacidade criativa na construção de modelos e no estabelecimento das condições de contorno. Em poucas palavras: Engenharia de volta às origens.

4.3 - CAD/CAM e Tecnologia de Manufatura

O uso de computadores nas operações de manufatura têm crescido rapidamente. Nas aplicações de recursos computacionais encontram-se controle de inventário, programação de produção, monitoramento de máquinas, gerenciamento de sistemas de informação e outras aplicações. Outra área de aplicação de computadores em manufatura é aquela de controle do processo físico de manufatura. Essa área é normalmente referida como manufatura auxiliada por computador (CAM).

Controle Numérico

A tecnologia mais sedimentada em CAM é controle numérico (CN). Essa é a técnica de controlar máquinas-ferramentas com informações pré-programadas, codificadas. Hoje é bastante comum máquinas-ferramentas automatizadas tais como furadeiras, tornos, cortadeiras, punçioneiras, ponteadeiras, retíficas, fresas com controle numérico.

Sistemas normais se utilizam de controle numérico por computador (CNC) no qual a máquina é controlada por um computador dedicado, com as instruções para usinagem arquivadas na memória. Os sistemas mais avançados podem se utilizar de controle numérico direto (DCN), que pode também ser chamado de controle numérico distribuído quando um computador central controla diversas máquinas via rede específica para esse tipo de comunicação.

Em um sistema CAD/CAM totalmente integrado com um banco de dados compartilhado, o processador pode extrair praticamente toda a informação necessária para gerar as instruções CN. A descrição das peças pode ser obtida do modelo geométrico no banco de dados, e os parâmetros de usinagem podem ser tomados dos dados de planejamento de processo.

Usando-se esse esquema gerador de programação, o processador pode:

- 1- Automaticamente reconhecer o modelo sólido da peça.

- 2- Identificar o material a ser removido para desenvolver a peça
- 3- Selecionar as ferramentas necessárias para produzir a peça.

O uso de CAD/CAM na manufatura vai muito além da programação de máquinas de controle numérico. Entre as principais atividades que são diretamente afetadas por CAD/CAM podemos citar:

- Robótica
- Planejamento de Processo (CAPP)
- Tecnologia de Grupo (GT)
- Planejamento e Controle da Produção (PPC)
- Planejamento de Recursos de Produção (MRP)
- Controle de qualidade

Todas essas atividades se integram naquilo que se convencionou chamar Sistemas Integrados de Gerenciamento da Produção Auxiliado por Computador (CIPMS). Recomendamos GROOVER (18) para uma visão do uso e aplicação de CAM até 1980, inclusive para uma comparação entre aquilo que se previa nessa área e o que de fato aconteceu. Em GROOVER e ZIMMERS (19) temos um estudo detalhado dessas tecnologias inclusive em termos qualitativos da produção. Aos poucos as fábricas vão se tornando ambientes silenciosos, limpos, informatizados, verdadeiros escritórios de produção, graças ao uso intensivo de CAD/CAM.

4.4 - Observações

O projeto de qualquer produto pode envolver a descrição do comportamento dos materiais, métodos de produção, dimensões geométricas, estimativa de vida útil e assim por diante, da forma mais precisa possível. O engenheiro faz uso de matemática, física, mecânica dos fluídos, transferência de calor, análise de estruturas, teoria da probabilidade, estatística, etc., para analisar peças que vão sendo desenvolvidas o mais próximo do problema real.

Nas últimas décadas uma série de disciplinas foram surgindo como resultado do esforço da pesquisa para melhor atender a crescente sofisticação dos projetos que naturalmente acompanham as exigências de maior segurança, confiabilidade, baixo custo, alto desempenho etc. Entre outras podemos destacar:

- 1- Desenvolvimento de análises por elementos finitos (definição da tensão).
- 2- Pesquisa em fadiga de materiais (comportamento do material sob cargas dinâmicas e mecanismo da falha).
- 3- Desenvolvimento dos estudos de Mecânica da Fratura (mecanismo de propagação de trinca e falha).
- 4- Desenvolvimento de projeto com enfoque probabilístico (uma correspondência melhor entre o desempenho previsto e o comportamento real dos sistemas mecânicos).
- 5- Otimização (aperfeiçoamento em eficiência e economia).

De todos os resultados, aquele que englobou o avanço tecnológico foi CAD/CAE/CAM. Essa tecnologia reduz o espaço de tempo entre uma descoberta científica e sua aplicação industrial.

Para a Engenharia Mecânica, CAD/CAM contribuiu para:

- . Liberar o engenheiro para exploração e análise de novos conhecimentos na busca incessante da otimização.

- . Reduz o erro de projeto no que tange a processo de desenho e fabricação.
- . Possibilita mais alternativas para um dado problema; pois sabe-se que em projetos sempre temos várias soluções.
- . Estimula a atividade criativa.
- . Melhora a qualidade de projeto. Esse efeito é por demais significativo, uma vez que a maioria dos problemas de qualidade têm sua raiz na prancheta do engenheiro.

O projeto mecânico presentemente engloba os seguintes requisitos:

A- Considerações tradicionais

1- Para o conjunto ou componentes:

- a- Resistência
- b- Deflexões e deslocamentos
- c- Peso
- d- Tamanho e forma

2- Para superfície do componente:

- a- Atrito e desgaste
- b- Lubrificação
- c- Corrosão
- d- Forças de atrito
- e- Calor gerado pelo atrito

3- Custo:

- a- Método de fabricação
- b- Volume a ser fabricado
- c- Tolerâncias dimensionais
- d- Controle de qualidade

B- Considerações modernas

1- Segurança:

- a- Ativa e passiva
- b- Pessoal e contra os demais

2- Ecologia:

- a- Efeitos ambientais.

- b- Poluição térmica
- c- Conservação de recursos naturais
- d- Redução de barulho

3- Qualidade de vida:

- a- Disponibilidade de bens e serviços

C- Considerações mistas

- 1- Confiabilidade e manutenção.
- 2- Estética.

De acordo com as considerações acima, o uso de CAD/CAM na Engenharia Mecânica como recurso para aumento de produtividade e qualidade industrial é um auxiliar seguro para os novos desafios.

PARTE II: ASPECTOS GERENCIAIS DE SISTEMAS CAD/CAM
NA ENGENHARIA MECÂNICA

" Para se ter sucesso na utilização de CAD/CAM,
deve-se ter a tecnologia certa, o pessoal cer-
to e a abordagem gerencial correta."

5- SISTEMAS CAD/CAM: DECISÃO ESTRATÉGICA

5.1 - Considerações Gerais

A sobrevivência de qualquer empresa depende de sua flexibilidade de adaptação às necessidades do mercado, de atender as regulamentações governamentais, de melhor controle de custos, qualidade de recursos humanos, em uma palavra: competitividade.

Sistemas CAD/CAM fornecem a possibilidade de manter aqueles objetivos sob monitoramento contínuo, admitindo-se um banco de dados integrado entre engenharia e manufatura que pode ser acessado pela área administrativa, formando um grande sistema de informações gerenciais.

CAD/CAM permite que se executem tarefas altamente técnicas e essenciais tanto em ciência como na indústria - executa-as de forma mais rápida, mais fácil, precisa e mais econômica, que os métodos tradicionais. Portanto CAD/CAM é um investimento com retorno assegurado em poucos anos além de representar um caminho sem volta na evolução tecnológica e do aprimoramento do pessoal da empresa.

Se existe uma palavra que resume o significado de CAD/CAM é produtividade, objetivo básico tanto de indústrias, quanto de nações. Todos desejam usar melhor suas fontes de recursos para compensar o crescente custo de pessoal e matéria prima.

Mais do que nunca, para algumas pequenas e médias empresas, a compra de um sistema CAD/CAM não é simplesmente um movimento na direção do aumento de produtividade ou para ampliar sua posição de mercado; é um passo que deve ser dado em busca de sobrevivência a médio e longo prazos. Nesses casos - e com a expansão de mercado e frequentes mudanças do lado da demanda - a aquisição de sistemas CAD/CAM é essencial. Naturalmente que para muitas empresas no mercado brasileiro há muito que ser feito antes que CAD/CAM represente a única alternativa para um passo a mais na produtividade; mas é inevitável que todas chegarão lá.

5.2 - Razões Para Instalar Sistemas CAD/CAM

Esta análise, longe de pretender ser definitiva, apresenta os três fatores principais de pressão para aquisição de sistemas CAD/CAM. Todos eles resultam de fatores de mercado e aplicações em projeto, independente do tamanho da companhia. São eles:

- . Aumento de complexidade de produtos
- . A necessidade de se atender o mercado prontamente
- . A necessidade de aumento de produtividade, a fim de aumentar o lucro.

Essa demanda externa obriga a uma reação interna na empresa, que estabelece objetivos específicos a serem alcançados com CAD/CAM, a saber:

- . Redução de custos
- . Aumento de qualidade do produto
- . Aumento de participação no mercado
- . Aquisição de capacitação tecnológica com a consequente elevação de nível técnico do pessoal de Engenharia e Manufatura exigido pela tecnologia CAD/CAM.
- . Melhorar os critérios para aprovação de novos projetos
- . Aumentar a padronização de componentes com redução de complexidade.
- . Melhorar comunicação interdepartamental
- . Acelerar a apresentação de propostas para concorrências de fornecimento.
- . Redução dos prazos globais de projeto.

Na tabela 5.1 apresentamos uma lista de benefícios decorrentes do uso de CAD/CAM, normalmente apresentados pelas empresas e encontrados na literatura. Tem o propósito de orientar o usuário a encontrar aquelas áreas onde melhor se identifica sua empresa para uso de CAD/CAM.

Tabela 5.1 - Benefícios mais comuns do uso de CAD/CAM.

-
- . Aumento de qualidade no projeto do produto
 - . Uso generalizado de técnicas de análise e simulação
 - . Possibilidade de estudar mais alternativas de projeto
 - . Potencial para projetar peças mais complexas e precisas
 - . Redução do tempo no ciclo projeto-detalhamento
 - . Capacidade aumentada para investigar interferências entre peças
 - . Mais fácil atualização de desenhos
 - . Reduzida necessidade de protótipos
 - . Melhor compreensão visual da peça projetada
 - . Fácil cálculo de propriedades geométricas
 - . Redução de aparas devido a um melhor plano de corte
 - . Facilitada a produção de listas de materiais
 - . Melhor qualidade de desenho
 - . Fácil obtenção de vistas isométricas, perspectiva e vistas explodidas
 - . Melhor documentação para suporte pós-venda
 - . Redução do tempo de programação CN
 - . Facilita a programação de peças complexas
 - . Melhores programas CN devido à simulação de trajetória da ferramenta
 - . Aumento potencial de reutilização de peças e ferramentas
 - . Reduz a necessidade de sub-contratação de serviços
 - . Melhor agilidade para modificações solicitadas pelo consumidor
 - . Reduz custo de material pela otimização de projeto
 - . Redução dos custos de energia e tempo de máquina resultantes de projeto e fabricação otimizados
 - . Redução dos problemas associados ao uso de papel como meio de transferir informação
 - . Redução dos erros de transcrição de desenhos pelo uso do mesmo banco de dados
 - . Possível estimular o uso de procedimentos padronizados
 - . Facilita o gerenciamento de projetos.

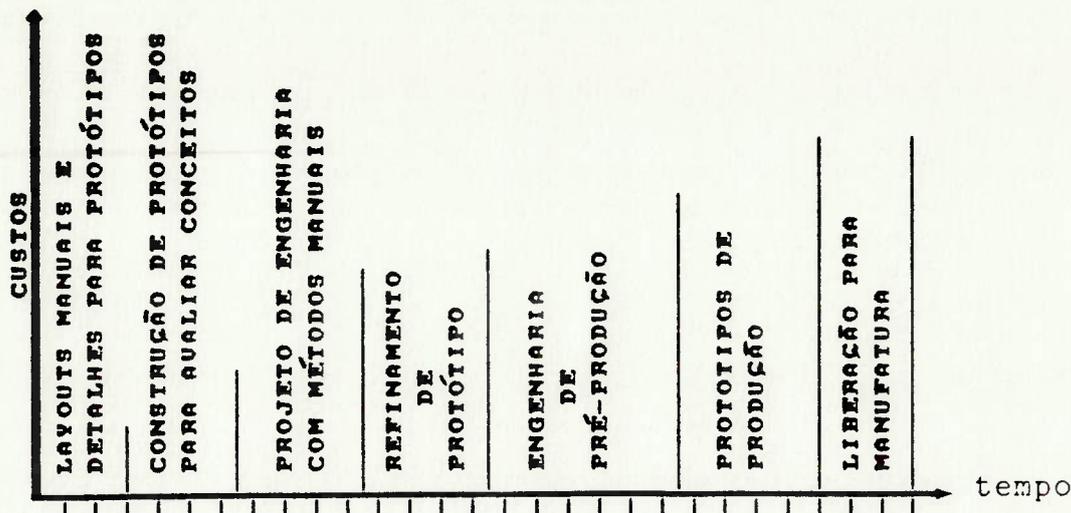
5.3 - Quando Instalar um Sistema CAD/CAM

A instalação de sistema CAD/CAM em uma empresa deve ser precedida de uma avaliação criteriosa do seu processo de produção e suas potencialidades de expansão no mercado. Um sistema CAD/CAM deve ser implantado quando ele representar para aquela atividade uma possibilidade efetiva de melhora dos processos de projeto e de manufatura.

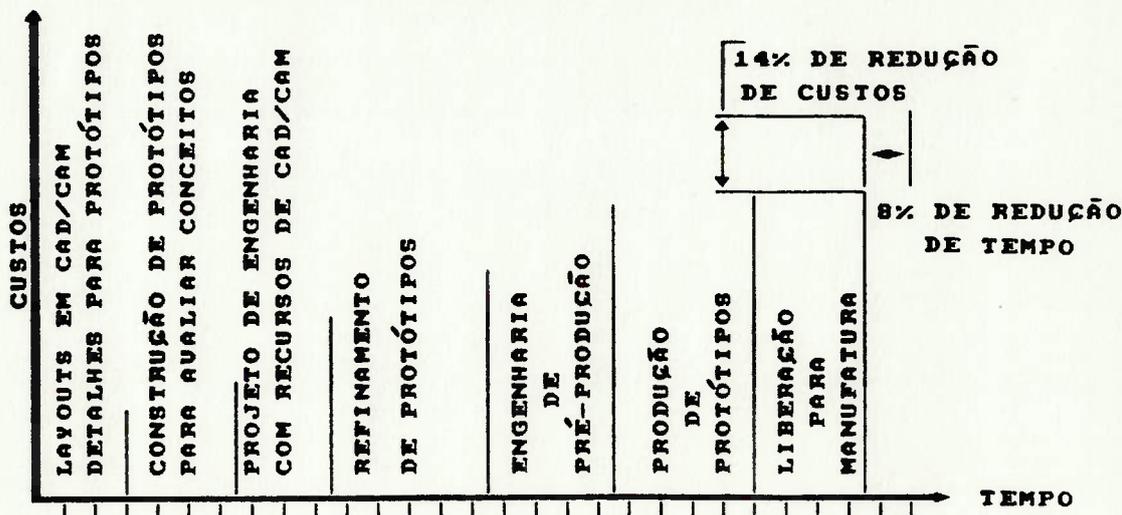
Sistemas CAD são efetivos naquelas empresas que desenvolvem seus produtos e que têm necessidade de desenhar, calcular e especificar seus componentes. Quando uma empresa adquire produtos já desenvolvidos com o objetivo de fabricá-los, os sistemas CAD terão pouco efeito como promotores de maior produtividade.

Na figura 5.1 apresentamos o efeito da automatização nos custos e prazos de desenvolvimento de um produto. Se em qualquer das atividades demonstradas na figura 5.1 houver a possibilidade de ganhos efetivos com CAD/CAM de modo que assegure um retorno do investimento em prazo compatível, sistemas CAD/CAM representam uma boa oportunidade.

MÉTODO CONVENCIONAL



MÉTODO DE CAD/CAM



MÉTODO CAD/CAE/CAM

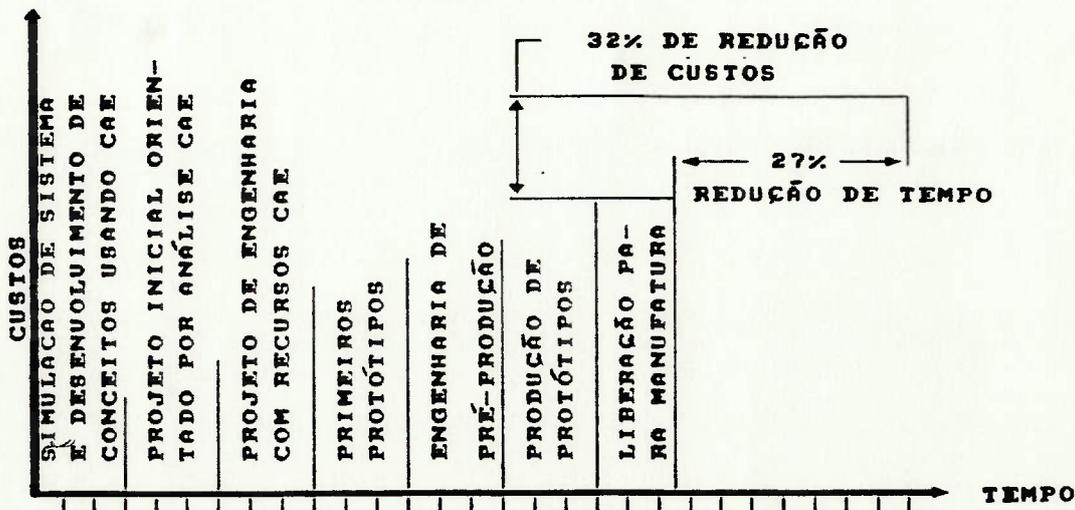


Figura 5.1 Comparação de custos e tempo de desenvolvimento de produto entre método convencional (manual), com recursos de CAD/CAM e com CAD/CAE/CAM (31).

5.4 - Facilidades e Dificuldades de CAD/CAM

Naturalmente que as inovações tecnológicas trazem embutidas certas dificuldades tanto na sua compreensão quanto no seu manuseio. Com CAD/CAM não é diferente. Ele é interpretado por muitos profissionais um risco no seu posto de trabalho tanto no sentido de se fazer mais com menos quanto na presumida incapacidade de se dominar a tecnologia. A seguir apresentamos algumas das facilidades e dificuldades do sistema CAD/CAM.

Facilidades em relação ao método convencional

- . Alto índice de aproveitamento de trabalhos executados.
- . Facilita a redução de complexidade.
- . Aumenta a utilização da carga horária em ações criativas pois praticamente automatiza as técnicas manuais nos projetos, desenhos e análise estrutural, etc.
- . Qualidade e precisão dos desenhos gerados.
- . Facilidade de gerar múltiplas propostas para uma melhor decisão.
- . Redução de modificação em desenhos em consequência redução de erros de dimensionamento.
- . Aumenta a qualidade do produto final.

Conforme apresentado nos capítulos anteriores as vantagens de CAD/CAM já foram bastante comentadas. Vamos nos deter um pouco mais com alguns aspectos negativos, que normalmente são subestimados e põem a perder uma utilização produtiva de CAD/CAM.

Algumas dificuldades no uso de CAD/CAM

Já foi mostrado que um grande número de benefícios podem derivar do uso de CAD/CAM. Entretanto deve ser reforçado que CAD/CAM é somente uma ferramenta, que precisa ser gerenciada adequadamente, e

que hoje nenhum sistema é o melhor de todos para todas as aplicações, áreas e tipos de produtos. No presente estágio, nenhum sistema CAD/CAM pode projetar uma peça nova, nem tomar a decisão de qual de dois desenhos é melhor sem a participação do projetista. Sendo assim, o projetista usa o sistema para projetar uma peça nova, mas é ele que toma as decisões em relação ao que deve ou não ser feito. A seleção e gerenciamento de sistemas CAD/CAM são assuntos críticos, uma vez que, embora CAD/CAM tenha potencial para aumentar a produtividade, também tem grande potencial para aumentar problemas. Se o sistema errado for selecionado, se os usuários não forem treinados adequadamente, se a gerência não for flexível o bastante para acomodar as modificações resultantes do seu uso, então CAD/CAM não trará nenhum aumento de produtividade significativo. Vale a pena comentar e compreender algumas das dificuldades inerentes a sistemas CAD/CAM.

- . Os sistemas CAD/CAM ainda têm um custo bastante elevado. Nem todas as empresas podem dispor do desembolso inicial. Uma vez o sistema instalado, seu custo deve ser recuperado. Isto pode levar a um inesperado aumento nas despesas gerais.
- . Uma vez que o sistema é caro, haverá pressão para maximizar seu uso. Os usuários (e os sindicatos) podem não aceitar dois ou três turnos de trabalho.
- . Uma vez que um dos benefícios possíveis de CAD/CAM é a redução direta nos custos de mão de obra, órgãos de classe e sindicatos podem se opor a ele.
- . Se o sistema errado for escolhido para aplicação na companhia então um decréscimo na produtividade pode ocorrer. Por outro lado, mesmo que o sistema correto tenha sido escolhido, podem surgir problemas se o fornecedor não desenvolvê-lo adequadamente ou se o mesmo sair do mercado.
- . Os usuários não gostam de trabalhar com um sistema que frequentemente sai do ar, é pessimamente documentado, tem um tempo de resposta ruim, não corresponda aos seus métodos de trabalho, etc., (e por isto a produtividade se reduz).

- . A menos que o grande volume de dados que pode ser gerado com o sistema CAD/CAM seja gerenciado eficientemente não será possível alcançar todos os benefícios que podem surgir da reutilização dos dados.
- . Alguns usuários vão achar alguns sistemas difíceis de usar, outros vão achar os sistemas frustrantes e cansativos, porque vão exigir do operador muita concentração e este só vai dominar o equipamento após um exaustivo processo de tentativa-e-erro.
- . Mesmo que o sistema certo seja escolhido ele pode causar alguns problemas se treinamento adequado e suficiente não for dado a seus usuários ou se o sistema não for instalado adequadamente.

As principais causas do uso improdutivo de CAD/CAM são, entretanto, falta de comprometimento da gerência e previsão e disposição para levar a cabo as mudanças necessárias requeridas pelo uso generalizado de métodos computacionais. A organização de uma companhia tem refletido a necessidade de dividir as atividades em funções que os indivíduos possam gerenciar ou executar. Entretanto, o computador e o fluxo de informação a ele associado se tornam ineficazes com essas barreiras por não serem usados de maneira mais abrangente na companhia.

A direção da empresa deve implementar uma organização que reflita a forma mais eficiente de se usarem os recursos disponíveis na companhia no momento, os quais incluem não somente as fábricas, equipamento de produção e pessoas, mas também equipamentos computacionais, banco de dados e conhecimento.

Em resumo, temos as seguintes dificuldades Colaterais:

- . Longo tempo de treinamento para utilização efetiva e produtiva aos níveis estabelecidos nas estimativas iniciais.
- . Necessita de uma estrutura nova de suporte e administração comumente não encontrada em Engenharia e Manufatura.
- . Tecnologia relativamente nova no Brasil com potencialidades a ser exploradas e muitos benefícios não facilmente quantificá-

veis.

- . Exige pessoal com alto nível técnico para utilizar com sucesso suas potencialidades.

Percebe-se pelas considerações anteriores que CAD/CAM em si como equipamento computacional não traz embutidas desvantagens. As dificuldades apresentadas são consequência da estrutura produtiva pré-existente na empresa e da sua dificuldade em investir nessa transformação de procedimentos devido às resistências a mudanças.

5.5 - Automatização Industrial: Prós e Contras

Conforme vimos na introdução deste cap.5, numerosos fatores econômicos e sociais fornecem a motivação para a automatização em engenharia de projeto e de manufatura. Alguns argumentos ou contra ou a favor da automatização industrial são talvez super-estimados, e é um debate que se trava desde a revolução industrial, tendo seu auge na produção seriada, sendo magistralmente representado no filme "Tempos Modernos" de Charlie Chaplin. Nesta seção apresentamos alguns desses argumentos a favor e contra a automatização, normalmente apresentados por aqueles que advogam uma das causas.

Argumentos apresentados a favor da automatização:

1- Aumento de produtividade.

A automatização é a chave para reduzir a semana de trabalho seguindo a tendência experimentada pelos países desenvolvidos. O aumento de produtividade permitirá essa redução mantendo o poder aquisitivo, como consequência, haverá mais tempo para lazer e uma melhor qualidade de vida.

2- Alto custo de mão-de-obra.

A tendência nas sociedades industrializadas tem sido na direção de aumentar o custo de mão-de-obra como consequência de aumento de salário na busca de melhor distribuição de renda junto com o aumento de impostos, como consequência da seguridade social. Como resultado, maiores investimentos em equipamentos de automatização têm se tornado economicamente justificáveis para substituir as operações manuais. O uso de automatização resulta em menor custo por unidade produzida.

3- A carência de mão-de-obra especializada.

Em muitos países desenvolvidos tem acontecido uma redução generalizada de mão-de-obra, até mesmo como consequência de redução do aumento populacional. A Alemanha Ocidental por exemplo tem sido forçada a importar mão-de-obra para aumentar sua

força de trabalho. Redução de oferta de mão-de-obra também estimula o desenvolvimento de automatização como substituto na produção.

4- Segurança no trabalho.

A automatização das tarefas e transferência dos operadores da participação ativa na produção para um papel de supervisão, proporciona condições de trabalho mais seguras, existem menos condições de danos físicos e pessoais ao operário. Redução de acidentes de trabalho é um objetivo nacional que também estimula o uso de automatização.

5- Expansão do setor de serviços.

A tendência de se trabalhar no setor de serviços tem sido especialmente observada nos Estados Unidos. Em 1979, a proporção do setor de manufatura estava por volta de 23%, enquanto que em 1947 era de 30%. Naturalmente que a automatização dos postos de trabalho tem participado dessa mudança. Entretanto, existem também forças sociais, econômicas e institucionais que são responsáveis por essa tendência. A visão de que o trabalho na linha de produção é mal remunerado e desprovido de estatus tem levado a força de trabalho que chega ao mercado à procura de empregos no setor de serviços e trabalharem como profissionais autônomos.

6- Demanda por produtos mais baratos e de qualidade.

Produção automatizada resulta em preços menores e produtos melhores. Estima-se que o custo de uma unidade trabalhada por meios convencionais (máquinas operatrizes e operador manual) pode ser de até 100 vezes o custo de fabricação por meio de processos automatizados (máquinas de controle numérico). Além do que, as peças são de grande consistência e conformidade com as especificações de projeto e qualidade. O resultado global é um produto com maior valor por menos dinheiro. A indústria eletrônica oferece um exemplo claro e significativo desse

processo, pois seu aperfeiçoamento na tecnologia de projeto e manufatura tem reduzido significativamente custos e aumentado o valor do produto. Por exemplo; TV a cores, equipamentos de som estéreo, calculadoras, computadores, etc.

7- Alto custo de matéria-prima.

O alto custo de matéria-prima na manufatura estimula a redução de desperdício e maior eficiência no aproveitamento desses materiais. A redução de sobras é um dos benefícios de CAD/CAM conjugados no processo de projetar um produto e na sua materialização na linha de produção.

8- Redução do prazo de lançamento de novos produtos.

A automatização no processo de projeto e desenvolvimento integrado à automatização da produção permite ao fabricante reduzir o tempo entre o pedido do consumidor e a entrega do produto acabado. Isto fornece ao fabricante uma vantagem competitiva e propicia uma satisfação ao consumidor.

9- Redução de peças semi-acabadas no processo de produção.

Altos estoques de peças entre os estágios de produção representa um custo significativo para o fabricante porque reduz seu capital de giro. Esse estoque tem pouco valor pois não serve como matéria prima bruta e nem como produto acabado. Deste modo é vantajoso reduzir essa quantidade de peças semi-acabadas. Automatização se adequa perfeitamente a essa tarefa ao reduzir o tempo que se leva para produzir uma peça.

Para esses argumentos existem diversos contra argumentos. Mesmo aqueles industriais que se vêem como baluartes do progresso tecnológico, têm em certas ocasiões questionado se automatização realmente vale o seu alto custo de investimento. A seguir, alguns dos argumentos mais comuns contra automatização.

1- Subjugação do homem pela máquina.

Essa é realmente uma discussão sobre se os postos de trabalho serão rebaixados ou valorizados pela automatização. Alega-se

que automatização tende a transferir o conhecimento especializado para executar trabalhos dos antes operadores, para as máquinas e fazendo isso ela reduz a necessidade de operadores especializados. O trabalho manual não alcançado pela automatização requer níveis mais baixos de preparo e conhecimento e tende a envolver mais tarefas braçais (carregar e descarregar peças trabalhadas, remoção de cavacos, etc.). Nesse sentido, automatização tende a degradar o trabalho fabril. Por outro lado, a rotina de tarefas monótonas são mais fáceis de automatizar e normalmente são as primeiras a receber automatização. As tarefas que requerem julgamento, análise, decisão são as mais difíceis de serem automatizadas. Por fim, o resultado líquido é que o nível global do trabalho em manufatura será elevado e não degradado.

2- Desemprego.

Haverá uma redução dos postos de trabalho com conseqüente desemprego. É lógico arguir que o efeito imediato da automatização será a redução de mão-de-obra. Automatização aumentará substancialmente a produtividade e a indústria não criará novos postos de trabalho na mesma velocidade, como conseqüência a taxa de desemprego vai acelerar.

3- Redução do poder aquisitivo.

Esse argumento é conseqüência do argumento 2. Como os trabalhadores se juntam ao contingente dos já desempregados, não haverá salário na economia para sustentar o consumo, as vendas diminuirão, aumentarão os estoques até a produção parar, o resultado desse ciclo é uma depressão econômica em massa.

Para esses argumentos a história tem mostrado que a automatização gera novos empregos, que aumenta a qualidade de vida e o poder aquisitivo. A simples observação do nível de vida nas sociedades mais desenvolvidas como Europa, América do Norte e Japão, constata-se que automatização é progresso Talvez seja difícil contra-argu-

mentar item por item porque a automatização é um processo de integração industrial, cujos efeitos são medidos somente partindo-se de uma visão global do funcionamento de uma economia e da atividade industrial do país sem nos determos em setores específicos. Globalmente a automatização gera capacidade de expansão das empresas existentes. Surgem novos ramos industriais, aumenta a atividade econômica. Assim como a revolução industrial eliminou alguns postos de trabalho gerando outros, o mesmo se dá com a automatização. Essa discussão foge um pouco da alçada do engenheiro à primeira vista, mas sem dúvida ele será alcançado por ela à medida em que progride hierarquicamente na empresa e como técnico na elaboração de análises de viabilidade de processos de automatização.

5.6 - Observações

O uso de CAD/CAM é uma decisão estratégica e como tal deverá ser seguida de uma ação constante na consecução dos objetivos pré-estabelecidos. Após observarmos diversas empresas se utilizando da tecnologia CAD/CAM, algumas conclusões e recomendações podemos apresentar:

- . Quanto mais sofisticado o equipamento, maior o custo de treinamento para operação.
- . A empresa não deve esperar resultados contundentes nos primeiros dois anos de operação.
- . No primeiro ano de operação o CAD/CAM será alvo de todas as atenções da Companhia, com ampla divulgação pelo departamento de marketing e relações públicas.
- . Alto custo inicial em equipamentos, pessoal e banco de dados.
- . Nenhum fornecedor de sistema CAD/CAM é capaz de atender todas as necessidades peculiares de qualquer empresa referente a treinamento, utilização e administração.
- . Todo o fornecedor de equipamento CAD superestima as aplicações de CAD e subestima as dificuldades de operação e utilização efetiva como ferramenta de produção de trabalho.
- . Para que a implantação de CAD/CAM seja efetiva deve haver um comprometimento de todas as áreas envolvidas.
- . O investimento em treinamento deve corresponder de 5% a 10% do investimento no equipamento. Por falta dessa previsão na maioria das empresas utiliza-se menos de 50% da capacidade do sistema.
- . Deve ser obedecida a prática de "uma vez em CAD sempre em CAD" para evitar que modificações manuais e de urgência alterem os projetos desatualizando o banco de dados.
- . É uma boa prática visitar outros usuários de sistema para se adequar uma visão da utilização do equipamento em casos de produção e antever possíveis problemas.

- . Todo o projeto novo deverá ser desenvolvido em CAD/CAM. Para isso deve-se considerar o tempo necessário para modelamento das peças já existentes que compõem determinado conjunto para execução de layouts e estudo de montagem de sistemas completos.
- . Estabelecer em contrato de forma clara e prever penalidades para fornecedor e usuário quanto à manutenção, conservação e utilização do sistema.
- . Estabelecer políticas internas para utilização do equipamento.
- . Evitar carregar para a estrutura com CAD/CAM a burocracia existente no processo convencional.
- . Comprometimento da alta gerência no sucesso do CAD/CAM.
- . Os desenhos já existentes no processo convencional somente devem ser convertidos em CAD na medida da necessidade. Não há nenhum ganho efetivo em se estabelecer objetivo de se redesenhar em CAD todo um acervo de projetos de produtos já em produção ou até mesmo descontinuados.
- . Programa de treinamento adequado antes da instalação (ver apêndices).

6. - ESTUDOS PRELIMINARES PARA INSTALAÇÃO DE CAD/CAM

6.1 - Considerações Gerais

O processo e aquisição de sistemas consiste de duas partes - a primeira é a análise preliminar de viabilidade de CAD/CAM e a segunda é uma análise detalhada e avaliação de um sistema.

Normalmente o processo de análise e seleção de equipamento é dividido nas seguintes fases:

- . Estudos preliminares
- . Especificação e seleção de equipamento
- . Análise de investimento

Nas seções e capítulos seguintes abordamos alguns desses aspectos. Alguns itens que devem ser considerados antes de qualquer decisão de implementação de sistemas CAD/CAM, em relação ao fornecedor:

- . Preço do sistema
- . Desempenho (capacidade do software)
- . Avaliação/verificação da utilização por outros usuários
- . Pesquisa e desenvolvimento - lançamentos anuais de novos produtos
- . Posição no mercado (decrecente/estável/ascendente)
- . Proximidade do usuário (geográfica)
- . Considerações sobre 2D e 3D - nível de utilização do sistema
- . Integração do sistema com outros (comunicações)
- . Fácil implementação pela engenharia e manufatura
- . Sistema completo: hardware e software
- . Hardware dedicado versus aplicação múltipla
- . Evidências de obsolescência - novos produtos divorciados das séries anteriores
- . Base instalada e sua organização
- . Distribuição dos aplicativos fornecidos pela base instalada.

Em relação à empresa usuária, os seguintes itens são os principais:

- . Justificação - a ser submetido à diretoria
- . Implementação - conduzida pelo comitê CAD/CAM
- . Medida de produtividade - conduzida pelos usuários

Antes de procurar sistemas CAD/CAM a empresa deve conhecer-se a si própria: cultura, seguimento de informação, como fabrica seu produto, que tipos de desenhos/trabalhos são gerados, posição atual e projeção no mercado. Na figura 6.1 apresentamos o seguimento de projeto de produto. Um departamento de engenharia tem um fluxo de dados que começa com a especificação do produto para projeto conceitual, detalhamento, recuperação, análise de projeto, documentação e liberação incluindo a geometria para máquinas ferramentas CN.

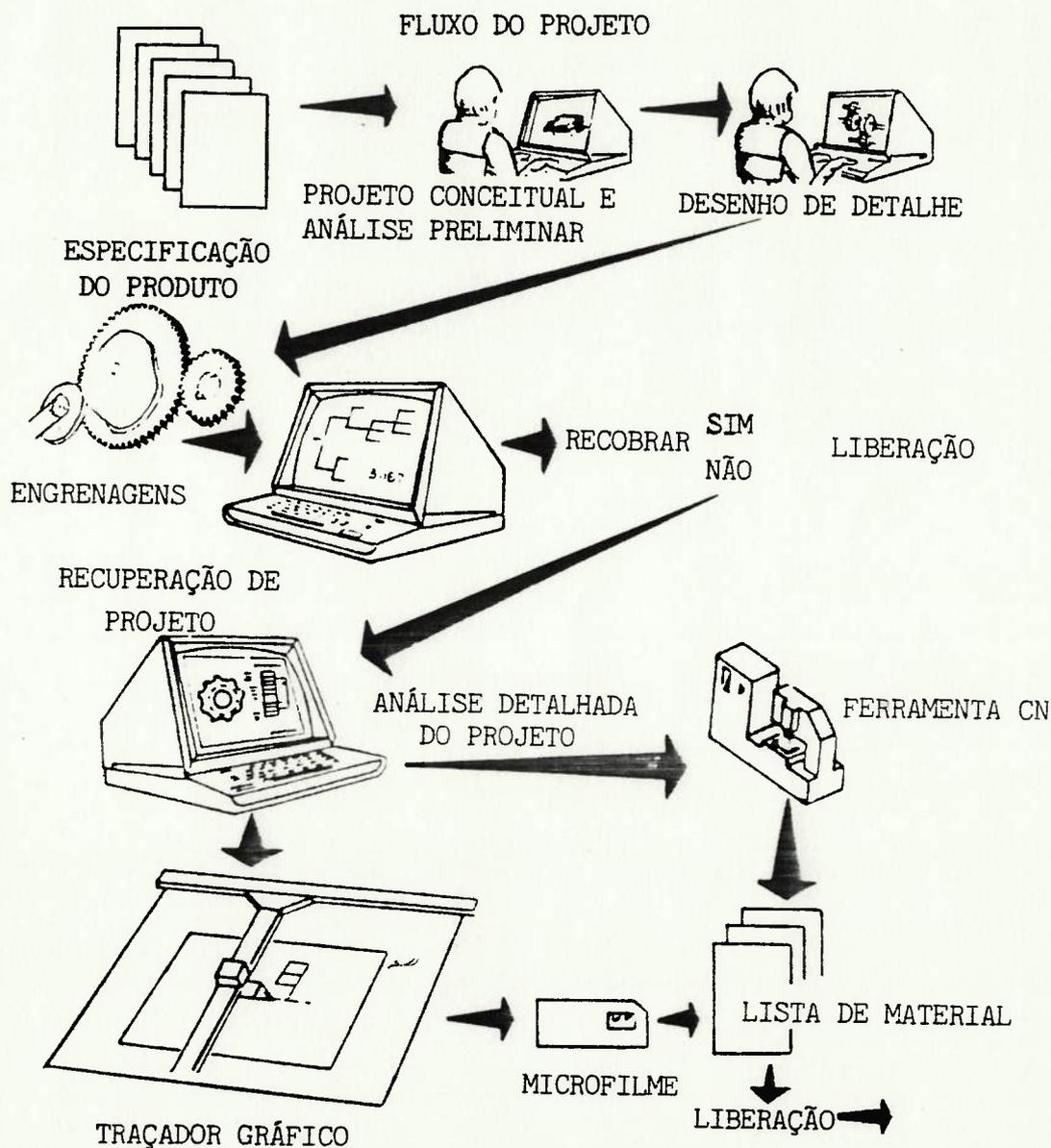


Figura 6.1 Seguimento de informação no desenvolvimento de projeto(36).

Comitê CAD/CAM

A análise e radiografia da empresa usuária e do fornecedor deve levar a uma escolha racional de um sistema CAD/CAM dentre os muitos oferecidos no mercado. Deve também dimensionar o equipamento, definir a área por onde iniciar a implantação, estabelecer as características do usuário, etc. e também uma política e previsão para futuras expansões. Como se pode observar, o comitê tem responsabilidade estratégica pelo sucesso do sistema.

Essa tarefa deve ser conduzida por um grupo de pessoas de diversas áreas da empresa. Normalmente agrupados no comitê CAD/CAM devem-se encontrar os seguintes interesses, por áreas:

1- Representação da Engenharia

- . Projeto e desenvolvimento de produto
- . Desenho e ilustração
- . Análise (elementos finitos, mecanismos, etc.)
- . Verificação, certificação e normalização
- . Protótipos
- . Simulação

2- Representação da Manufatura

- . Projeto de ferramentas e dispositivos
- . Controle numérico (geração de programas)
- . Robótica
- . Protótipos
- . Controle numérico (operação de máquinas-ferramentas)
- . Controle e planejamento do processo
- . Tecnologia de grupo

3- Serviços de informação e gerenciamento

- . Comunicações entre sistemas de suporte administrativo
- . Comunicações entre outros sistemas CAD/CAM
- . Banco de dados
- . Considerações sobre análises financeiras e viabilidade econômica.

- . Considerações sobre relatórios administrativos
 - . Planejamento de produção
 - . Compras e suprimentos
- 4- Publicações Técnicas/ilustrações
- . Criação de desenhos não dimensionais que se referem diretamente aos desenhos de engenharia (frequentemente um esforço duplicado)
 - . Vendas e marketing
- 5- Planejamento e Engenharia de fábrica
- . Grupo envolvido com projeto de ampliação / redução das instalações industriais e localização de maquinário.
 - . Manutenção das plantas industriais.

Coordenador do Comitê

Pessoa encarregada de presidir as reuniões, organizar e disseminar material coletado.

Naturalmente não queremos dizer que tenha uma pessoa de cada área, e sim que o representante de engenharia tenha todas as informações sobre engenharia e seus interesses; que o representante de manufatura possua todas as informações e interesses sobre o processo manufatureiro e alguém que represente interesses coletivos de outros departamentos. Em resumo, cada membro do comitê deve ser uma pessoa sensível ao trabalho e problemas internos das principais áreas de interesse.

O tamanho do comitê varia de empresa para empresa em função do seu porte e tipo de produto em termos de complexidade e diversificação, podendo ser formado por apenas um indivíduo com facilidade de penetração em todas as áreas. A experiência nos mostra que quando a comissão é formada por mais de cinco indivíduos permanentes as reuniões de trabalho tornam-se improdutivas. Portanto, os grupos de estudos para CAD/CAM na indústria devem variar de um a cinco membros incluindo o coordenador.

6.2 - Seguimento de Informação no Desenvolvimento do Produto

A principal tarefa do comitê de CAD/CAM será radiografar a empresa para descobrir onde inicia o processo (informação) e todas as suas fases intermediárias até o produto final pronto para expedição.

A máxima que deve nortear o comitê deve ser: "pensar grande, começar pequeno". Na figura 6.2 representamos um esquema geral do seguimento de informação, partindo da necessidade de mercado.

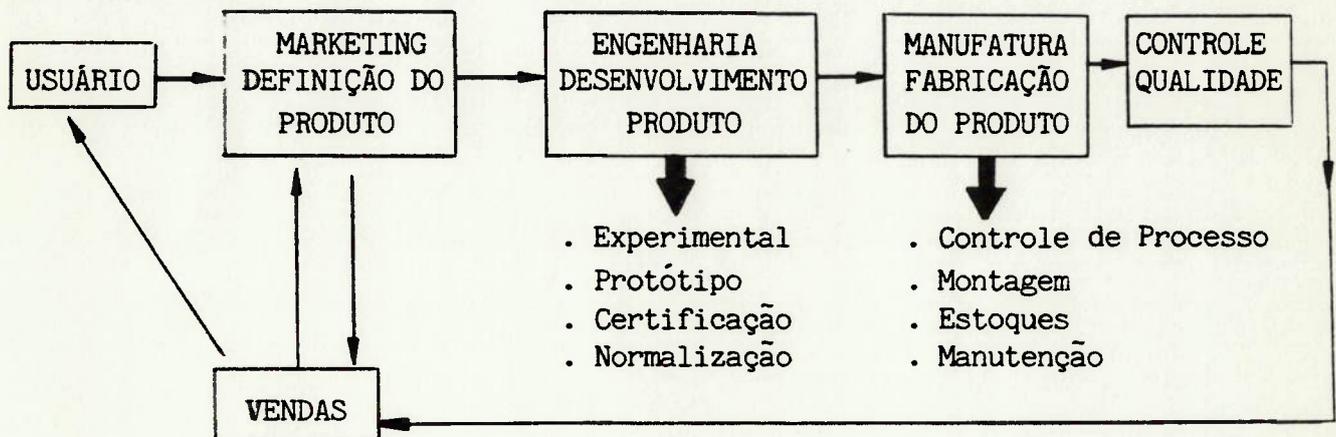


Figura 6.2 Seguimento de Informação no desenvolvimento de novos produtos.

O conhecimento do fluxo de informação permitirá estabelecer um plano estratégico para implantação de CAD/CAM por etapas, além de hierarquizar os níveis de acesso ao sistema. O fluxo de dados na Engenharia de Projeto no processo convencional é compartimentalizado ou segmentado. Modificações em qualquer estágio da sequência requer que o projeto volte ao departamento de origem, ver figura 6.3.

Com a implantação de CAD/CAM a Engenharia terá seu fluxo de dados baseado em sistema central. Assim, as alterações feitas ou recomendadas por uma área de projeto poderá ser visualizada e discutida por todos. Portanto alterações mais rápidas poderão ser obtidas, ver figura 6.4.

SEGUIMENTO DA INFORMAÇÃO (CONVENCIONAL)

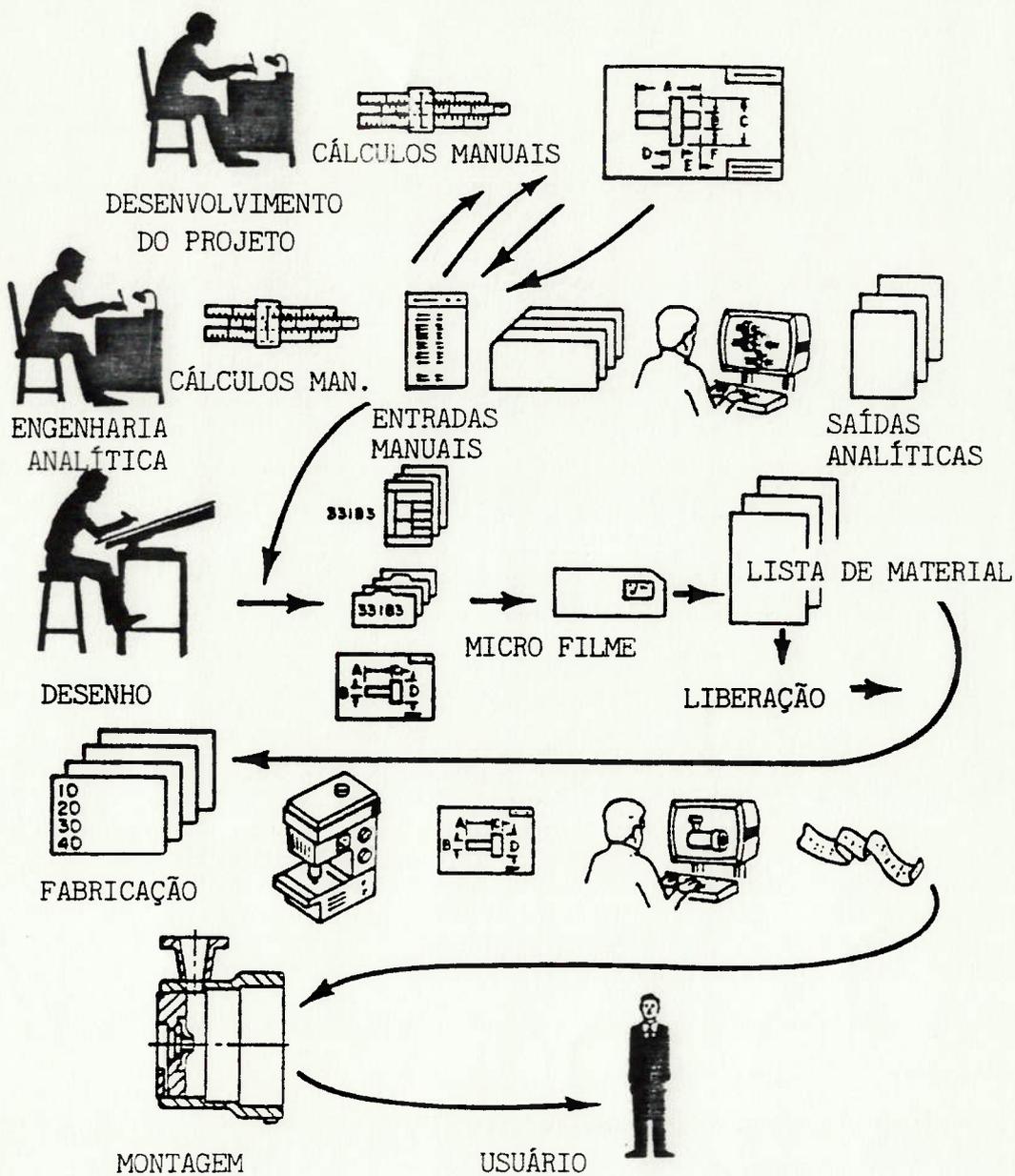


Figura 6.3 Seguimento de informação no desenvolvimento de produto em processo convencional (36).

SEGUIMENTO DA INFORMAÇÃO
(CAD/CAE/CAM)

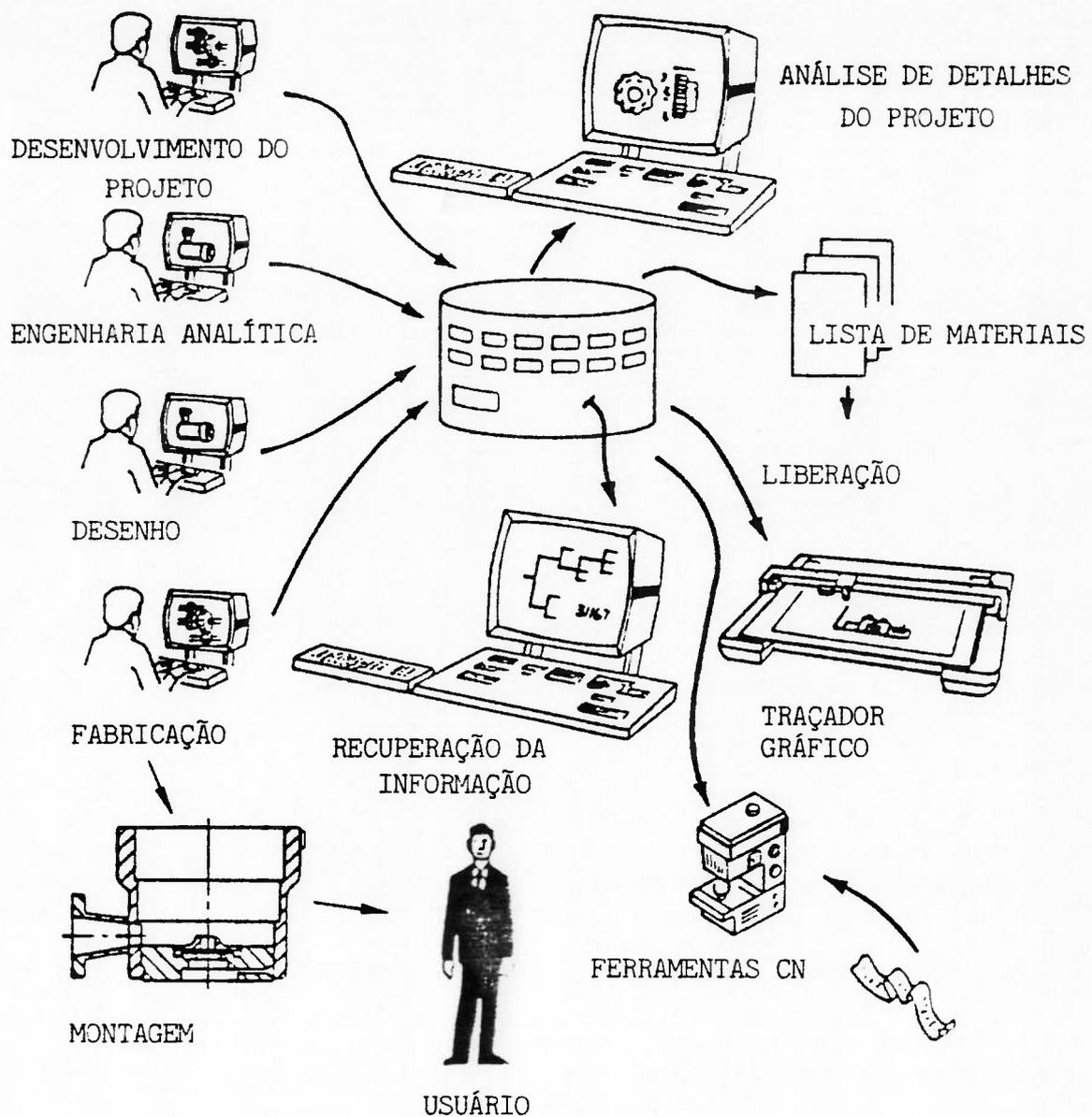


Figura 6.4 Seguimento de informação no desenvolvimento de produto sob a influência de sistema CAD/CAM (36).

Após a análise do fluxo de informação o comitê CAD/CAM deverá responder às seguintes perguntas:

- 1- Por onde começar? Pela engenharia ou pela manufatura?
- 2- Que produtos existem para futuros lançamentos que seriam beneficiados diretamente pelo CAD/CAM?
- 3- O uso de CAD/CAM produziria algum impacto nas vendas?
- 4- Desenvolvemos produtos próprios? Quantos?

- 5- Compramos tecnologia? Qual o sistema CAD/CAM do fornecedor?
Neste caso existe uma sinergia entre fornecedor e comprador de tecnologia que de acordo com o nível de dependência a compra do sistema por um deles influenciará o outro, inclusive em termos do tipo de equipamento.
- 6- Estabelecer o grau de complexidade do produto e tipo principal de fabricação (forjados, fundidos, estampados, por injeção, etc.)
- 7- Qual o nível do preparo técnico do pessoal da empresa que será afetado pelo CAD/CAM?
- 8- A qual departamento ficará subordinado CAD/CAM? Estabelecer o organograma.
- 9- Haverá necessidade de contratar pessoal?
- 10- Qual será o impacto em termos de custo e redução de mão-de-obra? Quantificar.
- 11- O CAD/CAM é estratégico ou necessidade imediata?
- 12- Quais os tipos de desenhos gerados? Quantificar.
- 13- Qual o número de erros e ou modificações de desenhos originais? Quantificar.
- 14- Quanto o projeto de um novo produto se aproveita de produtos anteriores?
- 15- É produção seriada ou projetos especiais?
- 16- Qual o parque de máquinas-ferramentas? Relacionar tipos, modelos, etc.
- 17- Qual a nossa base de fornecedores? Terão eles condições de também implantar sistemas CAD/CAM?

A empresa candidata a ser usuária de CAD/CAM costuma demonstrar uma preocupação excessiva com relação a compatibilidade dos sistemas em razão de suas fontes supridoras de tecnologia ou usuários de seus serviços ou clientes de seus produtos.

Em muitos casos, o que determina o tipo de sistema a ser colocado na empresa é justamente essa compatibilidade.

Essa decisão é justificável somente em casos de produtos especí-

ficos, e em poucos casos. Sempre devem ser analisados os sistemas disponíveis no mercado, mesmo porque essa tecnologia evolui rapidamente e o sistema talvez utilizado pelo fornecedor de tecnologia, às vezes tradicional usuário de CAD, não represente o que melhor se aplica às necessidades da empresa.

Outra situação peculiar vivem os fornecedores de grandes empresas. Neste caso existe por parte dessas empresas o interesse de que seus fornecedores tenham sistemas compatíveis. Dada a multiplicidade de sistemas, os fornecedores não sabem qual dos clientes devem atender e chegam até mesmo a considerar o uso de sistemas diferentes. Nada mais desastroso.

O que deve nortear a escolha do tipo de sistema é aquilo que se espera realizar com ele dentro das possibilidades da empresa, não só do ponto de vista financeiro, mas principalmente pelo lado de recursos humanos e tecnológicos disponíveis na empresa.

O comitê deverá ainda definir se a empresa iniciará o uso de CAD/CAM através da compra e instalação de um sistema para uso próprio ou se o fará através do uso de escritórios de serviços especializados.

6.3 - Uso de Sistema Próprio x Compra de Serviços/Aluguel de Sistemas

O meio pelo qual as técnicas de CAD/CAM serão implementadas no projeto, desenho ou manufatura é uma consideração importante. O uso de um sistema próprio representa apenas uma opção, contra a utilização de escritórios prestadores de serviços ou partilhamento de redes. Não importa qual a opção a ser feita, o importante é que a empresa compreenda as implicações políticas e organizacionais bem como os efeitos iniciais e decorrentes da decisão. Cada alternativa deve ser considerada a nível conceitual antes que uma das alternativas seja escolhida para estudos adicionais.

Compartilhamento de Redes

No esquema de utilização de equipamentos de um fornecedor, a empresa aluga uma estação e a instala para uso próprio. A empresa paga então uma taxa mensal pela utilização da rede, pelo aluguel da estação, pelo armazenamento de dados e acesso ao programa e usa programas aplicativos específicos na medida da necessidade pela comunicação entre o computador do fornecedor e o terminal do usuário, normalmente via linha telefônica direta.

As principais vantagens desse sistema são as seguintes:

- . A empresa não precisa fazer grandes investimentos com hardware e nem se preocupar com a obsolescência.
- . A empresa pode se utilizar de uma série de softwares pagando apenas a taxa de utilização.

As desvantagens desse sistema de compartilhamento de rede são a baixa velocidade (às vezes leva-se mais de uma hora) para envio de grandes quantidades de dados gráficos através de linhas telefônicas; normalmente os custos de armazenagem e acesso a programas são elevados, falta de controle sobre o hardware, o software e banco de dados; existe ainda o risco de perda de confidencialidade pela ação de pirataria eletrônica que invade redes telefônicas.

Agências de Serviços Especializados

No uso de escritórios prestadores de serviços, a firma envia os dados para o computador da agência e esta executa o processamento, retornando os resultados. O tempo de ida-e-volta varia de um dia a semanas, dependendo do tamanho do trabalho, carga de trabalho da agência e se dados adicionais são requisitados. As agências de serviços são normalmente caras, lentas e podem possivelmente ter problemas de segurança de dados, mas tal qual o compartilhamento de redes também tem suas vantagens:

- . Fornece acesso a pessoal treinado e especializado já familiarizados com o tipo de problema. Esse fator é importante porque se leva de seis meses a um ano para se dominar de forma eficaz um sistema CAD/CAM sofisticado.
- . Possui equipamentos especiais para entrada e saída de dados que, normalmente, não seria justificável a aquisição.
- . Fornecem serviços de desenho e detalhamento nos períodos de pico na empresa, evitando-se a contratação e dispensa de profissionais sazonalmente.
- . Tem função educativa ao prover a empresa usuária com a possibilidade de conhecer sistema CAD/CAM e seus efeitos práticos.

Na área de projetos mecânicos não temos no Brasil empresas prestando esse tipo de serviços com CAD/CAM. Existem já prestadores de serviços na área de circuito impresso e controle numérico. O surgimento de empresas prestadoras de serviço nessas áreas deve-se ao acelerado desenvolvimento da indústria de micros e periféricos que o país experimentou nesta década.

Na área de mecânica já existe um reconhecimento dessa necessidade e alguns escritórios prestadores de serviço já consideram a possibilidade. Sem dúvida uma das áreas de grande consumo de serviços de projetos usando CAD será a indústria mecânica automobilística, a indústria de plástico e moldes de vidro, principalmente para projetos de ferramental.

Na área de análise estrutural já existe tradição na área e não há necessidade de se comprar serviços no exterior, como ocorre no projeto de injeção de plástico para produção de peças complexas, como pára-choques e painéis de automóveis.

Uso de Sistema Próprio

O uso de sistema próprio dá à empresa a liberdade de adequar o sistema às suas necessidades, através de uma seleção do equipamento apropriado. A empresa estabelece políticas próprias de utilização e inicia um processo de globalização de informação que lhe propiciará melhor controle do processo industrial. Os múltiplos usos do banco de dados reduzem erros e aumentam a qualidade do projeto. No caso do uso de agências especializadas ou compartilhamento de rede, apenas uma parte do processo de projeto (análise de engenharia) é automatizado. Teríamos assim a situação em que um vagão tentaria ser mais rápido que todo o trem. No caso de CAD/CAM, a locomotiva é o banco de dados compartilhado. O custo inicial do investimento é largamente compensado pelos resultados globais; entre os quais destacamos:

- . Melhor controle global do projeto
- . Confidencialidade de dados assegurada
- . Desenvolvimento de pessoal especializado
- . Melhor imagem da empresa no mercado
- . Aumento global de produtividade
- . Melhora global de qualidade

6.4.- Sistemas CAD/CAM baseados em microcomputadores

O uso de microcomputadores como base para sistemas autônomos de projeto auxiliado por computador (CAD) é um fenômeno relativamente recente. Há sete ou dez anos atrás, os microprocessadores eram de arquitetura de 8 bits que eram muito lentos e com pouca memória endereçável (RAM) para servir até mesmo as mais limitadas aplicações de engenharia e desenho. Com o advento dos microprocessadores de 16 bits e, mais recentemente, as arquiteturas de 32 bits e uso inteligente dos periféricos de entrada e saída, um sistema CAD autônomo baseado em micro representa uma crescente alternativa aos sistemas de uso geral baseados em minicomputadores ou computadores de grande porte.

Temos vários fornecedores no mercado de micros. Esses sistemas evoluíram muito nos últimos cinco anos e deixaram de ser uma experiência curiosa para se tornarem ferramentas efetivas de uso profissional. Esses sistemas oferecem muito do que é encontrado nos grandes sistemas em termos de software, (46) e (47).

O surgimento dos microcomputadores com grandes capacidades provocou uma modificação do conceito de uso de sistema CAD. Até então era usual acreditar-se que CAD/CAM era somente viável para grandes empresas, essa idéia generalizou-se porque no princípio só as empresas do ramo aeronáutico e automobilístico é que possuíam esse sistema. De fato, os sistemas computacionais eram muito caros no princípio. Porém com a evolução tecnológica, conseguem-se hoje microcomputadores com capacidade 10 vezes maior que os mainframes de 10 anos atrás.

Significa que a necessidade de máquina e software para suporte a sistemas CAD/CAM continuou praticamente a mesma, houve então uma evolução desses recursos acompanhada da redução de preços provocada pela economia de escala.

Entre as vantagens de um sistema baseado em micro podemos citar:

- . Flexibilidade de localização, instalação
- . Não há necessidade de instalações especiais

- . Baixo custo relativo de aquisição e manutenção
- . Sistemas relativamente simples e de fácil aprendizado
- . Descentralização das estações
- . Produtividade e uso de máquinas de aplicação geral
- . Fácil adaptação dos softwares às necessidades específicas das empresas
- . Funções locais

Entre as desvantagens podemos citar:

- . Expectativas irreais dos softwares baseados em PC
- . Falta de normas e padrões
- . Baixa velocidade em relação aos sistemas maiores
- . Recursos de modelamento tridimensional limitados em relação aos sistemas maiores
- . Limitação de armazenagem em banco de dados
- . Limitada capacidade para uso de periféricos tais como plotador, mesa digitalizadora, etc.

Apresentamos a seguir alguns hardwares e softwares disponíveis para CAD em micros. Uma lista mais completa foi publicada na PC Magazine (46) e (47). A lista a seguir reflete basicamente o mercado brasileiro.

Hardware PC

PC (Agosto de 1981)

Primeiro produto da família PC lançado pela IBM que se tornou padrão devido ao uso generalizado provocado pelo baixo custo. Permitiu o surgimento de centenas de outros fabricantes, porque possuía uma estrutura aberta, que fabricavam seus clones. Arquitetura de 16 bits, processadores 8088, memórias de 256 a 640 kbytes (50).

PC XT (Março de 1983)

Segundo produto da família. Nada mais que um PC com maior capaci-

dade em termos de fonte capaz de suportar um disco rígido de 10 Mbytes como equipamento padrão, memória de 256 kbytes e chega até 640 kbytes (50).

PC AT 286 (Junho de 1984)

Um pouco mais caro que o PC XT (40%) com uma capacidade 400% vezes maior. Possui processador Intel 80286 que é 4 vezes mais rápido que os processadores 8088. Pode suportar discos de 40 Mbytes ou mais. Arquitetura de 16 bits. Memória de 512 kbytes padrão, usual de 1024 kbytes (50).

PC AT 386 (Junho de 1985)

Mais veloz que PC AT 286, possui um microprocessador de 32 bits. Suporta discos rígidos de 40 Mbytes ou mais. Memória padrão de 512 kbytes; usual de 1024 kbytes.

Software para PC (Para uma avaliação completa, consultar (46) e (47))

<u>SOFTWARE</u>	<u>FABRICANTE</u>	<u>REPRESENTANTE NO BRASIL</u>
. Personal Designer	Computervision	Compucad e Comicro
. AUTO CAD	Autodesk	Digicom
. CADKEY	Cadkey Inc.	Hitach
. MICRO CADAM	Lockheed	Villares
. Versacad	Versacad	Comicro
. UNICAD	HOCHTIEF	HOCHTIEF
. Microstation	Intergraph Corp.	Sisgraph

Essa lista não pára de crescer, como resultado da flexibilização da Lei de Software. A partir de 1992 com a extinção da reserva na informática espera-se que o mercado brasileiro apresente o leque de opções em Hardware e Software equivalente aos Estados Unidos.

A família PC XT e AT promete longa vida, mesmo em face do lança-

mento do PS/2 em 1987. Surgem no mercado placas aceleradoras que aumentam a capacidade dos PC tradicionais, permitindo assim, uma evolução modular dos PC's existentes (51), (52).

6.5 - Sistemas baseados em minicomputadores

Os sistemas CAD/CAM baseados em minicomputadores surgiram por volta do início dos anos 70, quando surgiram os primeiros sistemas "turn-key"* e as primeiras companhias fornecedoras de sistemas CAD/CAM. Os minicomputadores dominaram o cenário de CAD/CAM até meados dos anos 80 quando sofreram o impacto dos micros de alta capacidade.

Os sistemas baseados em minicomputadores estão aos poucos sendo substituídos pelos micros e supermicros em razão do custo, espaço e portabilidade. Permanecem ainda ligados a sistemas controladores de máquinas de controle numérico ou sistemas dedicados para funções isoladas.

No atual estágio de evolução dos sistemas CAD/CAM é mais difícil uma comparação entre micros e minis em termos de capacidade porque estes foram igualados por aqueles quando não suplantados.

Na realidade a escolha a ser feita é entre um sistema descentralizado e um sistema centralizado.

Os sistemas descentralizados baseiam-se em micros e supermicros enquanto os sistemas centralizados baseiam-se em superminis ou computadores de grande porte.

Os minicomputadores e seus irmãos superminis ainda são a melhor solução para sistemas dedicados completos (estação gráfica, plóter, leitora de fita e CPU), para uma aplicação segmentada. Como exemplo podemos citar um sistema dedicado a construção de chicotes elétricos para automóveis. Neste caso em função de banco de dados específico e um pacote gráfico misto de desenho e cálculos, é perfeitamente adequado a um sistema "turn-key".

* turn-key - sistemas completos, hardware e software, prontos para usar.

6.6 - Sistemas de grande porte

A tradição e base instalada é marca principal desses sistemas, além da confiabilidade. Na realidade esses sistemas baseiam-se em super minicomputadores, sendo que CADAM e CATIA realmente necessitam de um sistema IBM de grande porte.

No Brasil, em virtude da aquisição de tecnologia externa em busca de capacitação para competir no mercado internacional, existe uma grande preocupação com a compatibilidade entre sistemas. Daí existir ainda um grande potencial para sistemas baseados em computadores de grande porte, que tradicionalmente equipam as empresas fornecedoras de tecnologia.

Entre as vantagens dos sistemas de grande porte podemos citar:

- . Grande capacidade de processamento e armazenamento de dados
- . Larga experiência acumulada internacionalmente
- . Técnicas de gerenciamento e utilização bastante conhecidas
- . Aplicativos já desenvolvidos e confiáveis. Ciclo de produtos com uma única base de dados.
- . Recursos de modelamento, cálculo de engenharia e simulação sofisticados.

Entre as desvantagens podemos citar:

- . Alto custo de aquisição e manutenção
- . Treinamento mais complexo
- . Maior tempo para efetiva utilização e retorno de investimento
- . Instalações especiais e às vezes sofisticadas.

Hardwares comumente encontrados em CAD/CAM

- . IBM*
- . PRIME*
- .VAX (microvax II)
- .SUN
- .APOLLO
- .HP

* tradicionais fornecedores de sistemas de grande porte para aplicações comerciais.

Software para CAD/CAM baseados em minicomputador ou sistemas de grande porte (sistemas turn key):

<u>SOFTWARE</u>	<u>FABRICANTE</u>	<u>REPRESENTANTE</u>
. CADDS 4 X	Computervision <u>1/</u>	Comicro
. EMS / MEDDS	Intergraph	Sisgraph
. EUCLID	MATRA	Compugraph
.CATIA	Dasault System	IBM/Villares
. CALMA	CALMA <u>2/</u>	Multicad
. CADAM	CADAN Inc. <u>3/</u>	IBM/Villares
. MEDUSA	PRIME	Comicro

1/ Adquirido em Março de 88 pela Prime Computers

2/ Adquirido em Setembro de 88 pela Prime Computers

3/ Adquirido em Fevereiro de 1990 pela IBM

Da mesma forma que no caso dos microcomputadores, com a flexibilização da reserva de mercado essa oferta tende a aumentar. Deve-se prestar muita atenção aos novos lançamentos ainda não certificados por um largo tempo de uso.

6.7 - Sistemas Concentrados vs. Sistemas Distribuídos

Consideramos aqui a disposição geográfica das estações. A tendência atual devido a grande capacidade de processamento das estações é dispersá-las geograficamente, colocando-as o mais próximo possível do local de trabalho. Algumas considerações devem ser feitas antes de se adotar a concentração ou distribuição das estações.

A decisão de adotar uma ou outra situação depende de outros fatores além das vantagens de cada configuração a saber:

- . Posição geográfica das áreas de utilização (fábricas em diversos locais).
- . Estrutura corporativa-organizacional.
- . Diversidades de negócios da empresa usuária.
- . Estímulo de governos locais.

Vantagens dos Sistemas Concentrados

- . Ambiente adequado quanto ao nível de ruído e iluminação proporcionam melhores condições de trabalho.
- . Não há dispersão provocada por outras atividades.
- . Melhor produtividade porque existe a troca de experiências de forma espontânea entre os operadores no mesmo ambiente.
- . Facilita o gerenciamento e apoio aos usuários por parte de grupo de suporte.
- . Menor ociosidade potencial das estações que ficam à disposição de todos os departamentos usuários.

Desvantagens dos Sistemas Concentrados

- . Distância do local de trabalho de alguns usuários obrigando-os ao deslocamento com perda de tempo e produtividade.
- . Instalações adicionais.
- . Restringe o acesso, inibe o uso generalizado do sistema.

Vantagens dos Sistemas Distribuídos

- . Estações colocadas no ambiente de trabalho.
- . Estimula o uso generalizado.
- . Permite uma integração mais rápida com outros sistemas da empresa.
- . Permite estabelecer áreas para uso de software específico de acordo com os sistemas de hardware adequados.

Desvantagens dos Sistemas Distribuídos

- . Custo adicional de redes de comunicação.
- . Gerenciamento e suporte dificultado pelo distanciamento do grupo de suporte.
- . Maior ociosidade potencial das estações.

Os sistemas distribuídos representam a tendência dominante. Esses sistemas são formados por estações autônomas com grande capacidade local de armazenamento e processamento, com software residente ligado a um servidor com grande capacidade de memória acima de 20 Gbytes. É a arquitetura mais adequada para ambiente de engenharia e produção, além de tornar os sistemas CAD nada mais que uma ferramenta à disposição de quem necessitar, sem aquela aura de sistemas reservados a especialista. Em resumo, os sistemas distribuídos popularizam o uso do CAD nas empresas com excelentes resultados na transformação cultural da empresa no ambiente de projeto e produção. Na configuração de sistemas distribuídos, as estações autônomas são chamadas de clientes dos servidores.

6.8 - Observações

- .A influência de CAD/CAM nas atividades internas da empresa, independe do modo de como ela se utiliza do sistema, seja ele de uso próprio, alugado ou em escritório de serviços.
- .O que determina o sistema a ser instalado é a aplicação a ser dada a ele pela empresa.
- .Escritórios prestadores de serviços devem ser considerados para utilização de sistemas CAD/CAM.
- .Fornecedores de tecnologia nem sempre devem determinar o sistema a ser utilizado pela empresa nem tão pouco os grandes clientes de produtos ou serviços.
- .Uso efetivo de CAD/CAM se dá após 6 meses a 1 ano de instalação.
- .Deve-se procurar incentivar a instalação de sistemas entre os parceiros comerciais.

Após a decisão de implantar um sistema CAD/CAM ter sido tomada, é natural apressar-se a aquisição. Para evitar alguns dissabores, apresentamos uma sequência de ações que devem e não devem ser feitas.

O que não se deve fazer

- .Chamar o fornecedor de CAD/CAM imediatamente, a menos que deseje tê-lo à porta todos os dias. O momento oportuno para contatar fornecedores é somente após um estudo criterioso do seguimento da informação na empresa no processo produtivo.
- .Fazer uma lista dos recursos desejados que o sistema deva ter. Existem literalmente centenas deles. Deve-se primeiro determinar quais recursos são mais importantes para a empresa, na sua atividade.
- .Começar com idéias pré-concebidas sobre empresas fornecedoras e sobre sistemas e nem tão pouco que deva ser o sistema mais

- moderno existente, do tipo "lançamento mês passado".
- .Ter uma idéia pré-concebida sobre o preço que se deve pagar. Isso fica para mais adiante. O momento é de escolher sistemas. Custo é um dos critérios para decisão, porém entra como parte do processo global de seleção. Em tecnologia o barato sai, às vezes, muito caro.
 - .Restringir o estudo viabilidade de CAD/CAM a apenas um setor do processo produtivo. Devem-se analisar as necessidades globais da empresa.

O que se deve fazer

- .O planejamento de equipamento deve estabelecer metas de curto e médio prazo, no máximo três anos, quando novo plano será feito para os três anos seguintes e assim sucessivamente. Isso porque a tecnologia evolui muito rapidamente e com amadurecimento da utilização novos horizontes vão se abrindo.
- .Usar a imaginação. Tentar encontrar todas as formas possíveis de utilização e o impacto possível em todas as atividades da empresa. Colocar no papel. Será muito útil no decorrer da utilização e planejamentos futuros.
- .Procurar integrar todos os departamentos. Registrar todas as sugestões. Lembrar-se que CAD/CAM só dá o retorno esperado com o uso integrado.
- .Identificar os maiores problemas e fraquezas existentes no processo produtivo. Tanto a nível organizacional quanto a problemas específicos de análises de engenharia e manufatura. Nenhum problema pode ser resolvido antes de ser reconhecido.
- .Se por um lado o planejamento de equipamento tem metas de curto e médio prazo, a política de automatização e integração de áreas via computador requer planejamentos de médio e longo prazos, horizonte de cinco a dez anos, de acordo com os planos de expansão da empresa e seus objetivos estratégicos.

7. - SELEÇÃO DE SISTEMAS CAD/CAM EM ENGENHARIA MECÂNICA

O melhor sistema CAD/CAM é aquele que atende às necessidades da empresa. Não nos devemos iludir com os apelos mercadológicos dos fornecedores (a disponibilidade de apresentação de 250 cores de uma paleta de 16 milhões possíveis!). Os sistemas CAD/CAM na atualidade, praticamente todos, atendem as necessidades da Engenharia Mecânica. A diferença entre eles está basicamente naquilo que pouco acrescenta ao uso efetivo em projeto, atendendo mais aos apelos de apresentações cinematográficas dos projetos desenvolvidos; muito úteis para publicidade e marketing. Alguns desses recursos não acrescentam custos, outros porém são bastante caros. Nesta seção trataremos da seleção de equipamento CAD/CAM para uso em engenharia e manufatura.

7.1 - Considerações Gerais

A seleção de um sistema CAD/CAM é tarefa que requer de três meses a um ano de estudos para apresentação de relatório final e emissão do pedido de compra, dependendo é claro do porte da empresa e da quantidade de estações e aplicativos a serem adquiridos. Não se pode esquecer da máxima "pensar grande, começar pequeno".

Na primeira etapa de implantação de sistemas CAD/CAM deve-se ter uma estação para cada três usuários (projetistas, desenhistas ou engenheiros), até o limite de quatro estações no máximo e um plotador. Esse número de quatro estações ou de uma estação para cada três usuários mostrou-se o mais adequado para um primeiro contato com a tecnologia CAD/CAM, após um levantamento entre várias empresas no Brasil e no exterior.

Essa configuração não é pequena a ponto de impossibilitar o uso produtivo e nem tão grande a ponto de dificultar um gerenciamento e a avaliação adequada do impacto da tecnologia nas áreas envolvidas. Ainda que a empresa se decida por muitas estações na fase inicial, é recomendável que nos primeiros seis meses instale e opere somente

quatro estações e os periféricos para obtenção de desenhos. Os periféricos, ao contrário das estações, devem todos ser instalados imediatamente.

Objetivos da fase inicial

Essa primeira fase é muito rica em ensinamentos e tem basicamente os seguintes objetivos:

- . Avaliar a adequação do treinamento para operação e utilização do sistema.
- . Identificar a necessidade de treinamentos adicionais.
- . Identificar os usuários que melhor se adaptam ao equipamento para se tornarem multiplicadores de treinamento e lideranças de turnos ou projetos.
- . Avaliar a estrutura organizacional proposta.
- . Estabelecer normas para organização do banco de dados, níveis de acesso ao sistema, procedimentos para liberação, modificação e arquivamento dos desenhos gerados em CAD.
- . Estabelecer esquemas de proteção das fitas magnéticas contendo banco de dados, softwares e rotina de back ups*.
- . Identificação dos meios mais adequados para obtenção de desenhos impressos; por exemplo, uso de papel sulfite, papel vegetal, poliéster, tinta nanquim, caneta esferográfica etc. Seleção de fornecedores de material gráfico.
- . Avaliar qualidade de manutenção do equipamento e o suporte de software do fornecedor. Estabelecer procedimentos adicionais quando for o caso.
- . Avaliar a operação do equipamento em dois ou três turnos e a carga horária de utilização pelos projetistas. É usual o número de seis horas no máximo em frente ao vídeo, embora já tenhamos observado a utilização por 12 horas sem problemas.
- . Experimentar o desenvolvimento simultâneo de projetos.

* back ups- procedimentos para arquivamento e manutenção de arquivos em fitas magnéticas, discos ou outros meios. Conservação da informação.

7.2 - Avaliação de fornecedores

A avaliação de fornecedores divide-se basicamente em quatro etapas: conhecimento organizacional, demonstração, aplicação e visita a um usuário.

Primeira Etapa: Conhecimento Organizacional

Trata-se de uma reunião para contatos iniciais para conhecimento da empresa e do produto a ser oferecido na área de CAD/CAM. A reunião deve cobrir cinco partes a saber:

- 1) Apresentação por parte do fornecedor, constando de:
 - . Visão global da empresa e sua estrutura organizacional.
 - . Linhas de produtos a serem oferecidos no mercado local a curto e médio prazos.
 - . Desenvolvimento e suporte técnico na área de hardware e software.
 - . Prestação de serviços de assistência técnica e política de peças de reposição.
 - . Programa de treinamento para usuários.
 - . Programa de atualizações de softwares e manuais técnicos.
 - . Detalhe da estação de trabalho e redes de interligação.
 - . Capacidade de software aplicativo em CAD/CAE/CAM e exemplos de aplicação por usuários. Possibilidade de desenvolvimento de aplicações específicas.
 - . Interligações com outros sistemas CAD. Uso de redes e softwares tradutores entre diferentes sistemas.
 - . Visão do sistema como integração para Engenharia, Manufatura e Administração. Soluções propostas.
 - . Disponibilidades de softwares locais e plano de nacionalização de hardwares.
- 2) Questões e debates sobre o item 1.

- 3) Exposição por parte da empresa (candidata a usuária), sobre,
 - . Objetivos com CAD/CAM.
 - . Nível atual de automatização na empresa.
 - . Tipos de projetos, desenvolvimentos e parque de máquinas CN existentes.
 - . Primeiras áreas influenciadas por CAD/CAM.
 - . Apresentação do pessoal chave para contatos.
- 4) Apresentação pelo fornecedor de propostas para atender as necessidades da empresa interessada.
- 5) Rever o plano de trabalho para as próximas etapas e fazer um resumo dos assuntos tratados com cópia para todos os presentes.

Segunda Etapa: Demonstração

Demonstração prática por parte do fornecedor da capacidade e dos recursos de software e hardware do sistema proposto, constando de:

- . Configuração proposta (hardware e software).
- . Funcionalidade e capacidade das estações de trabalho.
- . Qualidade e resolução dos terminais.
- . Simplicidade de uso do sistema
- . Capacidade de geração 3D de superfícies, sólidos e recursos de apresentação visual dos modelos.
- . Sistema operacional, CPU, unidades de fita e disco.
- . Exemplos de projetos desenvolvidos por usuários.
- . Apresentação de recursos de análise estrutural.
- . Apresentação de recursos de programação CN.
- . Apresentação de literatura de suporte: manuais, periódicos, boletins, informações técnicas , etc.

Terceira Etapa: Aplicação/Avaliação

Execução por parte do fornecedor de um trabalho gráfico baseado em peças produzidas pela empresa conforme as informações entregues.

Tem por objetivo avaliar a utilização do sistema. As peças devem representar o ciclo completo do produto, permitindo análises de engenharia e informação para geração por controle numérico. Essa etapa é conhecida por "benchmark"*, e trataremos em detalhes na seção 7.3.

A execução da tarefa será acompanhada por um dos membros do comitê CAD/CAM e/ou um especialista no projeto em questão. Deve-se atentar para o fato de que não é o engenheiro da empresa que está sendo avaliado como demonstrador e sim o equipamento. Portanto não deve haver restrições quanto a tempo e sim se o sistema dispõe de recursos que permitam facilmente obter o modelo desejado.

Quarta Etapa: Visita a um usuário

Trata-se da visita a um usuário do sistema escolhido pela empresa interessada, de uma lista apresentada pelo fornecedor. De preferência, as tratativas para a visita devem ser conduzidas pelo fornecedor. Normalmente a visita não é acompanhada pelo fornecedor, embora não exista nenhum inconveniente ou prevenção. Trata-se de uma postura normal do fornecedor em deixar o usuário à vontade para comentar sobre seu equipamento no que tange a dificuldades e facilidades. É preciso ter em mente que não se trata de uma investigação, é tão-somente uma avaliação. Dificuldades e problemas existem. O importante é notar como são conduzidas as soluções.

As etapas três e quatro ocorrem simultaneamente. Ao final de cada etapa deve ser emitido um relatório pelo comitê CAD/CAM. Nesse momento restringe-se o número de potenciais fornecedores. Esse processo não deve levar mais do que três meses, nesse período é recomendável a participação em congressos e seminários relacionados ao assunto a fim de obter informações sobre o estado-da-arte da tecnologia e tendências futuras.

*benchmark - Prova padrão. Medição do rendimento de um sistema, com base em problemas apresentados pelo usuário, para comparação com outros sistemas.

Passa-se então para uma fase mais detalhada de avaliação dos potenciais fornecedores. Organiza-se uma planilha para análise de decisão sugerida na seção 7.4. Como os sistemas atualmente praticamente se equivalem o uso de critérios de seleção torna-se o único instrumento capaz de desempatar, excetuado é claro, o preço do sistema.

7.3 - Benchmark

Benchmark é mais do que uma simples demonstração de recursos de um sistema CAD/CAM. Ele é um teste de desempenho que representa um exemplo de aplicações reais ou potenciais que serão executadas no equipamento. Demonstrações como aquelas apresentadas em feiras são desenvolvidas pelo fornecedor de sistemas à luz do melhor efeito mercadológico possível. A empresa pode ser tentada a tomar a decisão baseando-se nas demonstrações, mas deve ser lembrado que as demonstrações sempre ilustram mais um efeito otimizado que um desempenho real.

Devido a natureza do benchmark ser de um exercício não previamente ensaiado, ele permite que se analise o software em operação. Não só avalia a velocidade de resposta do sistema, mas também permite verificar como o software trabalha determinados problemas de projeto e engenharia.

A realização do benchmark tem por objetivo o seguinte:

- . Determinar a facilidade de interação entre operador e o sistema CAD/CAM. O uso amigável do sistema (user-friendly) é uma característica fundamental para aprendizado e produtividade do equipamento. Nunca se pode esquecer que os usuários não são especialistas em computação e que eles esperam um equipamento com uma linguagem familiar ao seu trabalho.
- . Simular, o mais próximo possível, as condições reais de utilização.
- . Avaliar a flexibilidade do sistema e recursos computacionais.
- . Avaliar o potencial de produtividade no sistema.
- . Avaliar a compatibilidade entre software e hardware.
- . Exercitar usos adicionais do equipamento em linguagens de programação tais como Pascal, Fortran 77, C.
- . Avaliar a adaptação do equipamento às normas da empresa, no que tange a dimensionamento e emissão de relatórios.
- . Verificar a existência de macrolinguagens que fazendo uso das rotinas do núcleo gráfico, permitam ao usuário gerar programas gráficos específicos. Existência de linguagens paramétricas.

Conforme dissemos anteriormente, o objetivo é avaliar o equipamento para solução de problemas e sua interface com o operador. Portanto alguns cuidados devem ser tomados na realização do benchmark:

- . Evitar que o operador do fabricante pouco familiarizado com o equipamento e recursos do sistema na área de aplicação, leve a falsa conclusão de limitações do equipamento. É difícil fazer essa distinção. Constitui um grande problema tanto para o fornecedor quanto para o usuário.
- . Propor problemas que possam ser resolvidos em um ou dois dias. Lembrar-se que peças complicadas e problemas complexos não são comuns no processo produtivo, então porque usar modelos estatisticamente pouco frequentes?
- . O mesmo teste deve ser aplicado a todos os potenciais fornecedores e a versão de software utilizada deve ser aquela que será adquirida. É comum os fornecedores alegarem que uma nova versão resolverá adequadamente determinado problema para o qual ele não apresenta solução satisfatória. O software avaliado é aquele disponível no mercado. O que for desenvolvido após o teste não deverá ter influência na avaliação.

7.3.1 - Atividades do benchmark

Os problemas apresentados para o benchmark dependem de cada empresa e da área de utilização do CAD. Assim para engenharia elétrica existe um grupo de testes; para plásticos outro e assim sucessivamente. Apresentamos a seguir os requisitos mínimos para aplicação em engenharia mecânica na indústria automobilística.

Tarefas para benchmark

1 - Conversão de arquivos

Tem por objetivo verificar a capacidade de conversão de arquivos gerados em diferentes sistemas. É especialmente im-

portante em indústrias com uma grande gama de fornecedores e com diferentes centros geradores de tecnologia.

A peça a ser convertida deve ser composta de superfícies, textos, cotas, etc. Após a conversão o modelo deverá permitir sua manipulação, alteração, edição e dimensionamento.

2 - Dimensionamento

Tem por objetivo verificar a capacidade e versatilidade de colocação de cotas em desenhos. Após a conversão da peça do item 1, a empresa fornecedora deverá proceder ao seu dimensionamento de acordo com o exemplo fornecido pelo cliente. Deverão ser preparadas as vistas e cortes, conforme mostrado no exemplo, além de reproduzir as mesmas dimensões com tolerâncias e simbologia de forma e posição. O desenho deve ser completado com todas as notas, nome e número da peça.

3 - Montagem de conjunto

Tem por objetivo verificar a capacidade do sistema de montar um conjunto juntando várias peças do banco de dados. O cliente deve fornecer os desenhos das peças e componentes do conjunto com antecedência. No dia da realização do teste deve apresentar o desenho do conjunto montado e solicitar que o fornecedor execute a montagem de acordo com o exemplo apresentado. O conjunto deve conter exemplares de peças fundidas, forjadas e de chapas.

4 - Planificação de chapas

Tem por objetivo verificar a capacidade do sistema para desdobramento de chapas afim de se obter o desenho de corte. Após a modelagem do item 3, a peça de chapa deverá ser desdobrada para a obtenção do plano de corte.

5 - Obtenção de sobre-metal

Tem por objetivo verificar a capacidade do sistema para gerar superfícies paralelas às existentes como se fossem sobre material. Esse recurso é importante no auxílio de projeto de moldes para fundidos e forjados de peças que sofrerão usina-

gem posterior. Deve ser utilizada uma das peças do conjunto do item 3 existentes no banco de dados.

6 - Geração de trajetórias de ferramenta

Tem por objetivo verificar a capacidade de gerar trajetórias de ferramentas para programação de máquinas de controle numérico. Deve ser dada especial atenção aos raios de concordância e tolerâncias para aproximação de superfícies. Essas tolerâncias não devem ser maiores que o raio da ferramenta. Deve ser utilizada uma das peças com superfícies esculturais que faz parte do item 3.

7 - Geração de Superfícies de forma livre

Tem por objetivo verificar a capacidade do sistema para gerar superfícies esculturais de forma livre. São dadas três ou quatro linhas básicas da superfície, através de uma tabela de pontos, pertencentes ao diedro $x^+ y^+ z^+$. O sistema deverá ser capaz de suavizar as linhas e com elas obter uma superfície boa. É fornecida também a forma final das linhas e da superfície desejada. Na apresentação do trabalho deverá ser descrito o método utilizado para modelamento.

8 - Geração de malhas e análise por elementos finitos

Tem por objetivo avaliar a capacidade do sistema de, a partir de modelos existentes no banco de dados, gerar a malha de elementos finitos e proceder a análise. O modelo deve conter elementos de placas. Deve-se solicitar análise estática e dinâmica e apresentação dos resultados em curvas de isotensão mostrando a tensão máxima, cisalhamento máximo e a estrutura deformada, bem como os modos de vibração e respectivas amplitudes com animação na tela.

Nas atividades de benchmark sugeridas acima não abordamos o uso de sólidos e nem publicações técnicas. Eventualmente a empresa interessada poderia estabelecer parâmetros para essas tarefas, tomando por base a filosofia de banco de dados compartilhado e geração de trabalho em nível superior ao existente hoje na empresa.

7.3.2 - Características gerais dos elementos para benchmark

Conforme se depreende da seção 7.3.1 as peças escolhidas para benchmark são exemplos especiais de desenvolvimento do produto na empresa. Apresentamos a seguir alguns critérios para auxiliar na escolha.

Utilização do software mecânico aplicativo

A peça a ser escolhida deverá exigir no mínimo:

- Comandos de transformação de entidades, controle de tela e visualização (ver seção 2.2.2.2).
- Comandos para geração de superfícies de revolução.
- Comandos para geração de superfícies regradas.
- Comandos para geração de superfícies B-splines e outras.
- Geração de superfícies de concordância, raios de arredondamento, concâvos e convexos.
- Geração de superfícies de concordância, com raios de arredondamento seguindo uma lei de variação em determinado trecho da peça.
- Capacidade de sombreamento e iluminação do modelo.
- Comandos para modelamento de fio-de-arame.
- Obtenção de distâncias, comprimentos e planos auxiliares.

Utilização do software para análise de engenharia

O problema proposto deverá exigir no mínimo:

- Desenvolvimento de um programa de auxílio em engenharia (FORTRAN, ou utilizando linguagens paramétricas).
- Cálculos de propriedades de massa (centro de gravidade, momentos de inércia, raios de giração, etc.)
- Elementos finitos (geração de malha, simulação, interface com pacotes de cálculo, tais como SAP IV, NASTRAN, ANSYS, etc.)

- Capacidade de análise de cinemática.

Utilização do software de controle numérico

A peça proposta deve verificar no mínimo:

- Capacidade de geração de trajetória de ferramenta.
- As informações associadas às trajetórias.
- Edição da trajetória.
- Simulação dos movimentos da ferramenta.
- Junção entre caminhos de ferramenta.
- Limite do número de eixos do programa analisado.
- Pós-processamento.
- Saídas para máquinas de comando numérico.
- Uso de controle numérico direto (DNC).

Utilização do núcleo gráfico e sistema operacional

Os problemas propostos devem verificar no mínimo:

- As características dos menus oferecidos; entre outras, como gerar um menu específico.
- Facilidades de documentação "on-line".
- Comandos para leitura e cópia de fitas.
- Manipulação de arquivos em discos.
- Gerenciamento e contabilidade do sistema.
- Alocação de memória, criação de diretórios.
- Atribuição de senhas para estabelecer níveis de acesso ao sistema.

7.4 - Processo de Seleção de Sistemas CAD

7.4.1 - Método de avaliação

No decorrer do benchmark, muitas características do sistema vão sendo observadas e avaliadas. Possivelmente todos os potenciais fornecedores de sistemas CAD, considerando-se o nível dos sistemas atuais, realizem com sucesso os problemas apresentados. É necessário avaliar-se item por item de um sistema CAD/CAM a fim de se estabelecerem as diferenças para se chegar a uma recomendação final para emissão do pedido de compra e dar início às atividades que antecedem a instalação.

É necessário que se estabeleça um método estruturado para auxiliar na decisão e avaliar as características do sistema. Vamos utilizar a análise de problemas sugerida por Kepner-Tregoe (54) e adotada na avaliação de sistemas CAD em algumas publicações sobre o assunto (53).

O processo apresentado é uma adaptação dos métodos sugeridos em (53) e (54).

Existem seis passos para análise:

1. Listar todos os recursos relevantes de um sistema CAD/CAM considerados importantes para as aplicações da empresa.
2. Sem considerar qualquer sistema específico, atribuir um fator de importância para cada recurso de software. A escala é arbitrária e pode ser de um a dez ou de dez a cem. O importante é que os valores mais altos sejam atribuídos aos recursos mais importantes e os valores mais baixos sejam atribuídos aos recursos menos importantes.
3. Atribuir para cada sistema uma nota de satisfação, de acordo com o atendimento de cada item relevante. Esse valor é subjetivo e reflete a percepção de cada avaliador que observou o desempenho do sistema na execução daquele item. A atribuição de notas deve seguir a seguinte escala:

Rejeitar	Atende completamente (excelente)									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

4. Quando esses fatores e notas forem tabulados, multiplicar cada nota corrigida pelo fator de importância. Nota corrigida é obtida pela soma da média das notas para cada item com a nota dada ao respectivo sistema naquele item. Essa correção tem por objetivo adotar como base uma subjetividade média do grupo. Não se pode esquecer que o grupo é formado por pessoas de diversos departamentos (comitê CAD/CAM e outros convidados).
5. Somar o total de pontos resultantes do produto da nota corrigida pelo fator de importância. O melhor sistema é aquele que obteve o maior número de pontos, do ponto de vista de recursos de software, hardware, etc.
6. Considerar como os usuários avaliam seus sistemas em uso e seus fornecedores de CAD/CAM. Esse item é muito importante porque nem sempre o melhor sistema tem o melhor fornecedor, da mesma forma que o melhor carro não tem necessariamente a melhor rede de revendedores.

Solicitar aos usuários que atribuam notas de um a dez, a alguns itens como por exemplo:

- Suporte técnico, hardware e software
- Rapidez de atendimento a chamados
- Satisfação com o software
- Satisfação com o hardware
- Avaliação global do fornecedor
- Avaliação global do sistema

Uma lista completa encontra-se na seção 7.4.3.

O critério de atribuição de notas é o seguinte:

Não satisfaz	Satisfaz completamente									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	

Esses itens possuem nota de corte. O fornecedor de sistemas CAD/CAM com média igual ou abaixo de cinco em qualquer desses itens de-

verá ser rejeitado.

Aplicar a essas notas os mesmos procedimentos dos itens 4 e 5.

Finalmente, multiplicar os resultados finais do item 5 pelos resultados finais do item 6 e dividir por mil respectivamente. Como critério de desempate, consideram-se os valores após a vírgula, do resultado da divisão por mil.

O sistema com o maior valor final deverá ser o escolhido.

A partir de então, considera-se a parte de custos do sistema, de manutenção e treinamento, etc. O comitê CAD/CAM elabora o relatório final apresentando os resultados finais de classificação por ordem de preferência e uma recomendação. Caberá à diretoria a decisão final.

A seguir, apresentamos um exemplo simplificado de aplicação desse processo na seleção de um automóvel. Sob as notas de satisfação, mostramos dois números x/y . O primeiro, x , é a nota de satisfação atribuída pelo cliente a cada item do automóvel. O segundo número, y , é o produto da nota de satisfação pelo fator de importância. O total final das colunas é a soma desses produtos. Nesse exemplo não usaremos o conceito de nota corrigida.

.Avaliação do cliente

Característica	Fator de Importância	Notas de satisfação			
		GM KADETT	FORD ESCORT	VW VOYAGE	FIAT PREMIO
. Aparência	8	10/80	8/64	6/48	5/40
. Resistência a corrosão	10	8/80	8/80	6/60	6/60
. Confiabilidade	10	7/70	8/80	9/90	5/50
. Consumo	7	7/49	7/49	8/56	7/49
. Manobrabilidade	8	10/80	10/80	10/80	10/80
. Dirigibilidade	10	10/100	8/80	8/80	7/70
. Aceleração	6	10/60	9/54	10/60	7/70
. Preço	5	7/35	8/40	8/40	10/50
A) Total de pontos		554	524	514	469

.Avaliação de proprietários

Características	Fator de Importância	Notas de satisfação			
		GM KADETT	FORD ESCORT	VW VOYAGE	FIAT PREMIO
. Atendimento na Revenda	8	8/64	10/80	8/64	10/80
. Preço de peças	10	6/60	6/60	6/60	5/50
. Serviço de garantia	10	6/60	8/80	9/90	7/70
. Imagem global da marca	8	10/80	10/80	10/80	10/80
. Satisfação global com o veículo	8	9/72	10/80	7/56	10/80
B) Total de pontos		336	380	350	360
C) TOTAL GERAL: (AxB)+1000		186	199	180	169

O VEÍCULO ESCOLHIDO É O ESCORT.

7.4.2 - Atribuição do fator de importância. Recursos mandatórios ou desejáveis.

Existem dois tipos de recursos em CAD/CAM: aqueles que são mandatórios e aqueles que são desejáveis. Os recursos mandatórios são absolutos. Se o sistema em avaliação não atender a todos eles, então ele não poderá ser adquirido. Para estabelecer os itens mandatórios, todos os departamentos afetados pelo sistema ou como usuários, ou como recebedores do serviço deverão ser consultados.

Os recursos desejáveis variam de grau de importância. Por exemplo, poderia se desejar que a cor do gabinete das estações se harmonizassem com a cor das paredes do escritório, mas tal recurso é provavelmente pouco importante se comparado com o desejo de ter um sistema que pode ser aprendido em poucas horas.

Para pesar os recursos desejáveis, atribuir um fator de importância para cada um dos itens desejáveis da lista. Conforme já mencionamos esse fator é arbitário e varia de um a dez ou de dez a cem. Recomenda-se que pessoas de diferentes departamentos sejam envolvidos

nessa tarefa. Por exemplo, um projetista de superfícies certamente vai atribuir um fator bastante alto para o item de alisamento de superfície. Por outro lado, o supervisor da área de desenhos de detalhe vai achar que a capacidade de colocação de cotas e textos é mais importante. Quando os fatores de importância de todas as áreas afetadas forem consideradas, o valor médio dos fatores para cada item provavelmente refletirá de forma mais adequada as necessidades da empresa como um todo.

Comparar a lista de recursos mandatórios com os recursos oferecidos pelos vendedores de sistemas. Se um sistema não atende um dos recursos mandatórios, ele deve ser retirado da lista de prováveis fornecedores. É bem possível que não sobre nenhum fornecedor. Se for o caso, a lista de recursos mandatórios deve ser reavaliada. Talvez se esteja esperando demais da tecnologia CAD/CAM atual. Examinar a lista dos recursos mandatórios. Todos eles são realmente mandatórios? Ou alguns são altamente desejáveis mas não essenciais? Re-examinar o plano de implantação de CAD/CAM. Pode ser que muitos dos objetivos imediatos não encontrem respaldo tecnológico para sua execução. Pode fazer sentido reprogramar os objetivos de implantação, automatizar algumas áreas e aguardar que a tecnologia evolua.

Após redimensionar a lista de prováveis fornecedores com o crivo dos itens mandatórios e uma vez estabelecidos os pesos para o fator de importância, deve-se proceder à análise descrita na seção 7.4.1.

7.4.3 - Recursos normalmente disponíveis em sistemas CAD/CAM

A relação a seguir não pretende ser completa. Cada empresa tem seus próprios objetivos e necessidades e a lista pode ser ampliada ou reduzida. Essa relação cobre a maioria das necessidades para aplicações mecânicas.

As características dos diversos sistemas CAD/CAM devem ser analisadas sob os seguintes aspectos;(resumidamente):

Software

- . Manipulação de entidades geométricas individuais ou em grupo,

- . Criação de entidades geométricas e sua eliminação.
- . Capacidade de rotação, translação, rebatimento, zoom, etc.
- . Mensuração de distâncias, comprimentos, áreas, volumes.
- . Desenhos em camadas. níveis ou planos superpostos.
- . Possibilidade de obtenção de seções, cortes e rebatimentos.
- . Transformação de modelos 3D em vistas ortogonais.
- . Dimensionamento e padronização.
- . Tipos de linhas e sua modificação ou geração.
- . Textos - fontes e sua criação.
- . Limite de armazenamento e extensões de desenhos.
- . Composição de desenhos de conjuntos.
- . Definição de superfícies esculturais de forma livre.
- . Criação e manipulação de superfícies de revolução.
- . Escondimento de linhas.
- . Linhas paralelas, perpendiculares, em ângulos.
- . Linguagem de programação (paramétrica ou estruturada).
- . Biblioteca de peças e desenhos.
- . Interação de programas com desenhos.
- . Criação e utilização múltipla de células.
- . Associatividade entre células e matriz de onde são derivadas.
- . Associatividade entre dimensões e modelos.
- . Associatividade entre todas as vistas do desenho.
- . Quantidade de vistas auxiliares que podem ser criadas.
- . Facilidade de uso e aprendizagem.

Atualização de Software

- . Custo de versão atualizada.
- . Garantia de compatibilidade

Hardware

- . Capacidade de disco

- . Fita magnética.
- . Copiadora.
- . Impressoras.
- . Equipamento modular.
- . Estação de trabalho:- Tipo de tubo de imagem, teclado, mesa digitalizadora, teclas de funções.
- . Mesa digitalizadora.
- . Linhas de comunicação.
- . Console.
- . Plotadores.
- . Confiabilidade.
- . Instalação.
- . Compatibilidade com modelos anteriores e futuros.

Fatores Humanos

Ambiente:

- . Ergonomia.
- . Iluminação.
- . Nível de ruído.
- . Meios de interação homem-máquina.
- . Vídeo (reflexão, brilho, resolução, cor, etc.).

Treinamento

- . Cursos (tipos).
- . Cronograma.
- . Qualidade.
- . Local de treinamento.
- . Manuais de treinamento.
- . Carga horária.
- . Custos.
- . Complexidade.

Serviços

- . Serviço local.
- . Procedimentos para chamadas e atendimentos.
- . Tempo de resposta aos problemas.
- . Assistência ao software e programação.
- . Assistência na preparação do local.
- . Assistência na justificativa da viabilidade técnica/econômica.
- . Assistência no ajuste de sistemas e avaliação de produtividade.
- . Custos de contrato de manutenção global e frequência de reajustes nesses valores.
- . Apoio e/ou desenvolvimento de aplicativos.
- . Adaptação do sistema.

Gerenciamento de sistemas

- . Software para contabilidade do sistema.
- . Segurança de programas e projetos.
- . Documentação.
- . Apoio na ampliação do leque dos usuários.
- . Obsolescência do sistema.
- . Controle de tarefas.

Grupo de usuários

- . Tipo de usuário - estatística de aplicativos.
- . Funcionamento.
- . Participação.
- . Comprometimento.
- . Suporte da empresa fornecedora.

Desenvolvimentos futuros

- . Frequência de lançamentos futuros.
- . Novas liberações de software.
- . Integridade de banco de dados com lançamentos novos.
- . Família de equipamento.
- . Documentação.

Experiência do fornecedor

- . Base instalada.
- . Preparo do pessoal de suporte.
- . Relação (pessoal de suporte) por (número de estações).
- . Capacidade local de reparos e componentes.

Facilidade de adaptação do sistema

- . Linguagens de programação universais.
- . Macrolinguagens.
- . Menus de tela iconográficos e mnemônicos.
- . Comandos fáceis de guardar.
- . Mudança de ambiente gráfico para sistema operacional.
- . Sistema operacional.

Características que deverão ser avaliadas pelos usuários dos sistemas em avaliação:

- Suporte técnico hardware e software.
- Rapidez no atendimento a chamados.
- Qualidade das soluções dos problemas (hardware e software).
- Satisfação com o software.
- Satisfação com o hardware.
- Facilidade do uso do sistema operacional.
- Avaliação global do fornecedor.

- Avaliação global do sistema.
- Fornecimento de novas versões de software.
- Qualidade das informações fornecidas.
- Qualidade do serviço de manutenção preventiva do sistema (frequência).

7.5 - Observações

Para se proceder a uma avaliação efetiva, algumas recomendações de caráter geral devem ser seguidas:

- . Estabelecer um cronograma de atividades, visitas, etc. O processo de seleção não deve levar muito tempo. A tecnologia evolui muito rápido e os avaliadores podem ser tentados a cada vez analisar o lançamento mais recente, num processo sem fim. Portanto, deve ser estabelecida uma data para apresentação do relatório final.
- . Os sistemas distribuídos, hoje existentes, apresentam a possibilidade de se terem estações autônomas com softwares diferentes. É uma forma de reduzir custos solicitar menor número de cópias de software para problemas específicos ou estatisticamente pouco frequentes.
- . Conversar com o maior número de pessoas possível na empresa sobre o assunto. Incentivar a troca de informações. Manter-se atualizado.

8 - ANÁLISE E JUSTIFICATIVA ECONÔMICA DE SISTEMAS CAD/CAM.

A aquisição de sistemas CAD/CAM exige um projeto de viabilidade econômica onde são apresentadas justificativas e taxa de retorno do investimento. Embora o detalhamento do projeto seja preparado pela área financeira, o engenheiro será solicitado a apresentar todos os parâmetros que justifiquem com números o investimento. Entre outros, deverá estimar a produtividade adquirida com o sistema e quanto isso representa em termos de ganhos para a empresa para contrabalançar as despesas e apresentar um saldo positivo. Esse estudo resume-se basicamente em:

$$\text{GANHOS} - \text{CUSTOS} = \text{GANHO LÍQUIDO}$$

Os ganhos resultantes do uso de CAD/CAM dividem-se entre benefícios quantificáveis (tangíveis) e benefícios não quantificáveis (intangíveis), ambos devem ser considerados na apresentação de justificativas, e não raro os ganhos intangíveis representam uma motivação principal. Na realidade os ganhos considerados não quantificáveis refletem apenas a falta de metodologia para avaliá-los quantitativamente. À medida que os métodos para avaliar produtividade e rentabilidade vão evoluindo para aspectos mais globais, esses ganhos acabam por apresentar valores mensuráveis. É uma área de estudo e pesquisa que requer desenvolvimento nesse sentido a fim de responder a algumas perguntas tais como: Quanto aumenta a produtividade a melhoria da qualidade de projeto? Quanto ganha a empresa com uma imagem melhor no mercado? Quanto representa em ganho um produto de melhor qualidade? Como medir o efeito da melhoria do ambiente de trabalho? etc.

Nas seções seguintes apresentamos alguns parâmetros que podem ser utilizados para determinação quantitativa de ganhos.

8.1 - Estimativa de Custos e Benefícios com CAD/CAM

Existem um grande número de expressões matemáticas que são adequadas para análise econômica de CAD/CAM envolvendo taxa e período de retorno do investimento, produtividade, rotatividade, redução de erros e outros fatores que são utilizados para estimar ganhos na redução de custos com o uso de automatização em comparação aos métodos manuais. Apresentamos a seguir cinco métodos que levam em conta fatores de projeto e detalhamento que são afetados por CAD/CAM. Os métodos foram adaptados do cap. 6 de TEICHOLZ (55).

1- Fator produtividade

$$\text{Produtividade} = \frac{\text{Trabalho Manual}}{\text{Trabalho em CAD}}$$

A produtividade é a medida do trabalho produtivo gerado por várias pessoas, onde uma unidade ou uma hora de trabalho manual produtivo é medida contra uma fração de hora para a mesma quantidade de trabalho em sistema CAD/CAM.

Produtividade é frequentemente confundida com a diferença entre o tempo necessário para se fazer um projeto usando-se CAD em relação ao método manual. Ao contrário, produtividade é a medida do número de pessoas, e não a medida do tempo para a pessoa fazer um projeto. Isto responde à questão: Quanto trabalho a mais é produzido na empresa com o mesmo número de pessoas usando-se um sistema CAD?

A experiência mostra que, dependendo do trabalho a ser realizado, a produtividade de 3:1 a 10:1 pode ser alcançada. (ver tab. 8.1). Na seção 8.2 apresentamos uma análise mais detalhada de produtividade.

2- Fator de ciclo de projeto

$$\text{Fator de Projeto} = \frac{\text{Tempo gasto manual}}{\text{Tempo gasto em CAD}}$$

Fator de projeto é a medida do tempo total gasto para a completa realização de um trabalho manualmente versus o tempo necessário para com sistema CAD obter-se o mesmo resultado. Fator de projeto deve incluir todo o processo de projeto. Por exemplo, se a análise é para

ser feita em um projeto integrado, ele deve incluir o tempo de projeto, detalhamento e documentação, e não simplesmente o tempo necessário para se obter desenhos e relatórios. Na maioria das vezes, o sistema CAD vai requerer somente o tempo de projeto. Quando o projetista se utiliza do sistema CAD para projetar, os desenhos de detalhes a ele relacionados e os relatórios associados também estão sendo criados à medida que o projetista desenvolve o seu projeto.

Antes de se iniciar qualquer estudo comparativo, toda a atividade manual e em CAD deverá ser identificada e documentada para avaliação.

3- Fator de redução de erros

$$\text{Fator de redução de erros} = \frac{\text{Potencial de Erro Manual}}{\text{Potencial de Erro em CAD}}$$

Fator de redução de erro é a medida da suscetibilidade para ocorrência de erros em métodos convencionais de projeto versus projeto realizado em sistemas CAD. Pode também ser considerado como um método para analisar a redução de erros no processo, isto é, cópias, detalhamento, translações, rebatimentos, interferências e modificações.

Esse fator, por muitos considerado como subjetivo e de difícil entendimento pode ser isolado e, sob um gerenciamento apropriado, pode tornar-se um dos mais influentes elementos na análise de viabilidade econômica da implementação de sistemas CAD. Falhas e erros humanos estão presentes em qualquer organização. A identificação das áreas propensas a maior quantidade de erros é essencial para um bom desempenho com ou sem sistemas CAD. Uma vez isoladas, elas podem ser avaliadas em relação às diferenças entre os métodos convencionais e sistemas CAD aplicados a um projeto.

4- Fator do espaço físico

$$\text{Fator do espaço físico} = \frac{\text{Custo Anual (CAD)}}{\text{Custo Anual (Manual)}}$$

O custo do espaço físico é a medida do impacto do sistema CAD na alocação do espaço de trabalho. O impacto é expresso em termos da relação entre o custo atual das instalações necessárias para utiliza-

ção de sistema CAD nas mesmas condições.

O impacto leva em conta três elementos:

- . A diferença entre o número de pessoas necessárias quando se utiliza sistema CAD e quando se utilizam métodos convencionais.
- . A quantidade de espaço necessário para cada operação (CAD versus manual).
- . O custo do espaço alocado.

Os requisitos de espaço variam de empresa para empresa de acordo com os custos associados, mas o impacto do espaço físico é uma excelente medida relativa e deve revelar diferenças significantes entre custo de alocação de espaços para métodos convencionais e para métodos em CAD.

5- Fator Operacional

$$\text{Fator operacional} = \frac{\text{Custo Anual (CAD)}}{\text{Custo Anual (Manual)}}$$

O impacto do custo operacional é a medida da diferença dos custos operacionais entre método manual e uso de sistemas CAD. Essa é uma indicação da redução dos custos quando se utiliza um sistema CAD nas atividades do dia-a-dia.

O impacto do custo operacional inclui o cálculo de vários elementos diferentes:

- . Redução do custo de mão-de-obra com uso de CAD.
- . Custo do sistema CAD.
- . Custo da manutenção do sistema CAD.
- . Custo da instalação e treinamento de sistemas CAD.

A redução do custo de mão-de-obra pode ser calculado através da produtividade, ou seja, o número de pessoas necessárias em métodos convencionais, menos o número de pessoas necessárias com sistema CAD, multiplicado pelo custo da mão-de-obra.

O custo do sistema CAD é uma função dos requisitos específicos para sua aplicação e o custo pode variar dependendo da configuração do sistema selecionado. O custo de instalação e treinamento só incide uma vez.

Para instalação, os sistemas CAD normalmente requerem potência elétrica adicional, estabilizadores de tensão, sistemas de ar-condicionado, iluminação especial e, às vezes, luzes de emergência. O treinamento é contínuo e permanente, mas as operações iniciais envolvem reavaliações constantes do pessoal e de procedimentos na empresa. O impacto do custo operacional é uma excelente medida de como o sistema CAD pode afetar as atividades operacionais atuais da empresa.

8.2 - Ganhos de produtividade em CAD/CAM

Durante anos, produtividade tem sido um objetivo perseguido por toda a organização humana e seu conceito tem apresentado diversas interpretações. Produtividade não é uma medida de produção, não é medida de custos, não é também uma medida do custo dos recursos disponíveis na empresa e nem exatamente uma medida de eficiência. Simplesmente é a relação de alguma medida de produção (saída) comparada com alguma medida de entrada (48).

Alguns conceitos básicos de produtividade. Produção é qualquer produto ou serviço gerado e entrada é todo o recurso usado para produzi-lo. Existem medidas diretas de ganhos de produtividade tais como a comparação entre número de porcas colocadas com chaves manuais em relação ao número de porcas colocadas com ferramentas de ar-comprimido.

Medidas puras de produtividade são difíceis de obter em ambientes fora da linha de produção. Faz-se então uso de medidas indiretas que não são verdadeiras medidas de produtividade, mas são ótimos indicadores de produtividade. A consideração mais importante é que uma correlação pode ser mostrada entre a medida indireta e/ou a produção e/ou a entrada. Alguns exemplos de medidas indiretas:

- 1- Nível de qualidade. À medida que o número de defeitos decrece, a produção líquida aumenta ou/e a entrada diminui.
- 2- Retrabalho. Quando a quantidade de retrabalho diminui, a entrada diminui. Também a produção líquida pode aumentar se o sistema estiver sendo utilizado no máximo de capacidade.
- 3- Dentro do prazo. Quando os projetos são completados rapidamente, eles tendem a necessitar de menos recursos para seu desenvolvimento do que aquele programado. O mesmo raciocínio se aplica quando os prazos são atingidos em vez de ampliados, não há necessidade de carrear recursos adicionais para desenvolvimento do projeto.
- 4- Eficiência. Essa é a medida do acerto comparado a um padrão. Se

atender ao padrão indica que os recursos são completamente utilizados, não há necessidade adicional.

Boas médias de produtividade têm as seguintes características:

- . Significabilidade. A medição abrange uma parte não-trivial do total da produção e da entrada sob consideração.
- . Clareza. O significado da medida não é ambíguo.
- . Interpretabilidade. Os resultados são fáceis de interpretar e mostram onde ações corretivas são necessárias.
- . Praticabilidade. A medição é razoavelmente fácil de implementar, é flexível e tem uma relação custo-benefício.

As boas medidas de produtividade devem ter no mínimo três atributos básicos (48).

- 1- A medida deve enfatizar que as pessoas são o recurso mais importante.
- 2- Existe uma forte ligação entre produtividade, lucratividade e renda.
- 3- A medida deve ser fácil de entender e representa um denominador comum para comparação que pode ser usado tanto pela empresa como pelas gerências para planejar o futuro.

8.2.1 - O que deve ser medido

A fim de se ter um sistema CAD/CAM verdadeiramente produtivo, é imperativo que sejam desenvolvidas medidas para verificação de produtividade. Medidas indiretas de produtividade são as medidas mais usadas nas áreas de engenharia, pesquisa e escritórios. Levantamentos realizados indicam que 92% das áreas de engenharia das empresas utilizam medidas indiretas de produtividade. Nas empresas de serviços esse índice chega a 70% (48).

A seguir uma lista de medidas indiretas típicas:

- . Número de erros em desenhos liberados.
- . Cumprimento de prazos.
- . Custo total por tarefa.

- . Tempo de projeto x tempo padrão.
- . Período total do sistema em operação.
- . Facilidade de modificações de desenho.

O objetivo de se perseguirem medidas de produtividade em CAD/CAM não é apenas para justificação do equipamento, mas também para fornecer ao gerente do sistema e ao gerente de engenharia um conjunto de indicadores que vai permitir uma avaliação do sistema e a indicação das áreas onde a operação pode ser melhorada.

8.3 - Retorno do investimento e ganhos de produtividade na indústria.

8.3.1 - Período de retorno de investimento

$$\text{Período de retorno do investimento} = \frac{\text{Custo do CAD}}{\text{Lucro líquido do CAD ao mês}}$$

O período de retorno do investimento é a medida do tempo necessário até que todo o capital ou completo pagamento do sistema CAD tenha retornado.

O período de retorno inclui essencialmente quatro elementos que são calculados em bases mensais:

- . Redução do custo de mão-de-obra
- . Redução do custo do espaço físico
- . Custo do sistema CAD.
- . Custo de manutenção do sistema CAD.

Qualquer um dos elementos acima pode afetar dramaticamente o período de retorno do investimento. A redução do custo da mão-de-obra pode ser um grande incentivo na direção da aceitação do sistema CAD e na redução do período de retorno do investimento. O custo do sistema pode ser elevado e tornar-se um fator para aumentar o período de retorno. Todos devem ser devidamente considerados para se obter uma análise econômica apropriada.

8.3.2 - Produtividade com sistemas CAD/CAM na indústria mecânica

Ganhos de produtividade é lucro alcançado na realização de um trabalho com sistema CAD/CAM de forma mais eficaz do que com sistemas convencionais. Quando os sistemas CAD são operados de forma conveniente, após um período de aprendizado que vai de 3 a 12 meses, de acordo com a atividade, a empresa pode esperar ganhos de produtividade nas faixas apresentadas a seguir (55).

Tabela 8.1 - Ganhos de produtividade utilizando-se sistemas CAD/CAM

Aplicação	Taxa de Aumento de Produtividade * (55)	
	Média	Variação
Circuitos elétricos	4,5:1	16-2
Publicações	4,4:1	10-2
Estudos de projetos	4,3:1	20-2
Desenhos esquemáticos	4,2:1	20-1,5
Caldeiraria	3,8:1	20-1
Plantas industriais	3,4:1	10-1
Projeto de tubulações	3,2:1	10-1
Modelamento estrutural	3,1:1	5-1
Engenharia civil	3,0:1	20-1
Projetos mecânicos (detalhamento)	2,4:1	8-1
Circuitos integrados (circuito impresso)	18,4:1	100-10
Análises de engenharia (dimensionamento)	6,0:1	20-1,5
Estamparia	5,8:1	6-3
Aplicações de controle numérico	5,6:1	10-1,5
Mapeamento	5,1:1	30-0,5
Tabelas/fluxogramas/organogramas	4,7:1	10-2
Detalhamento de estruturas	4,7:1	25-1
Circuito impresso	3,3:1	6-2

* Os fatores de produtividade apresentados foram compilados de um levantamento de 350 organizações de manufatura e engenharia das quais 95 organizações responderam. Esses fatores foram compilados das informações recebidas.

Deve-se ter em mente que não existem normas de como a produtividade deve ser compilada. Essas 95 organizações fazem uso de cerca de uma dúzia de diferentes métodos os quais não podem ser matematicamente somados e se obter uma média calculada. Entretanto somou-se

e calculou-se a média desses fatores porque eles podem servir para identificar uma variação global que pode ser esperada pela indústria.

É bom lembrar que o aumento de produtividade na indústria não significa simplesmente mais trabalho feito em menos tempo. O objetivo de CAD/CAM é produzir um produto de melhor qualidade (ou projetar um produto que não poderia ser projetado adequadamente pelo método manual) por um custo menor.

8.4 - Observações

Não foi nosso objetivo esgotar este assunto. Tivemos a intenção de apresentar algumas idéias para justificativa de sistemas CAD/CAM e quantificação de benefícios. Foi introduzido no trabalho para completar a abordagem sobre gerenciamento e também despertar o engenheiro para essa área de estudo fascinante. Na justificativa de sistemas de automatização e alta tecnologia existe uma longa estrada a ser percorrida. A nossa experiência nos leva a concluir que as ferramentas tradicionais da Engenharia Econômica e os métodos tradicionais de aferição de produtividade, embora forneçam um indicador seguro de que o investimento é rentável, não apresentam completamente os custos e benefícios resultantes do uso da tecnologia CAD/CAM.

9 - CONTRATOS DE COMPRA E MANUTENÇÃO

É inevitável que o engenheiro responsável pelo CAD/CAM venha a se envolver com estes itens. Por isso achamos por bem introduzir alguns comentários sobre este assunto neste trabalho. Até ao momento este tema não tem merecido destaque, não tendo o autor conhecimento de nenhuma publicação sobre isso e nem tão pouco palestras ou seminários, embora este item represente sérias dificuldades para o usuário e às vezes dispêndios desnecessários.

A negociação de compra do sistema e serviços de manutenção deve ser deixado a cargo dos especialistas da empresa nessas áreas. Este é o momento em que o comitê de CAD/CAM sai da linha de frente e passa a assessorar o departamento de compras. Não existem nas empresas departamentos especializados em compra de sistemas CAD/CAM, naturalmente. Por se tratar de uma tecnologia com efeitos abrangentes e de abordagem operacional e de utilização relativamente nova, alguns fatores específicos devem ser considerados na redação dos contratos.

Basicamente, existem dois tipos de contratos entre cliente e fornecedor, em se tratando de CAD/CAM: Contrato de Compra e Venda e Contrato de Serviços de Manutenção.

9.1 - Contrato de Compra e Venda

Tem por objetivo garantir que o cliente receba exatamente aquilo que está comprando. Pode parecer uma obviedade, mas não é. Pode acontecer, dada a rápida evolução da tecnologia, que se compre uma configuração e três meses depois o fornecedor alegue que o equipamento foi descontinuado, ou que o software foi modificado e as novas versões exigem pagamentos adicionais.

Por outro lado, durante as negociações e no processo de seleção, o fornecedor pode fazer algumas concessões, que após a aquisição pode exigir muito empenho do usuário para vê-las cumpridas. É normal

o fornecedor torna-se mais duro nas negociações após a venda do equipamento. Isso ocorre porque a partir da aquisição o usuário se torna dependente do fornecedor. Já registramos casos no Brasil em que o fornecedor se recusou a atender um cliente caso este não assinasse um contrato global de manutenção. Não que não haja seriedade por parte dos fornecedores, mas isso reflete tão-somente a nossa falta de tradição na aquisição e fornecimento de equipamentos de alta tecnologia, além do benefício da reserva de mercado que restringe a opção das empresas usuárias e não incentiva a melhoria de qualidade dos fornecedores estimulada pela competição externa.

O contrato de compra e venda é o instrumento que ambos, fornecedor e usuário possuem para nortear um relacionamento proveitoso a partir da aquisição do equipamento, isento de desgastantes dissabores. É onde ficam estabelecidas as bases de um relacionamento comercial com deveres e direitos de ambas as partes. Normalmente deve cobrir o seguinte:

- 1- Preço. Especificar detalhadamente o que está sendo comprado. Devem constar todos os itens de entrega imediata e de entregas futuras. Neste último deve ficar estabelecido claramente o prazo de entrega do item pendente (hardware ou software) e penalidades de forma crescente em função do tempo de atraso. Prestar atenção aos itens: manuais de operação, notificações de modificação de produto, novas versões de software, etc, e suprimento inicial de penas, tinta etc, para plotadores e copiadoras.
- 2- Transporte. Normalmente os itens de embalagem e retorno das peças danificadas é por conta do fornecedor. Cabe ao comprador a responsabilidade do transporte até à sua empresa.
- 3- Seguro de transporte. Normalmente é pago pelo comprador.
- 4- Pagamento. Devem ficar claramente estabelecidas todas as condições de prazos, moedas, entidade financeira para depósito. O pagamento às vezes é parcelado contra a entrega do equipamento modularmente. Devem ficar previamente estabelecidas as

multas contratuais.

- 5- O que acontece se o equipamento chega e o fornecedor não tem quem o instale? Do mesmo modo, o que acontece se o equipamento chega e as instalações não estão concluídas (tomadas, aterramento, etc.)? Normalmente o comprador é penalizado, quando for responsável pelo atraso na instalação de duas formas. Uma, é que o equipamento pode se deteriorar se não for armazenado adequadamente. Outra, é que o prazo de garantia de noventa dias começa a correr e quando iniciar a operação se o equipamento tiver algum defeito original que seria da responsabilidade do fornecedor torna-se encargo do usuário.
- 6- Garantia. Deve ficar claramente estabelecido o período e os itens cobertos pela garantia. O contato com outros usuários é de grande ajuda na especificação dos itens que devem ser cobertos.
- 7- Equipamentos periféricos. Estabelecer de quem é a responsabilidade por ligar equipamentos adicionais ao sistema. Por exemplo, a empresa deseja ligar um micro ao sistema. Haverá algum adicional no custo de manutenção? Quem fornecerá a placa para interface?
- 8- Interface com outros fornecedores. Suponhamos uma configuração que envolva equipamentos adquiridos de diferentes fornecedores. Por exemplo, plotador eletrostático e fotoplotador provêm de outro fornecedor e serão interligados ao sistema CAD/CAM. Como ficam estabelecidas as responsabilidades de cada um?
- 9- Seguro de instalação. De quem é a responsabilidade por sinistros durante a instalação?
- 10- Previsão de obsolescência. Garantir a compatibilidade do hardware com as novas versões de software.
- 11- Treinamento. Deve ser garantido em contrato o treinamento básico inicial dos usuários.

A relação acima apresenta apenas alguns itens que devem ser considerados na elaboração do contrato. Naturalmente os procedimentos internos da empresa e seu departamento legal vão encontrar muitas outras considerações, porém elas estão presentes em qualquer contrato. Os itens acima são os mais relevantes em CAD/CAM.

9.2 - Contrato de Manutenção e Serviços

Este contrato é de negociação difícil. Para o fornecedor ele representa uma garantia de faturamento mensal para que possa movimentar sua empresa. Para o usuário representa o desembolso mensal de uma quantia significativa. Normalmente esses contratos prevêem um valor mensal de 0,5% a 1% do preço FOB do equipamento, que representa de 35% a 80% do valor do equipamento ao cabo de cinco anos. A partir do sexto ano os valores contratuais são alterados, elevando-se para 2% a 5% do preço do equipamento, porque a maioria dos fabricantes estimam em cinco anos a vida útil normal do equipamento, embora tenhamos equipamentos funcionando há mais de sete anos sem problema algum.

O contrato de manutenção deve cobrir no mínimo os seguintes itens:

- 1- Manutenção preventiva. Normalmente trata-se de duas visitas anuais para execução de testes de rotina nos equipamentos de hardware. Serviços periódicos de troca de filtros dos acionadores de discos, ajuste de fonte, etc., previamente combinados entre usuário e fornecedor. O sistema fica um dia útil à disposição dos engenheiros de campo.
- 2- Atendimento a chamados. Estabelecer critérios para atendimento a chamado em termos de prazo de atendimento em função do horário em que foi registrado o chamado.
- 4- Estabelecer prioridades para atendimento. Por exemplo, uma parada de CPU é prioritário, exige atendimento imediato. Se em quatro estações uma está parada, esta pode esperar o aten

dimento normal.

- 4- Estabelecer prazo para atendimento aos chamados e solução dos problemas. Solução no máximo em 24 horas.
- 5- Estabelecer penalidades para o fornecedor em função do desempenho do sistema. Se o equipamento funcionar 70% do tempo previsto naquele mês, em função da solução de problemas, no mês seguinte o usuário tem um crédito no pagamento mensal da manutenção.
- 6- Assegurar o acompanhamento do engenheiro de suporte de software na instalação de novas versões de software.
- 7- Prever consultas telefônicas gratuitamente.
- 8- Prever o fornecimento das novas versões de software acompanhado da respectiva literatura em bases regulares. É recomendável incluir um valor mensal adicional no custo de manutenção para receber as novas versões gratuitamente. A justificativa para a aquisição de nova versão de software é um processo interno demorado na empresa usuária.

Os itens acima representam aspectos de utilização do equipamento. Todo o contrato deverá ser elaborado respeitando-se os procedimentos internos da empresa e com a aprovação do departamento legal, que normalmente inclui as considerações gerais para esse tipo de contrato.

10 - GERENCIAMENTO DO SISTEMA CAD/CAM

10.1- Considerações Gerais

O tipo de estrutura organizacional do CAD/CAM pode ser de estações concentradas ou distribuídas. No caso de estações distribuídas cada projetista/engenheiro disporá de uma estação no seu local de trabalho. É uma estrutura mais difícil de administrar, porém com melhor resultado em departamentos de engenharia devido ao alto nível técnico do pessoal.

Nas estações de CAD/CAM este cargo tem a designação de "Gerente de sistema" ou "Supervisor de sistema" ou ainda "Coordenador de CAD/CAM" e suas atividades não vão além do gerenciamento do sistema conforme normalmente estabelecido. Neste caso sua ocupação básica é com a alocação da memória, organização e hierarquização de arquivos, organização do sistema de "back-up", e dar suporte técnico aos usuários.

Essa atividade é responsável pela integração entre departamentos para utilização de um único banco de dados, ou seja, estabelece padronização para identificação de arquivos e programa o acesso ao equipamento. Dessa atividade depende a satisfação do usuário, o perfeito funcionamento do sistema, a longa vida do equipamento e integridade do banco de dados.

No caso da operação com estações distribuídas, existem características especiais de operação, utilização e administração que geram complexidades adicionais ao gerenciamento, entre outras podemos destacar:

- . Os terminais estarão distribuídos pelas áreas de utilização, às vezes distantes geograficamente.
- . Se a administração central do sistema ficar sob responsabilidade de um departamento que também for usuário, eventualmente, poderão surgir conflitos com outros usuários em termos de alocação de memória, áreas de acesso, prioritização de tarefas, etc.

- . Várias atividades em operação ao mesmo tempo (análise estrutural, desenho, projetos, etc.) geram necessidade de suportes simultâneos e diferentes a usuários distantes geograficamente.

Entre as responsabilidades e deveres do gerenciamento do sistema podemos citar:

- . Definir as normas e procedimentos para assegurar a validade e consistência e precisão dos dados. Determinar quais os usuários serão responsáveis pela precisão de quais dados.
- . Evitar a proliferação de arquivos incompatíveis.
- . Padronização do banco de dados.
- . Estabelecer rotinas de "back-ups".
- . Gerenciar conflitos que possam surgir na atualização de dados.
- . Prioritização de tarefas na utilização do CPU.
- . Testes de aceitação de software.
- . Programar manutenção preventiva/corretiva.
- . Tomar decisões no interesse da companhia e não as ditadas pela utilização do computador em si.
- . Coordenar para que o redesenho em CAD dos desenhos convencionais já existentes e que vão fazer parte de um novo projeto não comprometa os prazos assumidos pela engenharia e/ou Manufatura.
- . Contabilidade do uso do sistema, métodos para estabelecer a produtividade.

Por ser o gerenciamento do sistema uma atividade chave não deve ela sofrer restrições/limitações para treinamento e no mínimo duas pessoas devem ser treinadas. Exige um longo período de preparação, uma vez que essas pessoas se tornam naturalmente consultores internos da empresa, tanto para os operadores como para a gerência departamental em assuntos relacionados a CAD/CAM.

A fim de garantir o uso efetivo de CAD/CAM e assegurar o cumpri-

mento de objetivos, a alta direção da empresa deverá emitir a recomendação expressa a ser seguida pelas gerências de que todo novo projeto deve ser desenvolvido em CAD, a despeito do tempo necessário para modelamento das peças já em produção. Recomendação essa por escrito a todas as áreas afetadas.

Somente com essa decisão é que após no mínimo três anos será possível todo o trabalho ser realizado em CAD/CAM.

O gerente de CAD também é responsável pela disseminação da cultura CAD/CAM na empresa, devendo portanto estimular o uso do banco de dados por áreas tão diversas como manufatura (CAM, programação CN); Peças e Serviços (preparação de manuais) e tudo o mais que a imaginação permitir onde o uso de representações visuais do produto puder contribuir para a qualidade, economia e produtividade.

A estrutura administrativa de CAD/CAM deve contar no mínimo com um responsável por toda a administração, dois analistas/engenheiros e um operador de computador que executará os back-ups diários e processamentos especiais. Naturalmente que dependendo das dimensões da base instalada, essas pessoas serão substituídas por departamentos envolvendo um número maior de especialistas.

As razões mais frequentes de fracasso de qualquer sistema CAD/CAM em preencher os objetivos da administração são:

- . Falta de planejamento adequado, após a conclusão de que a empresa necessita de sistema CAD/CAM.
- . Dimensionamento inadequado do sistema definido pelo comitê de CAD/CAM que optou ou por um sistema aquém das necessidades (não atinge os objetivos) ou além das necessidades da empresa (sistema ocioso ou difícil de usar).
- . Expectativas irrealistas em relação ao sistema em função dos seminários apresentados pelo fornecedor.
- . Não reconhecimento do treinamento como fundamental, limitando os recursos para seu desenvolvimento.
- . Não criação de uma estrutura administrativa exclusiva para CAD/CAM acreditando no suporte do fornecedor para software e apli-

cativos.

A atividade de gerenciamento começa antes da instalação do sistema, de modo que as questões seguintes já estejam devidamente analisadas e um programa de ação por etapas já desenvolvido para encaminhamento das soluções encontradas.

- Quais as expectativas realísticas que se podem ter quanto ao sistema CAD escolhido, sobretudo em relação ao tempo necessário para treinar o pessoal? E dependendo da resposta, até que ponto se pode esperar medir um aumento na produtividade e na lucratividade?
- Qual será o impacto do CAD na organização da empresa do ponto de vista das pessoas e dos métodos de trabalho?
- De que forma se poderá fazer a transição do sistema manual para CAD da maneira mais tranquila possível?
- Quem deve ser treinado, ou seja, como fazer a seleção do pessoal e definir os perfis dos funcionários-chaves?
- Quando e onde esses funcionários devem ser treinados?
- Como se deve administrar a pesquisa e a implementação de solicitações adicionais de CAD para outros setores da organização?

Introduzir CAD/CAM não é uma tarefa fácil. Toda a companhia terá seus próprios problemas e seu conjunto de soluções. As palavras-chave do sucesso são PACIÊNCIA/PERSEVERANÇA/TRABALHO. Trata-se sem dúvida de um grande desafio, cujos resultados são gratificantes e compensadores para qualquer empresa. Não há retorno: ou se embarca nessa tecnologia ou se perderá a competitividade.

10.2 - Organização de banco de dados

De acordo com a proposta do trabalho, abordaremos o assunto do ponto de vista do usuário que está inserido no contexto de toda a empresa. A preocupação básica deve ser com a garantia de que todos os dados estejam disponíveis e acessíveis e ao mesmo tempo impossíveis de serem alterados por pessoas não autorizadas. O uso múltiplo do banco de dados evita a duplicação de tarefas, assegura alta produtividade e melhora a comunicação interdepartamental. Ver figura 10.1.

O sistema operacional deve possuir ferramentas que permitam hierarquizar o acesso aos arquivos de forma compatível com as responsabilidades no seguimento de um projeto. Isso quer dizer que um projetista de ferramentas não deve ter possibilidade de alterar o modelo de uma peça projetada na engenharia de produto e vice-versa. O gerente de sistema deve organizar o acesso ao sistema de forma a não interferir com os níveis hierárquicos já existentes na empresa e quando o fizer, deverá ser debatido exaustivamente à priori. É preciso ter em mente que existem resistências naturais à mudança e o poder faz parte da cultura gerencial. Em resumo, deve-se procurar subordinar a estrutura do sistema à da empresa e não o contrário. Isso quer dizer que os níveis de autoridade para aprovação de projeto para liberação e para sua modificação deverão ser mantidos.

Do ponto de vista do usuário o banco de dados deve ser organizado de forma a permitir:

- . Acesso imediato às peças e componentes do projeto em desenvolvimento.
- . Que o projeto de desenvolvimento de um novo produto seja realizado simultaneamente em várias frentes, possibilitando as verificações interdepartamentais e ao mesmo tempo garantindo que cada projetista só possa alterar o seu modelo.
- . Que as peças já aprovadas e liberadas sejam consultadas na tela sempre que necessário.

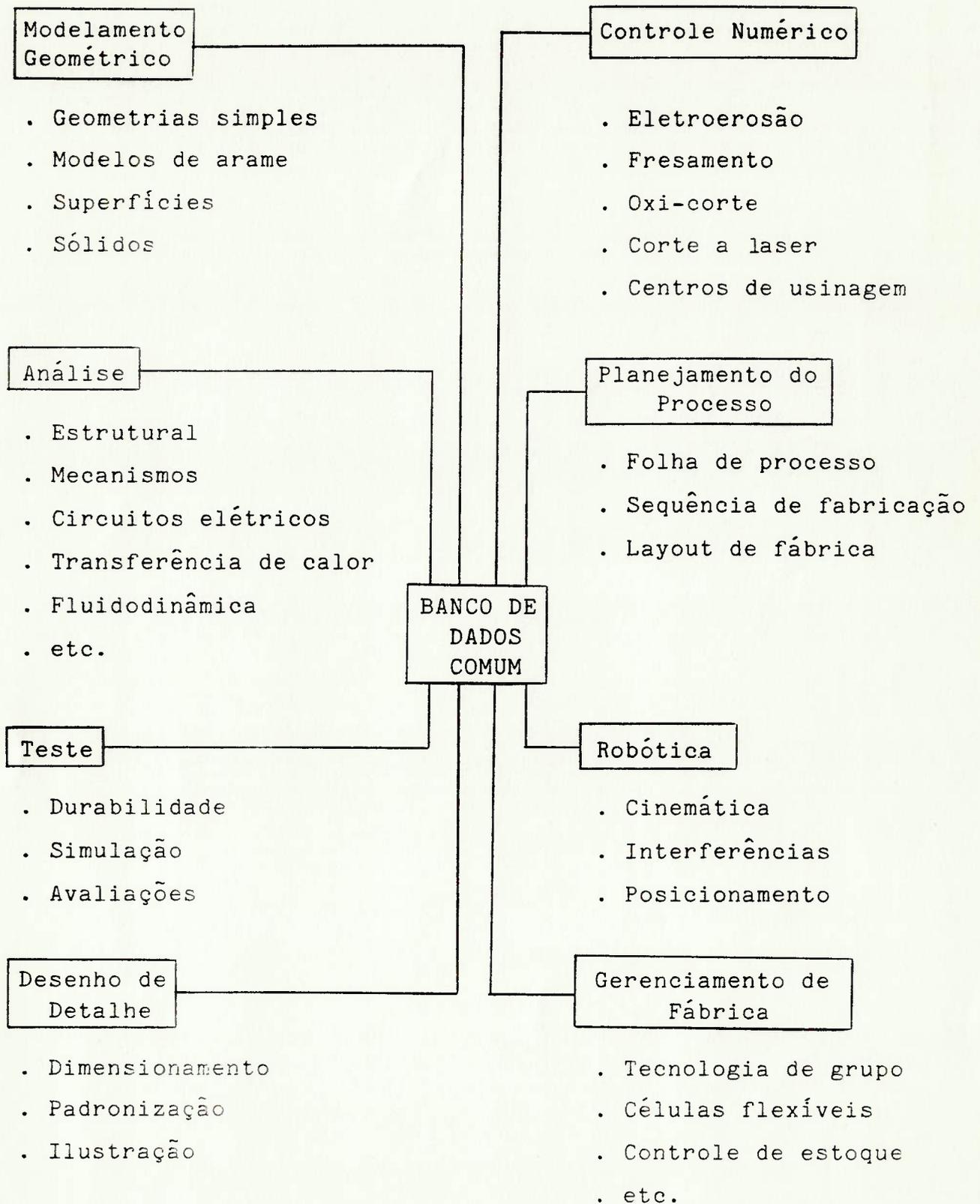


Figura 10.1 Generalização do uso de banco de dados.

A organização dos dados depende da estrutura dos arquivos gerados pelos sistemas. Por exemplo, deve-se verificar se o uso de células não representa para o sistema operacional uma duplicação de entidades. Cada sistema tem suas próprias características de tratar os arquivos, não sendo possível portanto estabelecer critérios do tipo: textos devem ser guardados em área separada do modelo geométrico. Em alguns sistemas, quando um texto é colocado no desenho ele se torna entidade geométrica composto por arcos e retas.

Mas podemos sugerir algumas linhas gerais para organização a saber:

- . Estabelecer estatísticas de usuários de sistema. Deve-se destinar maior espaço em disco para as áreas que apresentam maior utilização.
- . Estabelecer estatísticas de acesso às peças residentes em disco. As peças não utilizadas por um certo período (três meses, por exemplo) devem ser guardadas somente em fitas, liberando espaço em disco.
- . Estabelecer uma convenção para identificação das peças em CAD/CAM. Deve-se evitar a proliferação de nomes. Os usuários iniciantes tendem a atribuir nomes criptográficos. De preferência, deve-se adotar como base a própria nomenclatura de peças já existente na empresa, sempre que possível.
- . Estabelecer normas e critérios para uso de sólidos e superfícies. Lembrar que essas entidades necessitam de muito processamento.
- . Quando o sistema permitir o uso de desenhos em camadas (níveis transparentes) estabelecer critérios para utilização desses níveis, por exemplo:

<u>Nível</u>	<u>Atividade</u>
1-10	Modelo final
20-30	Detalhamento
40-50	Localização das células
50-60	Superfícies
70-80	Sólidos

PARTE III - TENDÊNCIAS EM CAD/CAM-CONCLUSÕES-OBSERVAÇÕES FINAIS

11. - TENDÊNCIAS DE CAD/CAM E TRABALHOS FUTUROS

11.1 - Tendências de CAD/CAM

No decorrer das pesquisas e estudos para realização deste trabalho identificamos algumas tendências bastante nítidas na área de CAD/CAM. Trata-se de avaliação pessoal do autor, fortemente influenciado pela sua experiência como usuário.

11.1.1 - Mercado

- . A flexibilidade da reserva de mercado a partir de 1988 que permitia a importação de estações gráficas e correspondente software vem aumentando rapidamente o número de fornecedores do sistema. Espera-se uma explosão de ofertas de programas de todos os níveis e qualidade. Até o final da década apenas aqueles que tiverem uma estrutura comercial e de suporte ao usuário sobreviverão. A tendência é que os sistemas líderes de vendas no mercado americano também o sejam no Brasil.
- . A redução paulatina de preço do hardware nacional e melhoria de qualidade propiciará uma grande expansão de usuários de sistemas baseados em micros. As configurações vão variar de uma a cinco microestações, a média será de duas microestações.
- . Haverá o crescimento do uso de sistemas para publicações técnicas integradas a CAD/CAM. Porém só haverá uma participação significativa no mercado a partir da próxima década. Os softwares para publicações técnicas integrados a CAD custam relativamente caro e exigem muito processamento e entrada/saída para manipulação de banco de dados. Considerando-se que as plataformas PC continuem sendo padrão para microestações, as limitações de entrada/saída persistirão.
- . As aplicações mecânicas continuarão liderando o uso de sistemas CAD/CAM, correspondendo a 62% do mercado em 1993, (ver fig. 11.1.

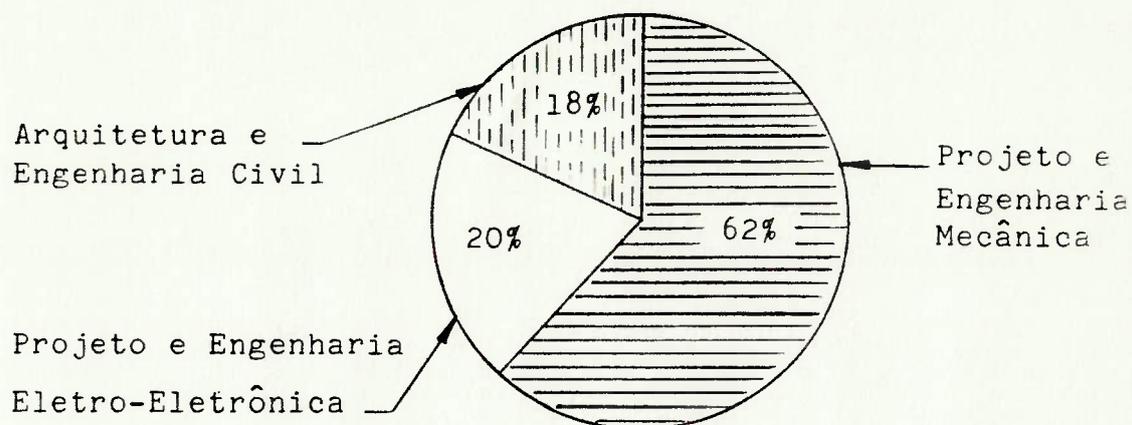


Figura 11.1 Mercado de CAD/CAE/CAM projetado para 1993 (60).

- . Os sistemas de grande porte serão constituídos por configurações distribuídas, ligadas com rede a servidores de grande capacidade de armazenagem de dados e as estações praticamente autônomas terão grande capacidade local.

11.1.2 - Hardware

- . Aumento de capacidade de processamento propiciado pelo uso de tecnologias RISC, SPARC e processamento paralelo.
- . Uso de discos óticos para armazenamento de informação.
- . Permanência dos micros padrão PC AT (286 ou 386) como equipamento mais utilizado para plataforma de hardware CAD/CAM para microestações.
- . Preferência pelos monitores de video com 19", coloridos e alta resolução em aplicações mecânicas.
- . Sistemas abertos para uso geral capaz de receber qualquer software CAD/CAM.
- . Embora venham ocorrendo progressos no desenvolvimento de terminais com outras tecnologias, os terminais CRT permanecerão à frente por muito tempo, principalmente devido ao alto nível

- alcançado, produção em larga escala e baixo custo.
- . Proliferação de impressoras e plotadores eletrostáticos coloridos com alta definição de traçado é perfeitamente viável considerando-se a redução geral nos custos de hardware que se têm verificado.
 - . Aparecimento de sistemas CAD/CAM com recursos auxiliares acionados por voz.
 - . Embora haja grande expectativa a respeito, não identificamos tendência que indicasse holografia em substituição aos terminais de vídeo, para os próximos anos.

11.1.3 - Software

- . Sofisticação dos programas aplicativos para análise de engenharia em: transferência de calor, fluxos aerodinâmicos, fluidodinâmica, simulação de deformações em testes de impacto.
- . Inteligência artificial aplicada aos projetos mecânicos.
- . Sistemas especialistas para aplicações específicas em engenharia mecânica estarão disponíveis na segunda metade da década. Uma das grandes limitações para o desenvolvimento desses sistemas é a organização e montagem do banco de dados.
- . Modeladores sólidos mais sofisticados e flexíveis. Tornar-se-ão transparentes para o usuário os conceitos B-rep e CSG durante o modelamento.
- . Sistema operacional multiusuário e multitarefa será dominante. UNIX tende a tornar-se padrão.

11.1.4 - Tecnologia

- . Aumento do uso de controle numérico computadorizado.
- . Geradores de modelos físicos 3D a partir de uma imagem na tela. Esses sistemas já estão disponíveis e consistem de um tanque com uma substância fotosensível e um canhão laser. À

medida que o programa vai varrendo a tela o canhão laser vai solidificando a substância gerando a cópia física do modelo computacional.

11.2 - Trabalhos futuros

A intenção de apresentar sugestões para estudos e trabalhos futuros tem o intuito de modestamente contribuir para o melhor entendimento do uso da tecnologia CAD/CAM na Engenharia Mecânica. Sabe-se que cada fornecedor desenvolveu seu software da forma que entendia melhor satisfazer os usuários. Embora a base matemática seja universal, os algoritmos são diferentes e a terminologia utilizada é marca registrada de cada empresa, proliferando-se nomes diferentes para designar a mesma coisa. Por outro lado, os pacotes aplicativos se tornam cada vez mais sofisticados, chegando usar terminologias que são do conhecimento somente daqueles envolvidos em pesquisas de ponta naquela área, trata-se de um forte apelo mercadológico. Em meio a isso tudo o usuário vê-se na situação de não só entender mas também avaliar esses softwares e mais ainda indicar qual o melhor para sua empresa.

Nesse contexto, identificamos as seguintes áreas para estudos futuros:

- . Desenvolvimento de testes e rotinas para avaliação dos modeladores de sólidos e de superfícies (benchmark).
- . Determinação de critérios para aceitação de superfícies em CAD como boas para fabricação e projeto. Existe uma diferença entre superfícies matematicamente perfeitas e estilisticamente agradáveis. Embora uma superfície ondulada seja perfeita do ponto de vista matemático ela não serve para capuz do motor de um automóvel.
- . Estudo comparativo entre os diversos softwares para sólidos e superfícies existentes no mercado. Determinar os pontos comuns. Estabelecer a equivalência de terminologia. Estabelecer uma relação biunívoca entre as terminologias e a matemática.
- . Desenvolvimento de testes e rotinas para avaliação dos programas de análise de engenharia (fluidodinâmica, termodinâmica, mecanismos, etc) (benchmark). Estabelecer as limitações, iden

tificar regiões de instabilidades nos resultados, estabelecer os critérios adequados para modelamento, estabelecer faixas adequadas de utilização.

- . Considerando-se que a tendência dominante é de sistemas abertos com independência entre hardware e software, é necessário estabelecer critérios para avaliação de desempenho de hardware para aplicação CAD/CAM em Engenharia Mecânica.
- . Estudos de confiabilidade de software, testes de qualidade.
- . Desenvolvimento de programas para seleção automática de sistemas CAD/CAM, do tipo em que as entradas sejam as necessidades da empresa, tipo de produto, etc. e a saída uma lista classificada de sistemas, ou da especificação de um sistema.

12 - CONCLUSÕES E OBSERVAÇÕES FINAIS

12.1 - Conclusões

O uso de sistemas CAD/CAE/CAM na Engenharia Mecânica impacta diretamente o processo de projeto tradicional. Este consistia de atividades independentes e sequenciais, onde uma fase só tinha início ao término da anterior. A facilidade resultante do uso de banco de dados integrado leva a dois conceitos novos de processo de projeto: Engenharia Simultânea e Célula de Projeto.

Engenharia Simultânea é um conceito recentemente introduzido na Europa e nos Estados Unidos, que vai ganhando corpo na indústria automobilística. Engenharia Simultânea, como o próprio nome diz é a atividade dinâmica de simultaneamente projetar e desenvolver um novo produto e seu processo de manufatura utilizando-se um grupo de pessoas multidisciplinar, que através do efeito sinérgico, otimiza a qualidade do produto, confiabilidade e durabilidade com custo mínimo ganha-se tempo e produtividade. Essa atividade é um dos grandes benefícios trazidos pelo uso de CAD/CAM.

Célula de Projeto trata-se de um grupo de engenheiros/projetistas designado para desenvolver um produto a partir das especificações iniciais e acompanhar o produto até à linha final de produção. Tem por objetivo agilizar as possíveis modificações no decorrer do processo. Aumenta o comprometimento e participação do grupo. Algumas empresas no Brasil estão se preparando para utilizar esse conceito em caráter experimental.

Acreditamos que a junção do conceito de Engenharia Simultânea com a filosofia da Célula de Projeto apresentará uma revolução no modo de ver o projeto de produto e manufatura.

O uso intensivo de CAD/CAM levará fatalmente ao desaparecimento da linha divisória entre projeto e manufatura.

Reveste-se portanto de especial importância a seleção de sistemas CAD/CAM. O processo de seleção proposto neste trabalho apresenta os cinco

passos sugeridos na referência (53) e acrescenta um sexto passo, o crivo dos usuários, que na opinião do autor vem equilibrar os desempenhos dos fornecedores nas tarefas apresentadas, pela visão pragmática resultante da utilização real. Apresenta as seguintes vantagens:

- a) Flexibilidade - avaliar qualquer sistema.
- b) Elasticidade - acomoda qualquer extensão ou redução no número de itens avaliados.
- c) Imparcialidade - reduz ao mínimo a influência da avaliação individual.
- d) Sistematização - permite uma programação por computador.

12.2 - Observações finais

O que nos motivou a escrever este trabalho é a nossa crença de que não basta dispor da tecnologia, é preciso saber como torná-la produtiva. Muitos dos problemas enfrentados pelos usuários poderiam ser evitados se adotássemos uma abordagem sistemática para seleção, implantação e gerenciamento.

O objetivo deste trabalho foi apresentar em único texto as bases que permitem o uso adequado da tecnologia CAD/CAM. Portanto o texto contém os resultados de ampla pesquisa bibliográfica filtrado pela experiência prática do autor. Foi apresentado um panorama de CAD/CAM desde sua evolução histórica até aplicações na indústria, com o enfoque voltado para projetos mecânicos, com isso procurou-se estabelecer uma adequação entre tipos de modelamentos e aplicações mecânicas.

Como resultado principal foi desenvolvido um processo sistemático para seleção racional de sistemas CAD tomando-se por base o ponto de vista do usuário e considerando-se o conjunto hardware e software como integrados em um único sistema.

A análise detalhada de hardware e de software em termos de desempenho, confiabilidade e erros numéricos não foi realizada pois ficavam além do escopo deste trabalho, embora seja reconhecida sua importância ficando esse tipo de análise como sugestão para trabalhos futuros.

Muitas tentativas de se implantar CAD/CAM não têm conduzido aos resultados esperados. Estima-se que aproximadamente 45% a 50% dos sistemas CAD/CAM instalados não alcançam as metas de produtividade e de retorno de investimento para os quais foram adquiridos (23). Algumas empresas compraram sistemas CAD/CAM e então descobriram que não sabiam como usá-lo adequadamente, ou então que ele não se adequava ao tipo de utilização em particular (60). Outras ainda compraram o sistema e descobriram que era necessário comprar um sistema substituto ou um sistema complementar.

Existem diversas razões para o insucesso em CAD/CAM. Entretanto a maioria é provocada por expectativas irrealísticas em relação ao sistema por parte do usuário que subestima as dificuldades e por parte dos fornecedores que superestimam as capacidades dos sistemas. Ambos confundem demonstrações pré-programadas ou problemas pré-estabelecidos apresentados em feiras e demonstrações, com o dia-a-dia de uma empresa que tem por objetivo criar produtos ou prestar serviços em prazos determinados e lucratividade pré-estabelecida. Em resumo, as falhas são provocadas por falta de um plano de implantação adequado e uma seleção apropriada do sistema e falta de um programa de treinamento realista.

A inclusão de uma avaliação das tendências em CAD/CAM teve o objetivo de dar subsídio para planejamentos de longo prazo na utilização da tecnologia nas empresas.

Como decorrência natural do uso de CAD/CAM na engenharia, foram apresentados os conceitos de Engenharia Simultânea e Células de Projeto.

Como novas abordagens para o processo de desenvolvimento de produto é proposto que o casamento das duas apresentará excelentes resultados. Conceitos esses ainda incipientes e que demandam maiores estudos, mas é algo que se delineia no horizonte.

Espera-se ter desenvolvido um texto que, sem pretensão de ser completo, possa servir como um indicador para se lidar adequadamente com a tecnologia. Também se espera que a partir do estudo realizado, continuar com as pesquisas sobre o tema e correlatos tendo como pano de fundo a utilização prática, pois os usuários como Sociedade, são os destinatários finais das pesquisas e desenvolvimentos realizados na Universidade.

Finalmente, espera-se dessa forma contribuir, ainda que modestamente, para o progresso tecnológico nessa área no País.

PARTE IV - APÊNDICES

" As conclusões de uma experiência prática servem no mínimo, para que aqueles que iniciarem o mesmo caminho, se cometerem erros, cometerem erros novos".

A - IMPLANTAÇÃO PRÁTICA

A1 - Divulgação e Comprometimento

A tecnologia CAD/CAM traz embutida a informática na realização do trabalho. Normalmente surgem preocupações tais como: "Isso não dá para fazer no computador", "vai reduzir pessoal", "o computador faz tudo", etc.

Para vencer a natural resistência à mudança é preciso um amplo trabalho de divulgação, com a abordagem realista das potencialidades da tecnologia e suas consequências. Deve haver um comprometimento das diretorias e gerências, engenheiros e projetistas para o sucesso da implantação. O envolvimento da empresa deve ser feito através de um ciclo de palestras de dois níveis.

Nível I - Destinado aos diretores e/ou gerentes. Serão estabelecidos os conceitos de CAD/CAE/CAM/CIM e como essas áreas estão interligadas, apresentados critérios para seleção de pessoal para CAD/CAM, dificuldades para sua implementação, vantagens do CAD/CAM, o impacto na organização. A palestra será subdividida em três fases:

Fase I - CAD/CAM, histórico, situação atual e tendências futuras.

Fase II - CAD/CAM na empresa, histórico, situação atual, tendências futuras.

Fase III - CAD/CAE/CAM/CAM - uma nova forma de fazer engenharia. Estado da arte do sistema de computação, inteligência artificial, etc.

Nível II - Destinado aos engenheiros, projetistas e supervisores da engenharia e da manufatura. O mesmo conteúdo do nível I, com enfoque muito mais técnico.

Ao final dessas palestras todos os participantes devem ter adquirido os seguintes conceitos:

- . CAD/CAM e automação em geral são tão somente ferramentas de trabalho.
- . A companhia está firmemente empenhada no sucesso dessa tecnologia.

gia.

- . O objetivo é melhorar a qualidade do produto, condições de trabalho, reduzir custos.
- . Será exigido de todos um esforço muito grande inicialmente resultante da sobrecarga de treinamento nas atividades normais.
- . Todos os prazos assumidos serão mantidos.
- . É irreversível.
- . A médio e longo prazo, todos terão oportunidade de treinamento.

Essas palestras devem ser ministradas após o projeto de implantação aprovado e com o equipamento em fase de aquisição. Normalmente, dois a três meses antes da instalação do equipamento.

A2 - Pré-instalação

Antes da chegada do equipamento CAD/CAM, todas as ações necessárias para sua instalação correta devem ser executadas. Normalmente, as obras para preparação das instalações começam três meses antes da chegada do sistema. Os fornecedores de sistemas CAD/CAM possuem um manual com todas as especificações para instalação dos seus equipamentos. Toda a instalação deverá ser feita em conformidade com essas especificações, pois é a garantia que o usuário tem em relação ao funcionamento do sistema, mesmo porque os contratos de manutenção entre usuário e fornecedor possuem cláusulas específicas sobre esse item.

Entre as ações mais comuns podemos citar:

- . Fazer um layout localizando todos os equipamentos adquiridos.
- . Providenciar linha de alimentação estabilizada e aterramento. De preferência, a linha de alimentação do sistema CAD/CAM deve ser exclusiva.
- . Observar se a iluminação das estações é adequada. Evitar reflexos para não cansar o operador.
- . Providenciar mesas de trabalho com iluminação adequada próximas às estações.
- . Providenciar estantes para guardar os manuais (chegam às centenas).
- . Providenciar ar condicionado para ambientes de CPU e servidor. Não esquecer um aparelho adicional de reserva.
- . Providenciar uma sala isolada para os plotadores. Geram muito barulho.
- . Providenciar cofres de segurança para guardar fitas e disquetes. As informações ali contidas representam o patrimônio da empresa.
- . Não esquecer dos espaços necessários para acesso do pessoal de manutenção. Seguir as recomendações do fornecedor.
- . Adquirir material para plotador. Gasta-se muito papel e tinta

- no início para demonstrações e treinamento.
- . Identificar todas as chaves das salas de CPU, plotador, cofre de segurança. Guardar as cópias em lugar seguro.
 - . Selecionar as pessoas e iniciar o treinamento do primeiro grupo. Quando o equipamento chegar poderão iniciar a operação imediatamente.
 - . Coordenar para que o treinamento nas instalações do fornecedor termine com o início da operação do equipamento.
 - . Se for previsto um treinamento interno a ser conduzido pelo primeiro grupo treinado, não esquecer de preparar as apostilas e adaptar os manuais no período que antecede a instalação.
 - . Iniciar a operação imediatamente após a instalação.

A3 - Instalação

É aconselhável acompanhar toda a instalação do equipamento, a partir da abertura das caixas. É uma medida que preserva os interesses do usuário e do fornecedor, caso chegue alguma peça danificada.

Na instalação os seguintes cuidados devem ser tomados:

- . Verificar item por item contra o pedido de compra e notas fiscais, inclusive as especificações.
- . Verificar se todos os softwares adquiridos foram enviados.
- . Verificar a relação de manuais. Fazer uma lista classificada, identificando manuais de hardware, software e treinamento.
- . Procurar acompanhar a montagem do hardware. Acompanhar a colocação de todas as placas. Perguntar o que for necessário, não se preocupar em ser inconveniente. Tentar fazer uma idéia da arquitetura do sistema, identificando funções relacionadas aos componentes. Essa atitude, aparentemente desimportante, será muito útil no futuro quando necessitar de fazer chamadas técnicas. Normalmente é solicitado ao gerente de sistema que descreva o problema. Quanto melhor for a informação, maiores as chances do técnico vir com a solução correta.
- . Durante a montagem, procurar manter os curiosos afastados. Em nada contribuem e inadvertidamente podem danificar alguma coisa. Pisar em um papelão, por exemplo, que encubra alguma placa.
- . Executar todos os testes de aceitação do sistema hardware e software. Não assinar o termo de aceitação até que tudo funcione a contento.

B - PROJETO PILOTO

B1 - Início de operações

Durante o período de treinamento muitos trabalhos práticos vão sendo realizados. As peças desenhadas em CAD nesse período dão início à formação do banco de dados e revelam as primeiras dificuldades práticas em nomenclatura de arquivos, turnos de operações, comandos que não resultam exatamente como nos manuais, etc. Existe também uma pressão da diretoria/gerência por trabalhos de grande significado. Têm início as pressões sobre o gerente de CAD/CAM.

A forma de atender a todas as necessidades da empresa na fase inicial de operação (treinamento, produção, gerenciamento) é estabelecer um projeto piloto. O projeto piloto tem alguns objetivos, básicos a saber:

- . Prover problemas reais que auxiliem e estimulem o aprendizado dos operadores.
- . Apresentar resultados práticos da utilização do sistema CAD/CAM.
- . Dar suporte à gerência e diretoria para políticas de automação.
- . Representar uma operação que envolva diferentes níveis de estruturas gráficas (geometria, textos, etc.) e diferentes pacotes aplicativos (superfícies, elementos finitos, etc.)
- . Permitir o envolvimento de várias pessoas (projetistas, engenheiros, etc.) simultaneamente na execução do projeto, utilizando ou não sistema CAD.

O projeto piloto é o ensaio da utilização CAD/CAM em problemas reais. O desenvolvimento em CAD/CAM deve ser acompanhado do desenvolvimento através do processo convencional e deve-se buscar uma cooperação entre os dois processos. Por exemplo, no processo convencional necessita-se da curva resultante da intersecção de duas superfícies com formatos relativamente complexos, deve-se obter essa

curva em CAD e depois desenhá-la na prancheta.

Esse procedimento pode parecer duplicação de esforços, mas tem três objetivos fundamentais.

- 1) Permitir que o usuário tire suas próprias conclusões do uso de CAD. Lembrar que ele estará convivendo com dois processos: convencional e CAD/CAM.
- 2) Garantir que a empresa não perca os prazos assumidos na execução dos projetos. A produção continua funcionando.
- 3) Identificar os procedimentos manuais que devem ser mantidos com o uso de CAD/CAM.

O projeto a ser escolhido para projeto piloto deve ter as seguintes características:

- . Produto de vida longa. Maximiza o uso do banco de dados e apressa sua formação, porque as peças produzidas na fase de treinamento e projeto piloto serão utilizadas por muito tempo.
- . Os componentes devem integrar um conjunto completo. Por exemplo, na indústria automobilística poderia ser o chassi do caminhão (travessas, longarinas, freios, suportes, etc.); na indústria aeronáutica, o trem de pouso; na indústria de bombas hidráulicas centrífugas o desenho do rotor e carcaça; etc.
- . O conjunto deve permitir exercitar o uso de células, associatividade geométrica, uso de modelamento fio-de-aramé, superfícies e sólidos.
- . O resultado final deverá ser o detalhamento de todos os componentes de acordo com as normas de desenho adotadas na empresa, desenho do conjunto, ilustrações técnicas para os manuais de montagem e planejamento de processo.

B2 - Recomendações

- . O projeto piloto deve ser acompanhado de um registro onde devem constar as dificuldades encontradas e soluções apresentadas. Uma espécie de "diário de bordo".
- . Não deve ser um projeto muito grande que dificulte seu acompanhamento e nem tão pequeno que não permita alcançar os objetivos descritos na seção B1.
- . A palavra chave nessa fase é PERSEVERANÇA.
- . A postura chave nessa fase é OTIMISMO. A princípio os projetistas vão competir com o sistema apontando todos os seus defeitos e ressaltando as dificuldades.
- . Manter o cronograma. Resistir às pressões para tentar vôos mais altos nessa fase.
- . O prazo para conclusão não deve ser menor que três meses e nem maior que seis.
- . A partir da conclusão do projeto piloto iniciar os trabalhos regulares, escolhendo criteriosamente os trabalhos a serem desenvolvidos em CAD, tendo em mente a formação do banco de dados, vida longa do produto proposto para desenvolvimento em CAD.
- . No término da fase inicial (8 a 12 meses) o grupo de trabalho em CAD deve ser capaz de propor o desafio:
qualquer trabalho pode ser melhor realizado em CAD.

C - TREINAMENTO

C1 - Treinamento: preparação adequada do pessoal

Deste item depende toda a produtividade do sistema CAD/CAM e utilização plena de suas potencialidades. Deve ser considerado que o sistema será utilizado especialmente por engenheiros e projetistas. Isso implica em treinamento diferenciado pois as aplicações e utilização também são distintas.

Em todos os trabalhos publicados sobre o assunto (61) recomenda-se que haja uma pré-seleção do pessoal a ser treinado. A seleção objetiva somente estabelecer um critério de treinamento onde os primeiros a serem treinados são aqueles que apresentarem maiores aptidões para uso do equipamento. As considerações a seguir tem por base um treinamento interno, nas instalações do usuário.

Vantagens da seleção de um primeiro time

- . O treinamento das pessoas com maiores aptidões em primeiro lugar reduz o tempo necessário para se alcançar a produtividade estimada (3:1). Eles estabelecem os padrões de desempenho pelos quais todos poderão ser avaliados.
- . As pessoas de maior aptidão são bastante criativas e são cotadas para retirar total vantagem das potencialidades do sistema gráfico. São mais inclinadas a explorar oportunidades para maior desenvolvimento do sistema CAD/CAM nas suas respectivas áreas de atuação. Elas podem também demonstrar de forma real e efetiva essas oportunidades às gerências departamentais.
- . Fornecem um grande incentivo aos outros para adquirir a eficácia e conhecimento associados ao sistema CAD/CAM, porque mostram que é possível usar o equipamento com vantagens sobre o desenho convencional.
- . Eles se tornam a maior fonte de consulta para os demais usuários dos próximos grupos de treinamento para uso correto do

sistema.

Considerações sobre o operador CAD/CAM

- a) As habilidades que devem ser adquiridas ou aperfeiçoadas:
- . Leitura e interpretação correta na língua inglesa (maioria dos softwares são de origem americana).
 - . Conhecimento de normas internas de desenho.
 - . Desenho técnico.
 - . Conhecimentos básicos de matemática e geometria analítica, euclídeana, descritiva, trigonometria.
 - . Dimensionamento.
- b) Características obrigatórias:
- Participação
- . Espírito de equipe.
 - . Transmitir e repartir conhecimentos.
- Comprometimento
- . Perseverança.
 - . Assiduidade.
 - . Disposição para assumir responsabilidades.
 - . Autodidaxia.
 - . Auto disciplina.
 - . Entusiasmo
- Criatividade
- . Objetividade.
 - . Organização e planejamento do trabalho.

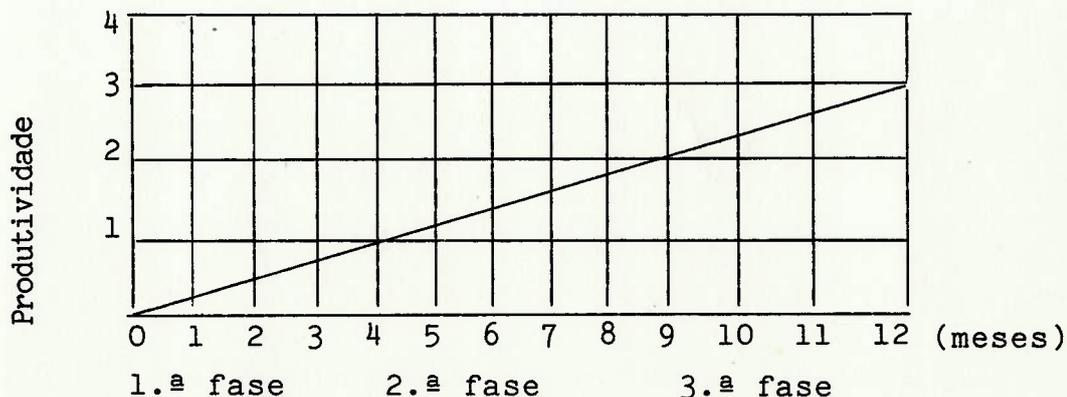
C2 - Treinamento operacional

O tempo necessário para o usuário dominar completamente o sistema CAD/CAM é muito difícil de ser definido pois depende de cada pessoa e da aplicação em particular.

Normalmente o processo de aprendizagem tem três fases:

- 1- Cobre os três primeiros meses de utilização do sistema. Esta fase é dedicada ao aprendizado, tentativas iniciais de estabelecer procedimentos de trabalho, estabelecer padrões para formação de bibliotecas e iniciar sua criação, além de ajustar o sistema às normas e padrões da empresa.
- 2- Nesta fase, de três a seis meses, o usuário aperfeiçoa as técnicas de uso de CAD e domina as sequências de comandos, já totalmente familiarizado com o sistema. Deve trabalhar em ambiente de produção elaborando desenhos e projetos com maior rapidez que no processo manual. Começa-se a procura de métodos para facilitar o trabalho, aumentar a produção através de criação de novos menus, subrotina para aplicações específicas automatizando-se sequências de comandos.
- 3- Nesta fase de seis a doze meses o gerente ou supervisor de sistema CAD/CAM começam a considerar outras aplicações para o sistema.

Curva de aprendizado em CAD



PRODUTIVIDADES TÍPICAS ALCANÇADAS

ENGENHARIA	1.º ano	2.º ano	3.º ano
. Layouts	2:1	3:1	3:1
. Detalhamento	2:1	3:1	4:1
. Revisão de desenhos	3:1	4:1	6:1
. Des. de conjuntos	2:1	4:1	10:1

Desenvolvimento do treinamento

- . O treinamento deve ser subdividido em parte teórica (20%) e parte prática (80%) na fase inicial, cuja duração depende basicamente de outras atividades e projetos já comprometidos na empresa.
- . Os usuários devem cumprir toda a carga horária ou atividades em cada item antes de passar para o item seguinte.
- . Recomendam-se duas pessoas por estação na fase 1 de treinamento. A partir da fase 2 deve-se ter um usuário por estação porque se inicia então a fase produtiva propriamente dita.

Conteúdo de treinamento

O treinamento divide-se normalmente em uma fase não produtiva (somente treinamento propriamente dito) e uma fase produtiva na qual se inicia a formação do banco de dados.

A - Não produtiva	Carga horária estimada (horas)
1. Entidades geométrica básicas	40
2. Desenhos bidimensionais	40
3. Manipulação de entidades geométricas (rotação, translação, espelhamento, etc)	40
4. Construção de modelos tridimensionais	80
5. Superfícies livres e esculturais	80
6. Modelamento sólido	50
Total	330

.301.

B- Elementos Finitos/ou outras aplicações	120
C- Produtiva	
8. Redesenho de peças de produção (formação de banco de dados)	80
9. Criação de peças novas de produção	100
10. Desenhos de conjuntos/layouts para desenvolvimento de novas peças	<u>100</u>
Total	280
Total Geral (A+B+C)	730

C3 - Observações

- . Um programa de treinamento antes da instalação do CAD/CAM e para um grande número de pessoas só dará resultado se for encarado com experiência e familiarização e for previsto um treinamento interno específico e adaptado às necessidades da empresa.
- . A empresa deve preparar um grupo para explorar o sistema em totalidade. Nos seis meses antecedentes à instalação, esse grupo deve ser totalmente desligado de suas presentes atividades para estudo e dedicação exclusiva ao sistema CAD/CAM. Ele estará envolvido intensamente no primeiro ano de utilização com treinamento, desenvolvimento de utilitários, técnicas de trabalho em CAD etc, e depois seus componentes serão absorvidos pelos respectivos departamentos.
- . O componente do grupo acima referido em cada área, será responsável pelo retreinamento em casos de novas revisões de software, em caso de admissão de pessoal e representarão suas respectivas áreas na elaboração da política de implementação e utilização do sistema CAD/CAM.

PARTE V - REFERÊNCIAS

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1) HORDESKI, M.F.- CAD/CAM Techniques. Reston, Virginia, Reston Publishing Company, Inc., 1986.
- 2) SUTHERLAND, I.E. - Computer Displays. In: BOOTH, K.S. ed. Tutorial: Computer Graphics. Longbeach, CA. IEE Computer Society, 1979. p.4-20.
- 3) BOOTH K.S. ed.- Tutorial: Computer Graphics. Longbeach, CA. IEE Computer Society, 1979. p. 1-4.
- 4) TORI. R. et alii.- Fundamentos de Computação Gráfica: Compugrafia. Rio de Janeiro, RJ, Livros Técnicos Científicos, 1987.
- 5) MACHOVER, C.- A Brief, Personal History of Computer Graphics, In: BOOTH, K.S. ed - Tutorial Computer Graphics. Longbeach, CA, IEE Computer Society, 1979. p.21-27.
- 6) DE CASTELJOU, F.- Courbes et Surfaces a Pôles. Paris, André Citroën Automobiles S.A., 1963.
- 7) FERGUSON, J.C.- Multivariable Curve Interpolation. J. Assoc. Comput. Mach. 11 (2): 221-228. April 1964.
- 8) CURRY, H.B. & SCHOEMBERG, I.J. - On Polya Frequency Functions IV: The Fundamental Spline Functions and their Limits. J. Anal Math. 17: 71-107, 1966.
- 9) COONS, S.A.- Surfaces for Computer Aided Design of Space Forms. Mass., MIT, Report MAC-TR-41, Project MAC, 1967.
- 10) BÉZIER, P. - How Renault Uses a Numerical Control for Car and Body Design and Tooling. SAE Paper 680010, 1968.
- 11) BÉZIER, P.- Example of an Existing System in the Motor Industry: The Unisurf System. Proc. Roy. Soc. London A321:207-218, 1971.
- 12) PLONSKY, G.A.- As empresas de Serviço de Engenharia no Brasil: do CAD a Engemática. Tese de Doutorado, USP, São Paulo. Epusp. 1986.
- 13) SECRETARIA ESPECIAL DE INFORMÁTICA- Legislação de Informática, Brasília, 1988. p.91.
- 14) SECRETARIA ESPECIAL DE INFORMÁTICA- Relatório do Seminário de Computação Gráfica e Processamento de Imagens, S.J. dos Campos, 14, 15, e 16 Out. 1987. Brasília 1988.

- 15) SECRETARIA ESPECIAL DE INFORMÁTICA- Panorama do Setor de Informática. Brasília, Séries Estatísticas, 2(1) Agosto 1989.
- 16) GAZETA MERCANTIL- 13 de Novembro de 1989.
- 17) GUIA DE AUTOMAÇÃO E INDÚSTRIA, n.º 7, São Paulo, 1990. p.18-23.
- 18) GROOVER, M.P.- Automation, Production Systems and Computer Aided Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, Inc., 1980.
- 19) GROOVER, M.P. & ZIMMERS, E.W.- CAD/CAM: Computer Aided Design and Manufacturing. Englewood Cliffs, N.J. Prentice-Hall, 1984.
- 20) BARNHILL, R.E. & BOEHM, W eds.- Surfaces in Computer Aided Geometric Design. Amesterdan, Netherlands, North-Holand, 1984.
- 21) LANGE, J.C.- Solving Mechanical Design Problems With Computer Graphics. New York, NY, Marcel Dekker, Inc., 1986.
- 22) MACHOVER, C.- "What Are The Tools?" In: MACHOVER, C. & BLAUTH, R. eds.- The CAD/CAM Handbook, Boston, Computervision, 1980.
- 23) STOVER, R.- CAD/CAM Applications. Englewood Cliffs, NJ., Prentice-Hall, Inc., 1984.
- 24) ENCARNAÇÃO, J. et alii - Product Data Interfaces in CAD/CAM Applications: Design, Implementation and Experiences. Berlin, Heildelberg, Springer-Verlag, 1986.
- 25) FOLEY, J.D. & VAN DAM.A.- Fundamentals of Interactive Computer Graphics. Reading, Mass., Addison-Wesley Publishing Co., Inc., 1982.
- 26) NEWMANN, W.N. & SPROUL, R.F.- Principles of Interative Computer Graphics. 2 ed., New York, N.Y., McGraw-Hill Book Company, 1979.
- 27) HARRINGTON, S.- Computer Graphics: A Programming Approach. New York, NY., McGraw-Hill Book Company, 1986.
- 28) FAUX, I.D. & PRATT, M.J.- Computational Geometry for Design and Manufacture. New York, NY., Ellis-Horwood, 1981.
- 29) ROGERS, D.F. & ADAMS, J.A.- Mathematical Elements in Computer Graphics: New York, N.Y., McGraw-Hill Book Company, 1986.
- 30) CHASEN, S.H.- Geometric Principles and Procedures for Computer Graphic Applications. Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall, 1978.
- 31) KOCHAN, D.- CAM: Developments in Computer Integrated Manufacturing. Berlin, Heidelberg, Springer-Verlag, 1986.

- 32) LIMING, R.A.- Mathematics for Computer Graphics. Fallbrook, CA., Aero-Publishers Inc., 1981.
- 33) STARK, J.- What Every Engineer Should Know About Practical CAD/CAM Applications. New York, N.Y., Marcel Dekker, 1986.
- 34) CUNHA, G.J. et alii- Computação Gráfica e Suas Aplicações em CAD. São Paulo, SP. Editora Atlas S.A., 1987.
- 35) MAGALHÃES, L.P.- Computação Gráfica. Campinas, S.P., Papirus Livraria Editora, 1986.
- 36) KNOX, C.S.- CAD/CAM System: Planning and Implementation. New York, N.Y., Marcel Dekker, 1983.
- 37) BOWMAN, D. J.- The CAD/CAM Primer. Indianapolis, Indiana, Howard W. Sams & Co., Inc., 1984.
- 38) SOBRACON - Boletim Sobracon n.º 42. São Paulo, SP., Sobracon, 1989 p. 15.
- 39) THE SOCIETY OF NAVAL ARCHITECTS AND MARINE ENGINEERS- Proceedings of the First International Symposium on Computer Aided Hull Surface Definition. Annapolis, Md., September 26-27, 1977. New York, NY., SNAME, 1977.
- 40) NEWTON, ISAAC - The Solid of revolution of least resistance to motion in a uniform fluid. In: WHITESIDE, T., ed - The Mathematical Papers of Isaac Newton, vol. 6. Cambridge, 1967-1976. pp 456-465.
- 41) BERTOLINE, G.- A Comparison of Graphics Modeling Techniques. In: Computer Aided Design, Engineering and Drafting, vol.1 S 30. Pennsauken, N.J. Auerbach Publishers, Inc., 1986.
- 42) SHIGLEY, J.E.- Mechanical Engineering Design. New York. N.Y. McGraw-Hill Kogakusha Ltd., 1972.
- 43) SUN MICROSYSTEM, INC.- Catalyst, SPARC edition. Mountain View, Cal, Sun Microsystems, Inc., 1989 pp. 319-354.
- 44) ABUSI - IV Congresso Anual da ABUSI- Associação Brasileira de usuários Sisgraph. 4, 5 e 6 de Outubro de 1989. São Paulo- SP.
- 45) PRATT, M.J.- Reliability of Solid Modeling Systems. In: BATHE, K.J. and OWEN, D.R.J., eds.- Reliability of Methods for Engineering Analysis. Swansea, UK. Pineridge Press, 1986. pp. 319-334.

- 46) ORR, JOEL N. - Upwardly Mobile CADD. New York, N.Y.- PC Magazine, 6 (21): 93-199, Dezembro de 1987.
- 47) ORR, JOEL N. - High End CADD: Expanding to New Dimensions. New York, N.Y. - PC Magazine, 7 (14): 115-201, Agosto de 1987.
- 48) GOTICCHIA, M.E. e PRESTON, E.J.- Productivity Gained Through CAD/CAM: Can It Be Measured. In: Proc. of 4 th. International Computervision User Conference, edited by Computervision Corp., Woburn, Mass. 1982. pp. 689-702.
- 49) MÁQUINAS E METAIS - Ano 25, n.º 286, Nov. 1989, pp. 18-23.
- 50) NORTON, PETER - Inside the IBM PC. New York, NY. Prentice-Hall Press, 1986
- 51) EXAME INFORMÁTICA - Ano 4, n.º 11, 15 de Novembro de 1989.
- 52) EXAME INFORMÁTICA - Ano 4, n.º 10, 4 de Outubro de 1989.
- 53) COMPUTER AIDED DESIGN REPORT - The Engineer's CAD/CAM Purchase Checklist. San Diego, Ca. CAD/CAM Publishing, Inc., 1984.
- 54) KEPNER, C.H. e TREGOE, B.J. - The New Rational Manager. Princeton, N.Y. Kepner - Tregoe, Inc., 1981.
- 55) TEICHOLZ, ERIC, ed. - CAD/CAM Handbook. New York, NY. McGraw-Hill Book Company 1985.
- 56) SALVAGNI, R.B. - Análise Estrutural em Engenharia Mecânica. Notas de aula. PMC. EPUSP. 1985.
- 57) SALVAGNI, R.B. - Análises de Vibrações Mecânicas pelo Método dos Elementos Finitos. Notas de aula. PMC. EPUSP. 1986.
- 58) MASSOLA, A.M.A. - Introdução a CAD/CAM. Notas de aula. PMC. EPUSP, 1987.
- 59) GANTZ, JOHN - The Market at Large. Computer Graphics World, Março de 1990, pp. 33-37.
- 60) SAURA, C.E. e ARBEX, R. - Experiências Práticas na Expansão de Sistemas. Máquinas e Metais, 25 (289):74-83.
- 61) EDWARDS, L.W. - How to Get Started. In: MACHOVER, C. e BLAUTH, R. eds: The CAD/CAM Handbook. Bedford, Ma. Computervision Corp. 1980. pp.221-237.