

O CAD e o seu Papel na Manufatura

“O produto é a razão de ser da empresa. E sem projeto não há produto.”



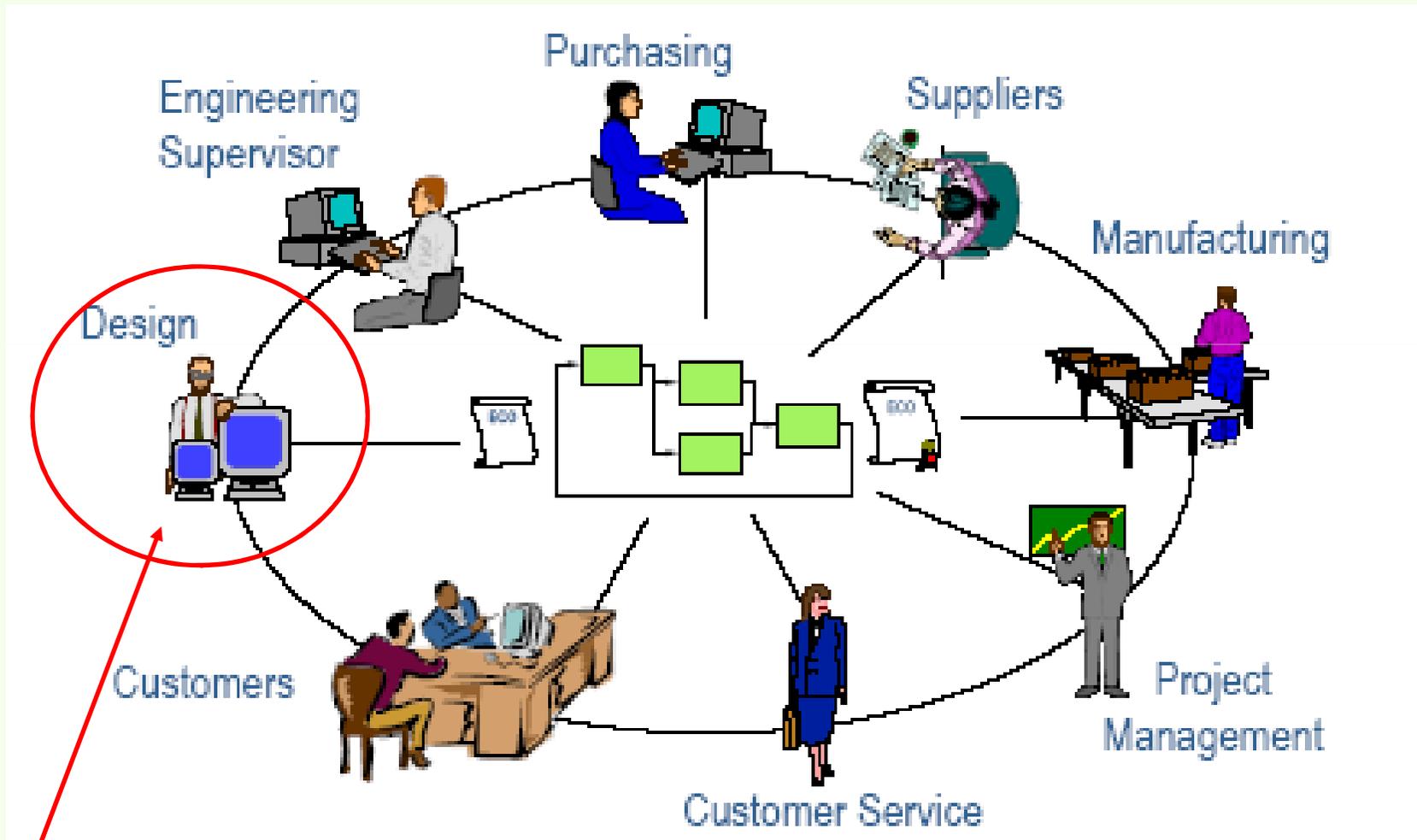




INTRODUÇÃO

- Propósito deste conteúdo → mostrar como dados do CAD são usados para o planejamento e controle do processo de manufatura.
- Principais objetivos deste conteúdo:
 - Descrever métodos usados para produzir documentos, desenhos, listas de materiais, planos de processos, etc.
 - Ilustrar os procedimentos necessários para automatizar estas atividades e como elas relacionam-se entre si para que se tenham sistemas de manufatura coordenados, flexíveis e automatizados.

INTRODUÇÃO



Ênfase deste conteúdo

INTRODUÇÃO



Compartilhamento dos dados de um produto

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- CAD → tecnologia relativamente nova → tornou-se uma ferramenta fundamental na engenharia somente nos anos 80 → uso dessa tecnologia revolucionou as práticas normais dos projetistas na indústria.
- Origem do CAD → série de projetos independentes (1956-1959) que começaram nos anos 50 com o projeto APT no M.I.T.
- APT → “Ferramentas de Programação Automática” → intuito de ser usado para representar as formas geométricas de peças em máquinas CN desempenhando operações de alta precisão.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- Outro projeto → “light-pen” → originou-se no projeto de radar chamado SAGE (“Semi-Automated Ground Environment system”) → objetivo deste projeto: desenvolver um sistema para:
 - analisar dados de radar;
 - apresentar possíveis posições de aeronaves na tela CRT (“Tubo de Raios Catódicos”)
- Tais sistemas → 1º sistema denominado “sketchpad” (folha de rascunho) – Ivan Sutherland no M.I.T. em 1962 → 1º sistema interativo de computação gráfica.

PERSPECTIVA HISTÓRICA



Controle de testes Whirlwind no M.I.T.

PERSPECTIVA HISTÓRICA



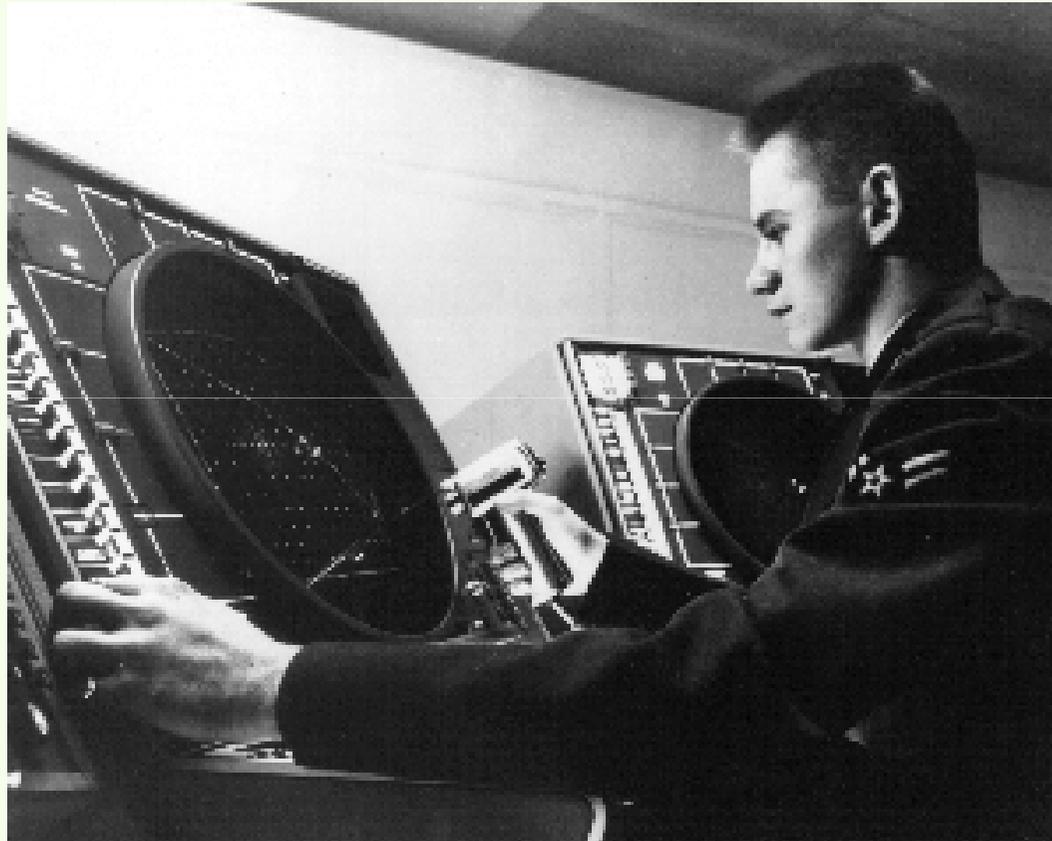
Computador SAGE

PERSPECTIVA HISTÓRICA



Uso da light pen para interagir com o display SAGE

PERSPECTIVA HISTÓRICA



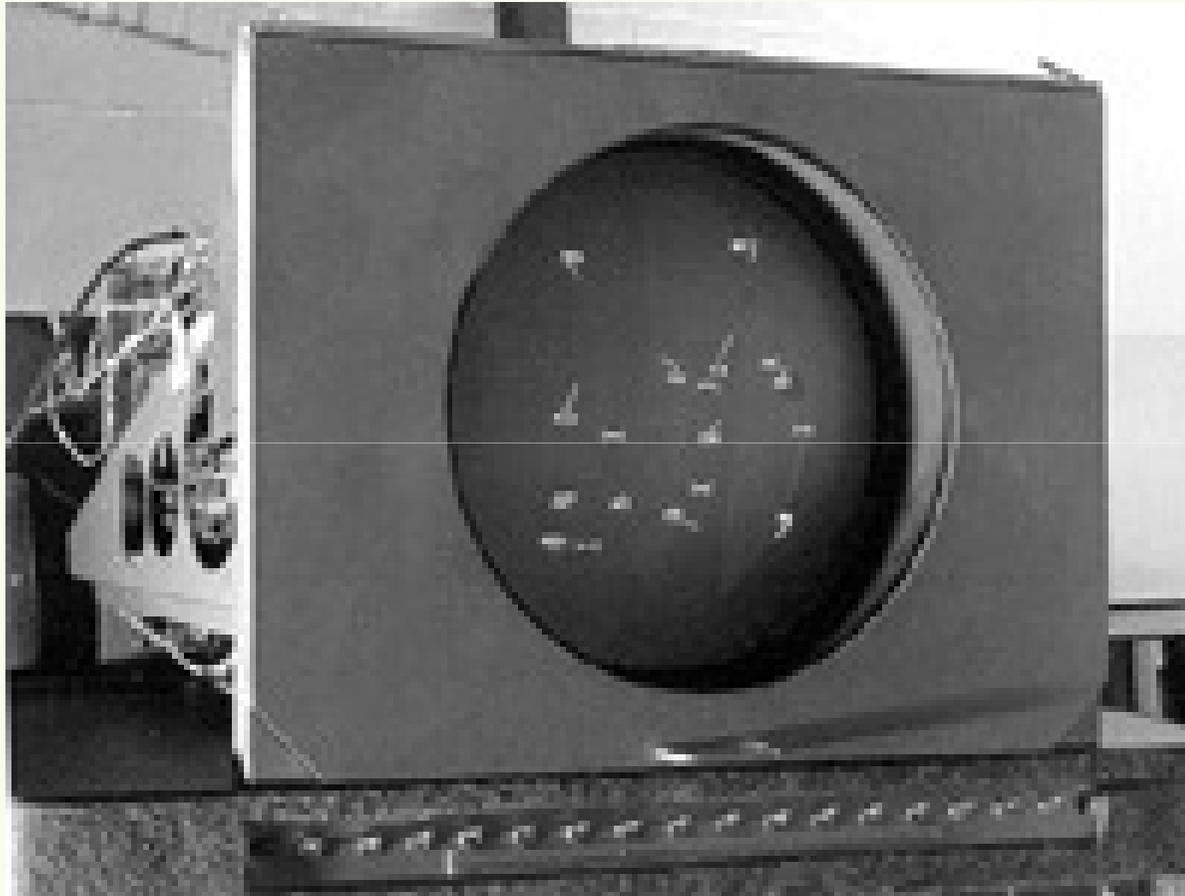
Uso da light pen para interagir com o display SAGE

PERSPECTIVA HISTÓRICA



Uso da light pen para interagir com o display SAGE

PERSPECTIVA HISTÓRICA



Display vetorial com marcas que correspondem a referências geográficas

PERSPECTIVA HISTÓRICA

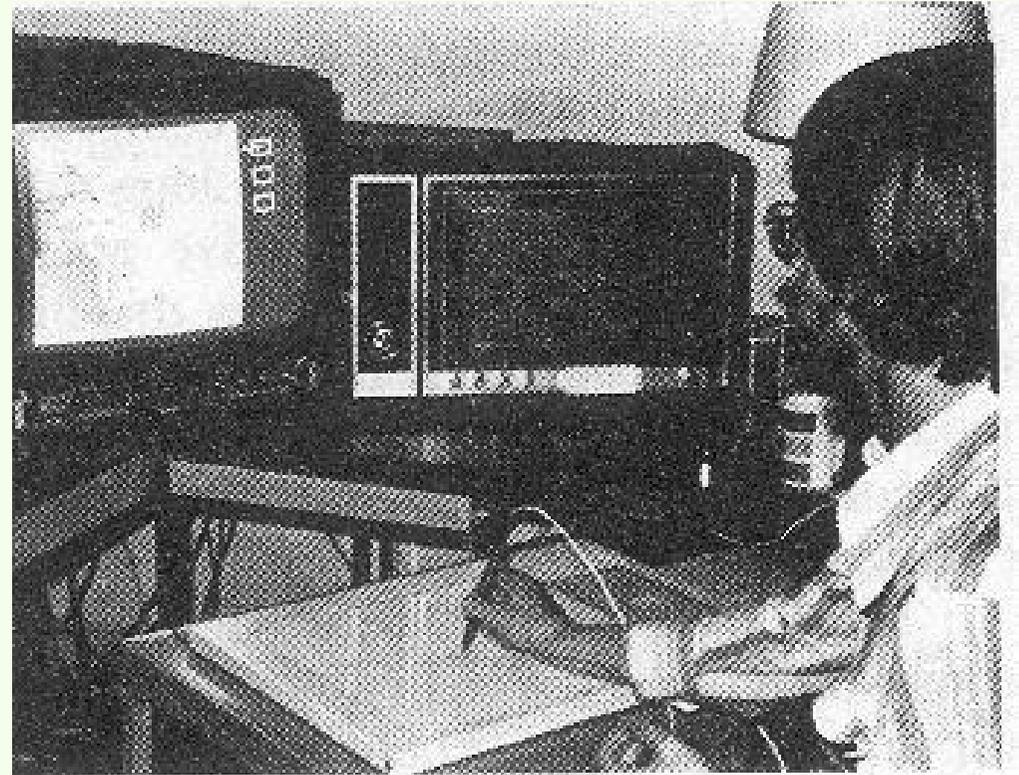


Utilização do sistema Sketchpad, desenvolvido no M.I.T. pelo Dr. Sutherland

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- Antes deste desenvolvimento → computadores eram usados para efetuar cálculos de engenharia
- Após este desenvolvimento → o projetista pôde interagir graficamente com o computador usando o CRT e a “light-pen”.
- 1º “sketchpad” → representação de objetos em 2-D → mesmo assim desenhos podiam ser analisados usando-se programas para assegurar a validade estrutural.
- Em 1963 → “sketchpad” foi estendida para 3-D → possível efetuar desenhos em perspectiva de objetos na tela CRT.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

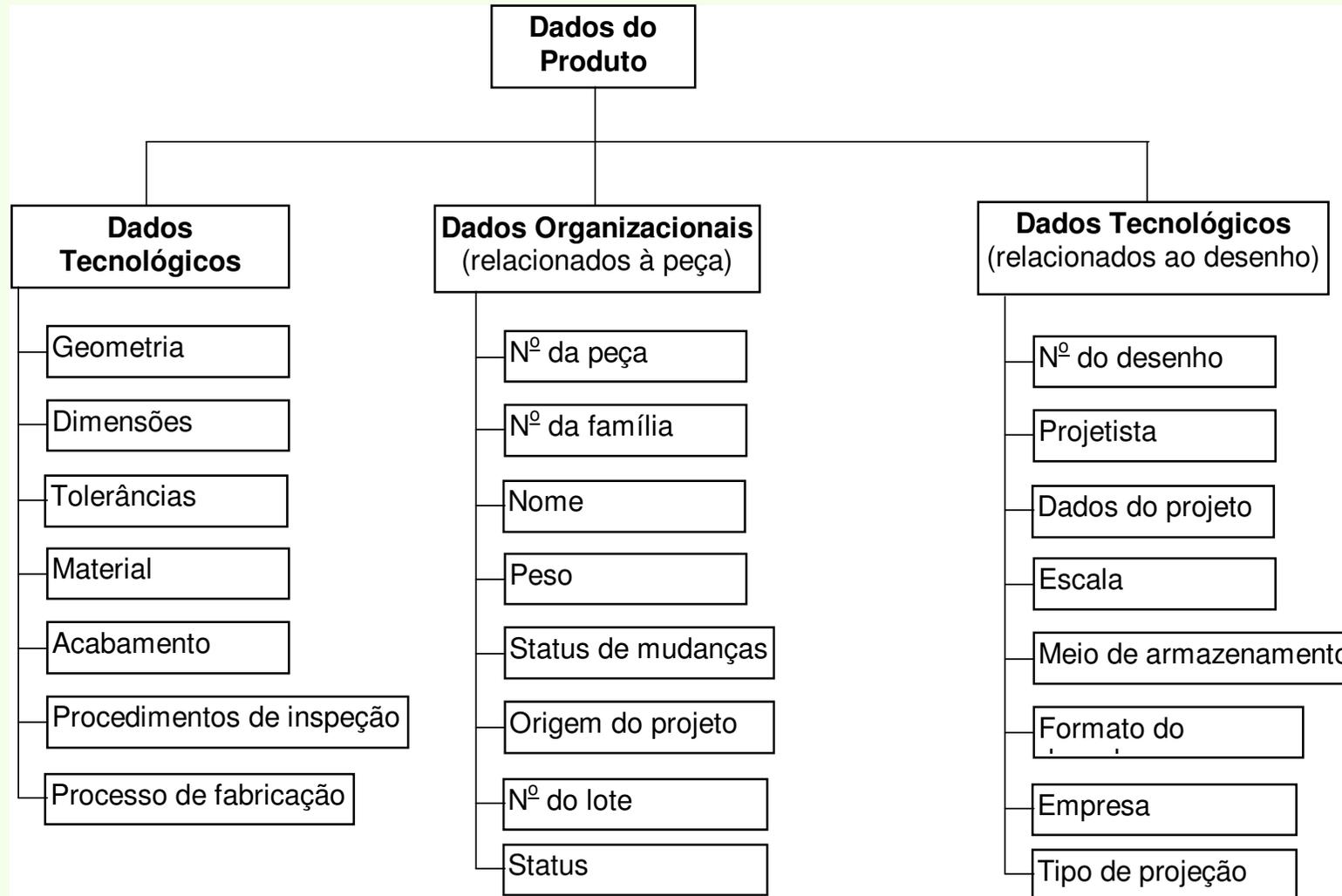


Equipamentos utilizados antigamente na área de computação gráfica

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- Aspectos especiais do computador:
 - pode tornar informações básicas de produtos prontamente disponíveis para o projeto do produto (p.ex. material, desenhos associados a dados organizacionais incluindo o número e o formato do desenho, e todos os dados organizacionais relacionados à peça);
 - várias atividades operacionais também;
 - planejamento do processo;
 - geração de programas para acionar os equipamentos de manufatura.
- Portanto → dados somente têm que ser introduzidos uma vez no sistema, e então serem acessados por várias atividades (ver figura).

PERSPECTIVA HISTÓRICA



Base de dados do CAD contendo informações sobre o planejamento do produto e da manufatura

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- Sistema interativo de computação gráfica → deve ser orientado para o usuário → uso do computador para criar, transformar e mostrar dados sob a forma de figuras e símbolos.
- Computador comunica ao usuário através da tela, onde imagens são criadas introduzindo-se comandos para chamar as funções desejadas.
- Elementos geométricos tais como pontos, linhas podem ser aumentados ou reduzidos, e movidos de um lugar para outro na tela através dos processos de rotação e translação.
- Sistema interativo de computação gráfica → inclui hardware e software.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

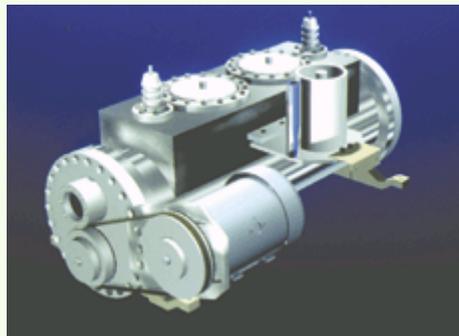
- Hardware → composto da CPU, uma ou mais telas gráficas, e periféricos tais como impressoras, plotadoras e mouses (ou mesas digitalizadoras).
- Software → programas necessários para uma variedade de processamentos gráficos do sistema (p.ex. AutoCAD).
- Vantagem de um sistema interativo de computação gráfica → efeito sinérgico sobre o processo de projeto → projetista é capaz de desempenhar o aspecto do projeto mais adequado para as habilidades do homem incluindo a concepção e o raciocínio.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

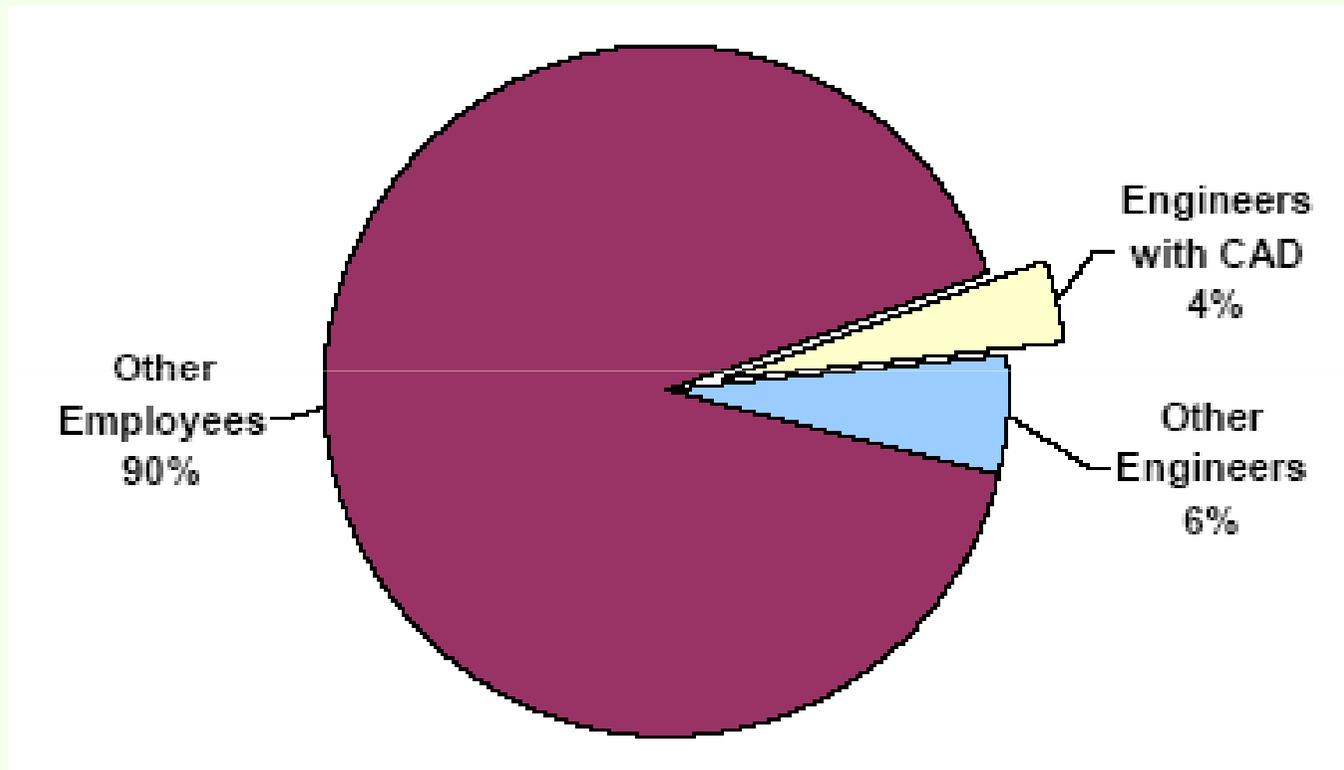
- Computador → efetua atividades mais difíceis para o homem, como:
 - cálculos rápidos,
 - exposição de desenhos na tela,
 - armazenamento de grandes quantidades de dados.
- Evolução do CAD/CAM → fortemente influenciada pelos projetos do APT e do “sketchpad” → união destes sistemas possibilitou a geração de programas CN a partir do modelo geométrico do produto no computador, pelo qual as atividades de projeto e manufatura podem usar a mesma base de dados do CAD.

PERSPECTIVA HISTÓRICA

- Sistemas CAD iniciais → muito caros → uso destes sistemas era limitado a grandes indústrias.
- Início dos anos 1960 → empresas automotivas e aeronáuticas experimentaram vários sistemas de computação gráfica.
- Fim dos anos 1960 → emergiram inúmeros desenvolvedores de sistemas CAD.
- Anos 1980 → enorme crescimento desta indústria.
- Hoje → maioria dos produtos são projetados em sistemas CAD (pranchetas são praticamente obsoletas).



PERSPECTIVA HISTÓRICA



Colaboradores em empresas norte-americanas com acesso a software de CAD em 1997 (fonte: US Bureau of Labor Statistics)

PROCESSO DE PROJETO



*Processo tradicional
de projeto*

PROCESSO DE PROJETO

- 1a. fase → começa com o reconhecimento de que um consumidor tem uma necessidade de um produto. Por exemplo:
 - descoberta de um sistema não otimizado que deve ser reprojetoado;
 - conclusão de que o mercado precisa de um certo produto novo.
- 2a. Fase → definição do problema (isto é, especificação do produto que será projetado). Inclui:
 - determinação das características físicas e funcionais do produto, seu princípio de operação e vida em serviço.
 - levantamento de dados sobre custos, exigências e normas legais, fabricação, ou exigências de qualidade e manutenção.

PROCESSO DE PROJETO

- 3a. Fase → concepção de uma nova geração de produtos ou a síntese de projetos alternativos → fase muito criativa → acredita-se que essa fase é a mais importante (criatividade do projetista).
- 4a. Fase → análise, responsável pela verificação do projeto sintetizado na 3a. Fase, visando a melhoria do projeto considerando-se as restrições → este processo iterativo (isto é, síntese ⇔ análise) pode ser repetido várias vezes até que o projeto seja otimizado.

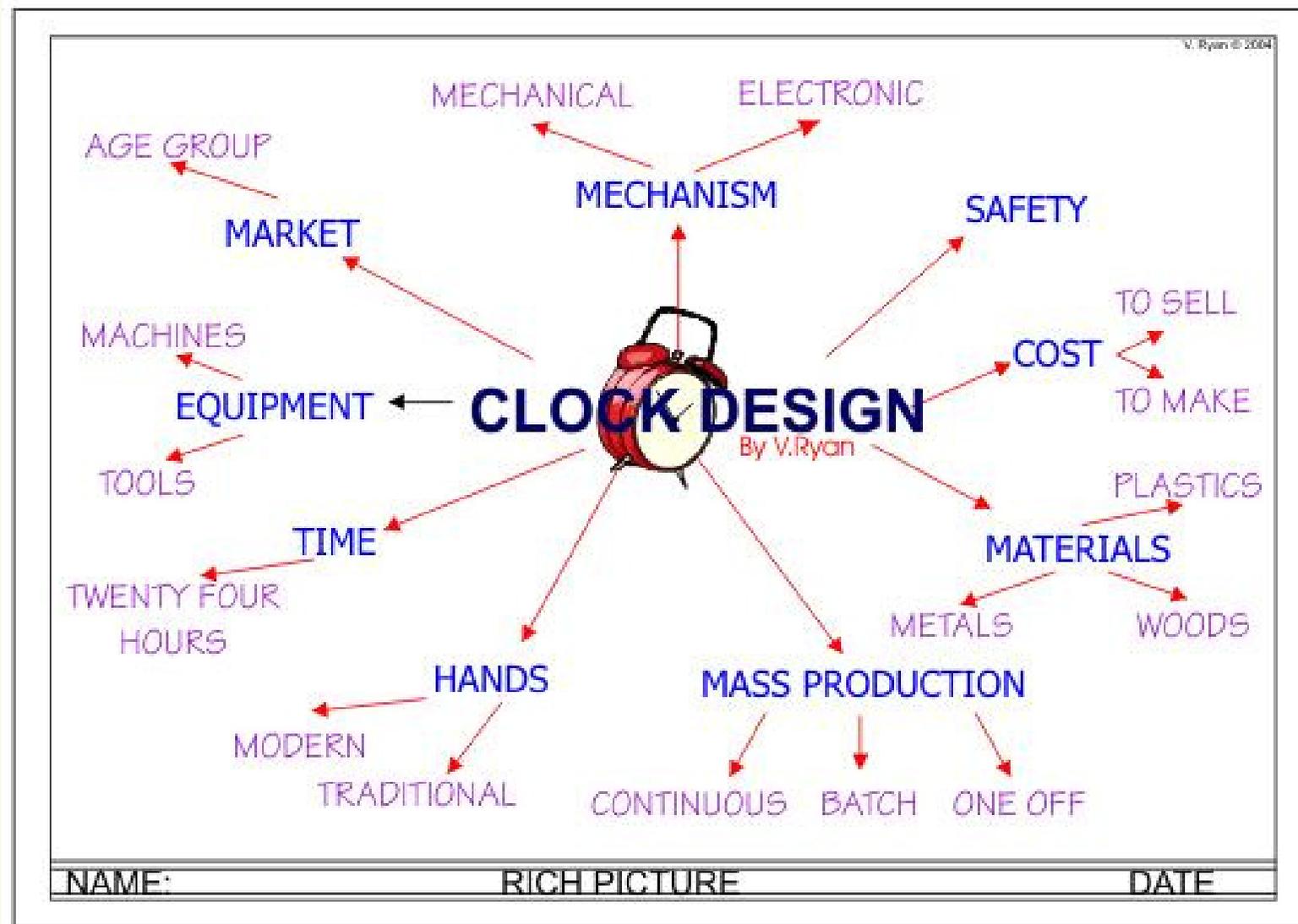
PROCESSO DE PROJETO

- 5a. Fase → avaliação → p.ex. uso de práticas padrão de engenharia e manufatura pelas quais o projeto é avaliado → assegurar que as restrições estabelecidas no estágio de definição do problema não sejam violadas.
 - Os sistemas de avaliação devem incluir a manufaturabilidade e a manutenibilidade.
 - A avaliação pode requerer a fabricação de um protótipo + execução de testes para determinar seu desempenho, qualidade, vida, etc.
 - Avanços nos computadores → freqüentemente possível modelar e testar protótipos no computador → economiza tempo e dinheiro.

PROCESSO DE PROJETO

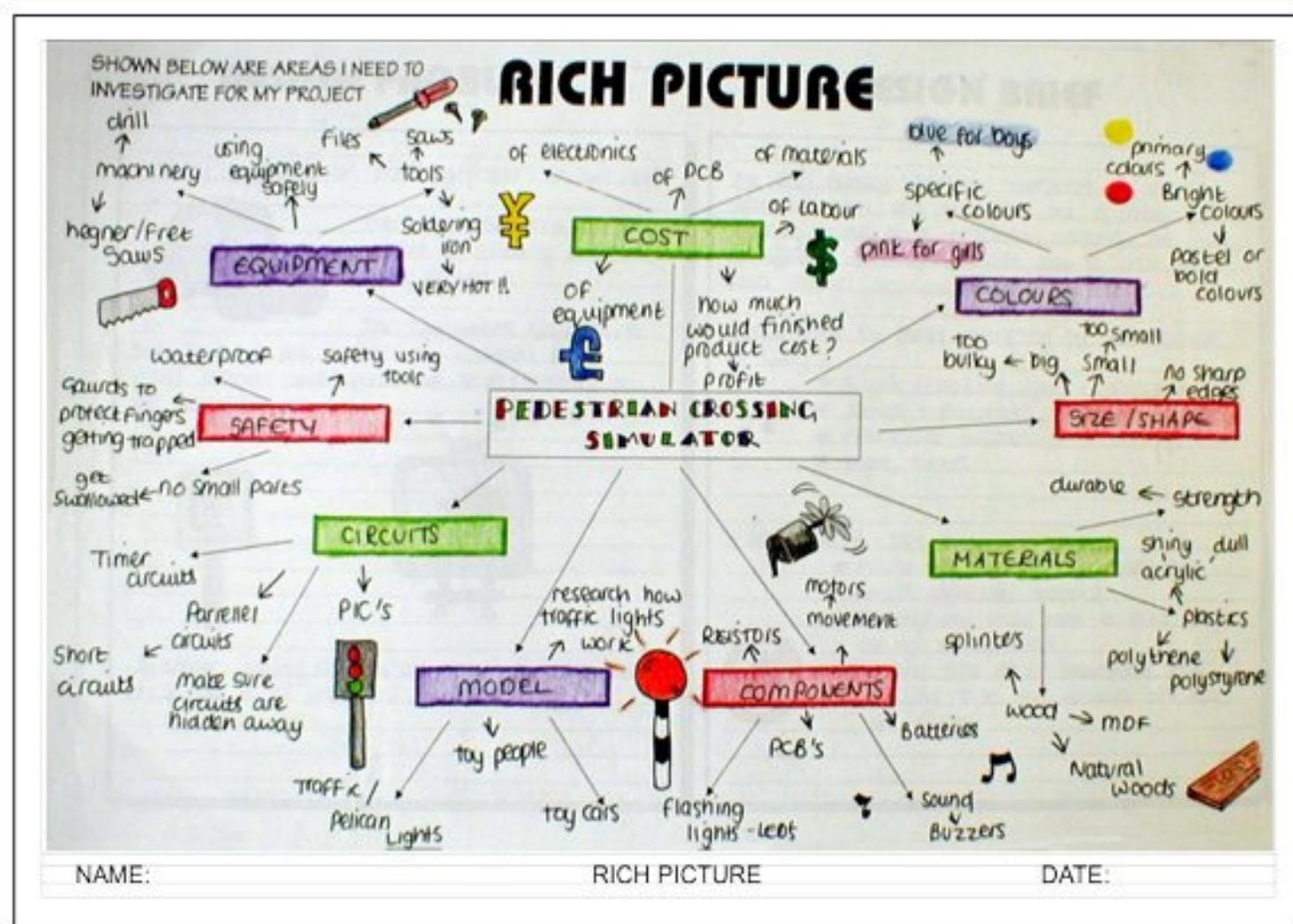
- Finalmente → projeto é apresentado à diretoria através de:
 - Documentos de engenharia,
 - Ou modelamento digital.
- Num ambiente moderno de manufatura → dados de projeto podem também ser transferidos diretamente para um sistema de planejamento do processo para a manufatura do produto.

PROCESSO DE PROJETO



Desenho com várias informações

PROCESSO DE PROJETO



Outro desenho com várias informações

PROCESSO DE PROJETO

DESIGN PROBLEM	DESIGN BRIEF	
<p>Today traffic is an increasing problem on our roads. there has also been an increase in speeding and drink driving. The Government has tried to cut back on the number of accidents with speed camera and informative advertisement on television etc.... However, young children at particular risk and need to be educated in road safety</p> 	<p>The local primary school has approached my small electronics firm to produce a working model of a pedestrian crossing. This will be used to show the children how to cross the road safely. <i>I shall make the model interesting for the children by using:</i> Bright / flashing lights Sounds - buzzers Interactive buttons Bright Colours</p>  <p><i>I shall make it safe by:</i> Making sure that there are no places where fingers could be trapped Securing any small parts so that they cannot be swallowed Making sure it is waterproof and checking that the circuits are not on display.</p> 	
NAME: _____	BRIEF AND PROBLEM _____	DATE: _____

O problema de projeto, e o resumo do projeto

PROCESSO DE PROJETO

The diagram is a hand-drawn sketch on a grid background, titled "ANALYSIS & SYNTHESIS" in large, colorful, bubbly letters. The title is decorated with a small drawing of a person on a roller coaster on the left and a red balloon on the right. The diagram is divided into two main sections by a vertical line. The left section is titled "ANALYSIS" and contains a list of questions. The right section is titled "SYNTHESIS" and contains a detailed response to the first question, "Will the design be safe?". At the bottom center, the text "ANALYSIS AND SYNTHESIS" is written. In the bottom right corner, there is a drawing of a puzzle piece with the number "3" on it.

ANALYSIS & SYNTHESIS

ANALYSIS

- Will the design be safe?
- What will be the best material to make the toy with?
- How big will the toy be?
- How much will it cost?
- How long will it take to manufacture?
- How will the toy be manufactured?
- What shape will the educational toy be?
- What colour-scheme will it use?
- What will the toy do?
- What circuits will it use?
- What will make people buy the toy?
- Who will purchase the educational toy?
- Are there similar products on the market?

SYNTHESIS

YES MY DESIGN WILL BE SAFE. I WILL DO THIS BY HAVING NO SHARP EDGES, KEEPING THE COMPONENTS HIDDEN AND MAKING SURE THERE ARE NO SMALL PLACES TO TRAP FINGERS.

WOOD SUCH AS MDF OR PINE OR ACRYLIC WILL BE THE BEST MATERIALS AS THEY ARE STRONG & DURABLE.

IT WILL BE FAIRLY SMALL & CHUNKY SO THAT CHILDREN CAN HOLD IT.

IT WILL COST NO MORE THAN R\$ 10 TO BUY & R\$ 10 TO MANUFACTURE.

IT WILL TAKE HOURS BY HAND TO MANUFACTURE.

WHEN IT'S MASS-PRODUCED THERE WILL BE A CONVEYER-BELT WITH PEOPLE AND MACHINES EACH DOING A DIFFERENT JOB.

I WILL RESEARCH & CARRY OUT A QUESTIONNAIRE TO FIND OUT WHAT THE MOST POPULAR SHAPE WILL BE.

MY QUESTIONNAIRE WILL FIND OUT WHAT THE MOST POPULAR COLOUR SCHEME IS.

THE TOY WILL BE EDUCATIONAL, HAVE FLASHING LIGHTS AND MAKE A NOISE.

IT WILL USE A PIC CIRCUIT.

MY DESIGN WILL BE CHEAPER, MORE ATTRACTIVE & IMPROVE ON EXISTING PRODUCTS.

PARENTS, ESPECIALLY MUMS WILL BUY THE TOY FOR THEIR CHILDREN.

I WILL FIND OUT ABOUT EXISTING PRODUCTS BY WRITING TO MANUFACTURERS AND COLLECTING COMPANY BROCHURES.

ANALYSIS AND SYNTHESIS

3

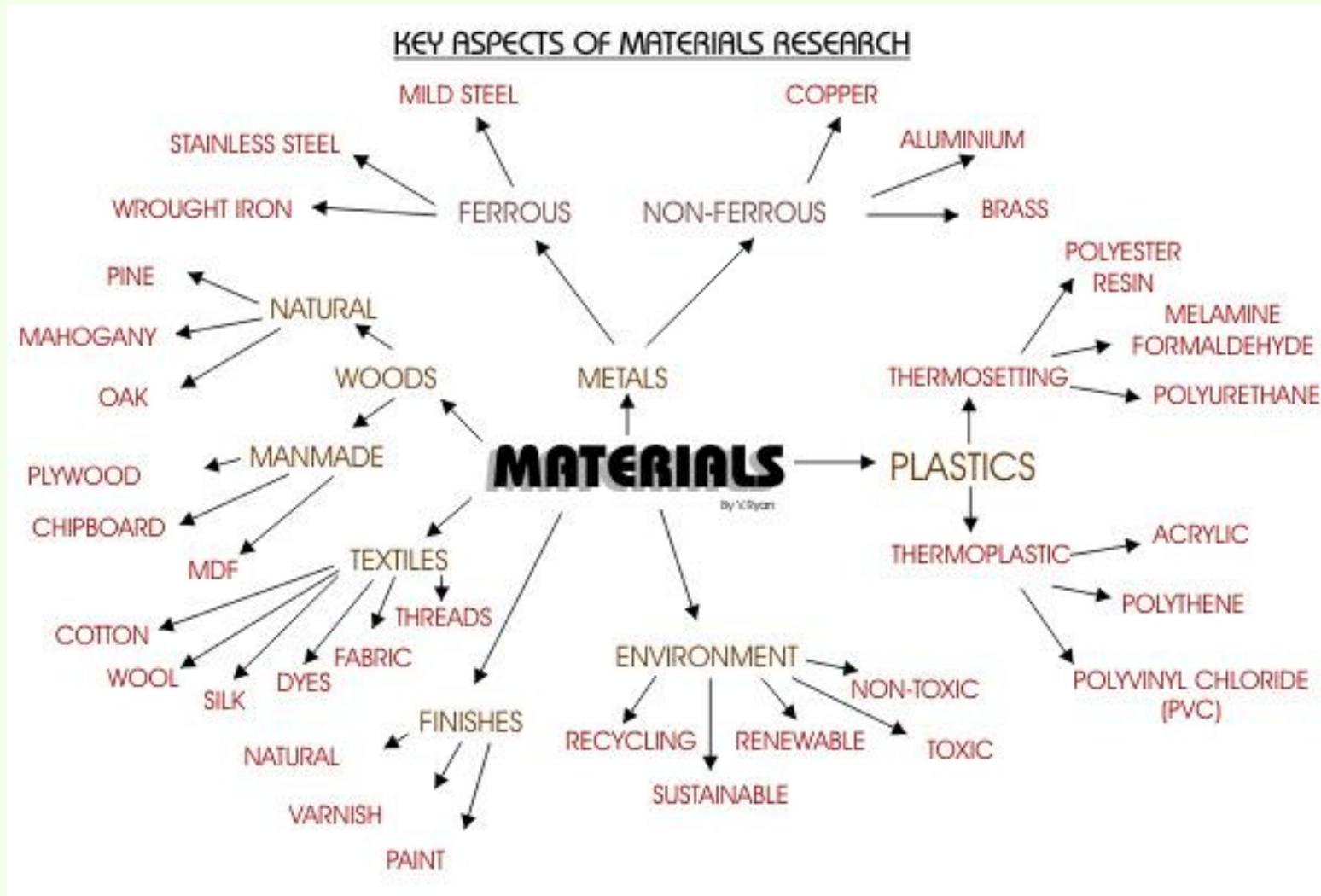
Análise e Síntese

PROCESSO DE PROJETO



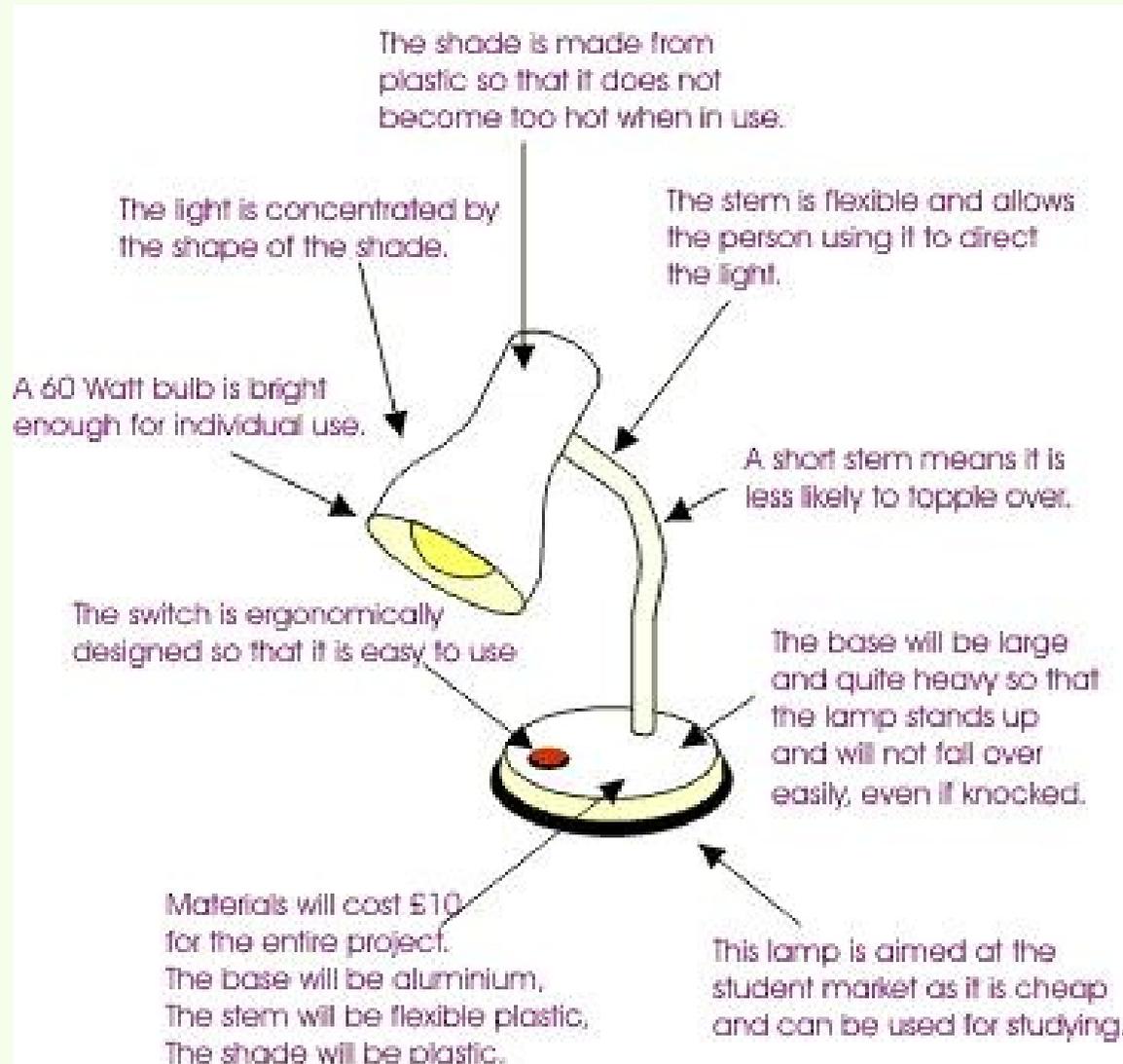
Cronograma

PROCESSO DE PROJETO



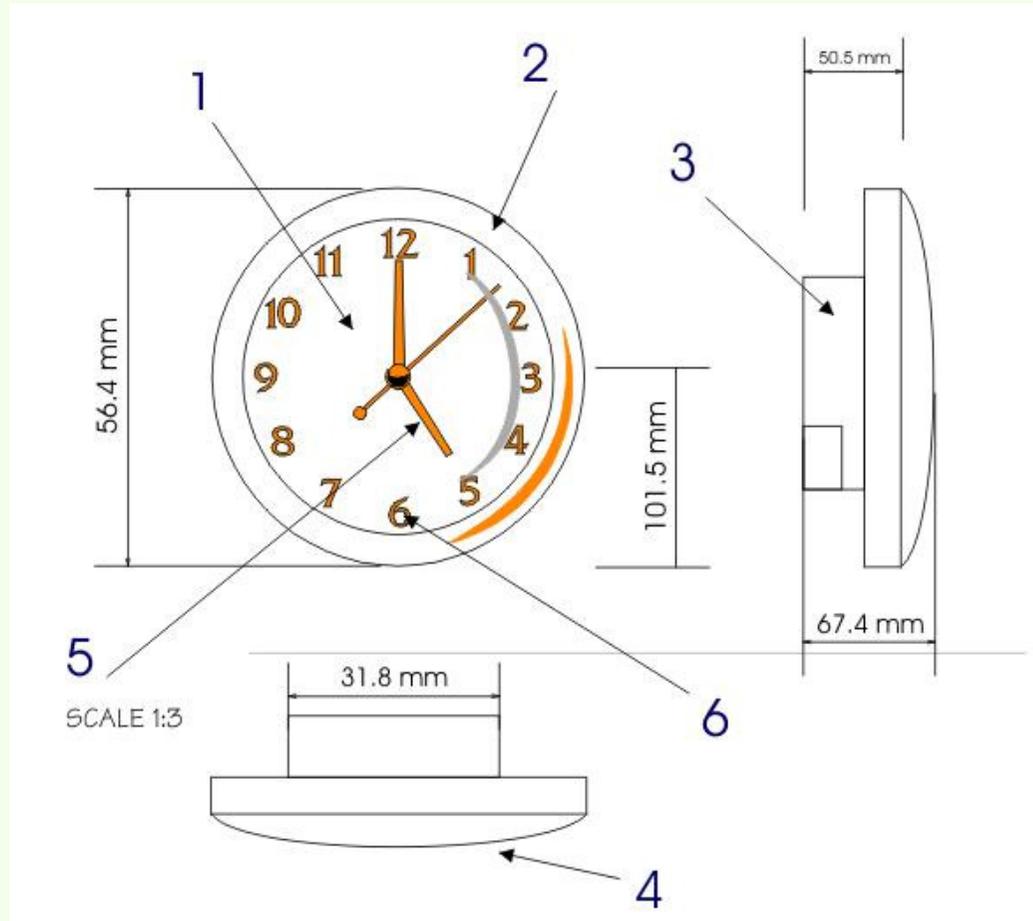
Materials

PROCESSO DE PROJETO



Idéias

PROCESSO DE PROJETO



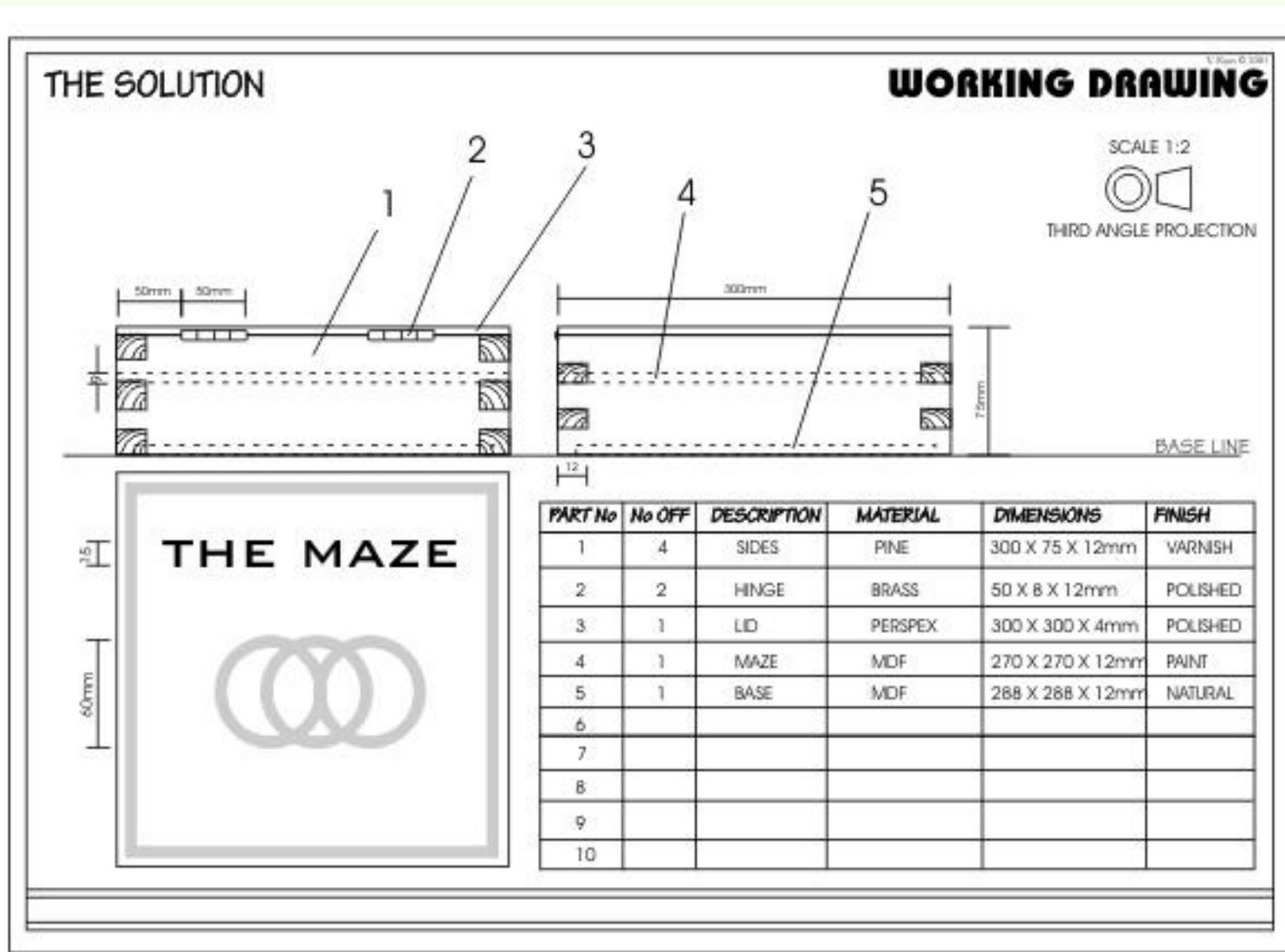
Desenho de uma proposta de solução

+

Lista de peças

PART No	No OFF	DESCRIPTION	MATERIALS	DIMENSIONS	FINISH
1	1	CLOCK FACE	MDF		RED PAINT
2	1	CLOCK BACK	PERSPEX	Dia. 156mm x 20mm	NONE
3	1	MECHANISM			NONE
4	1	GLASS			POLISH
5	1	HANDS			BLACK
6	2	NUMBERS			RED

PROCESSO DE PROJETO

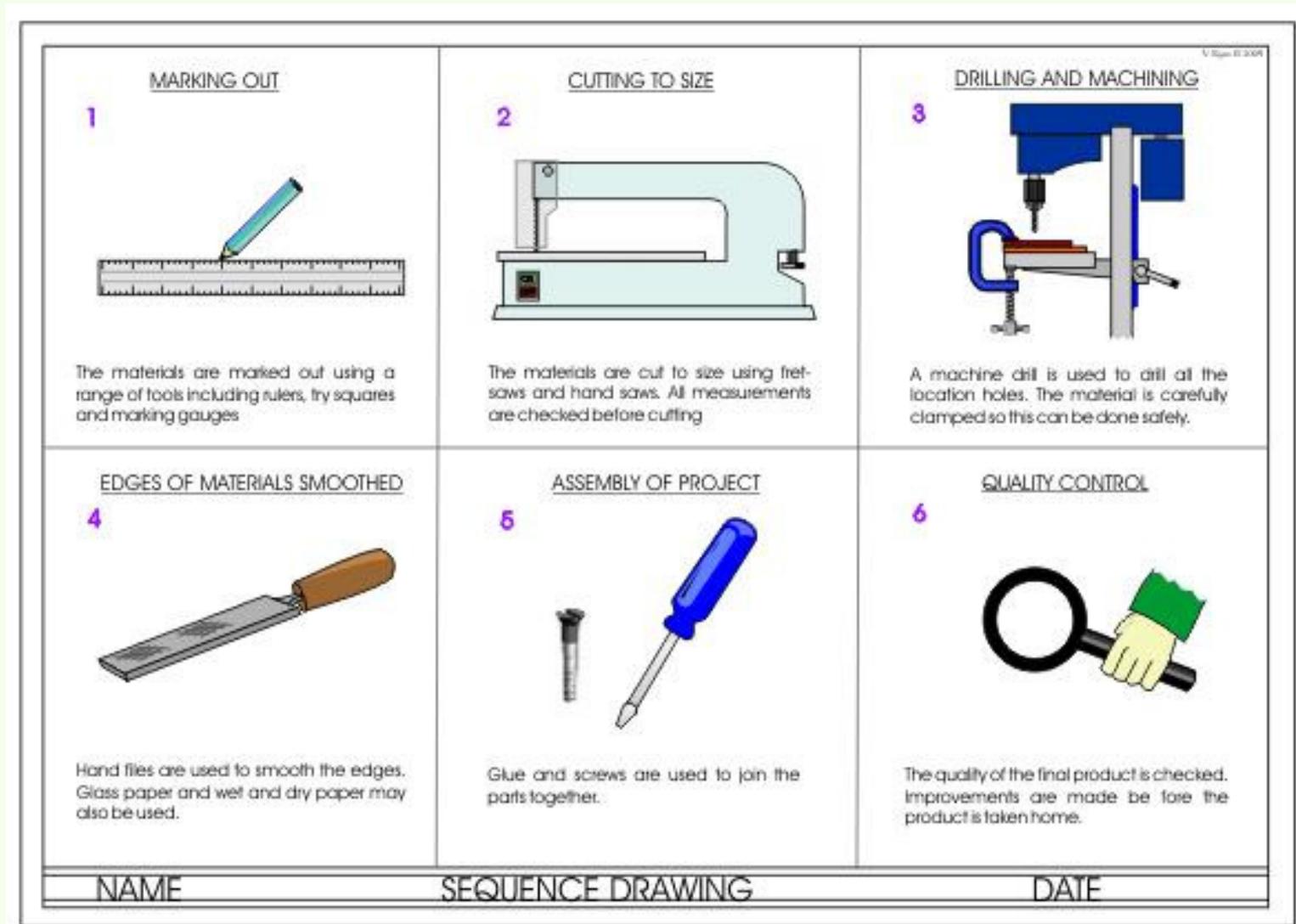


Outro desenho de uma proposta de solução + lista de peças



*Planejamento para produção
seriada*

PROCESSO DE PROJETO



Desenho com seqüência de operações

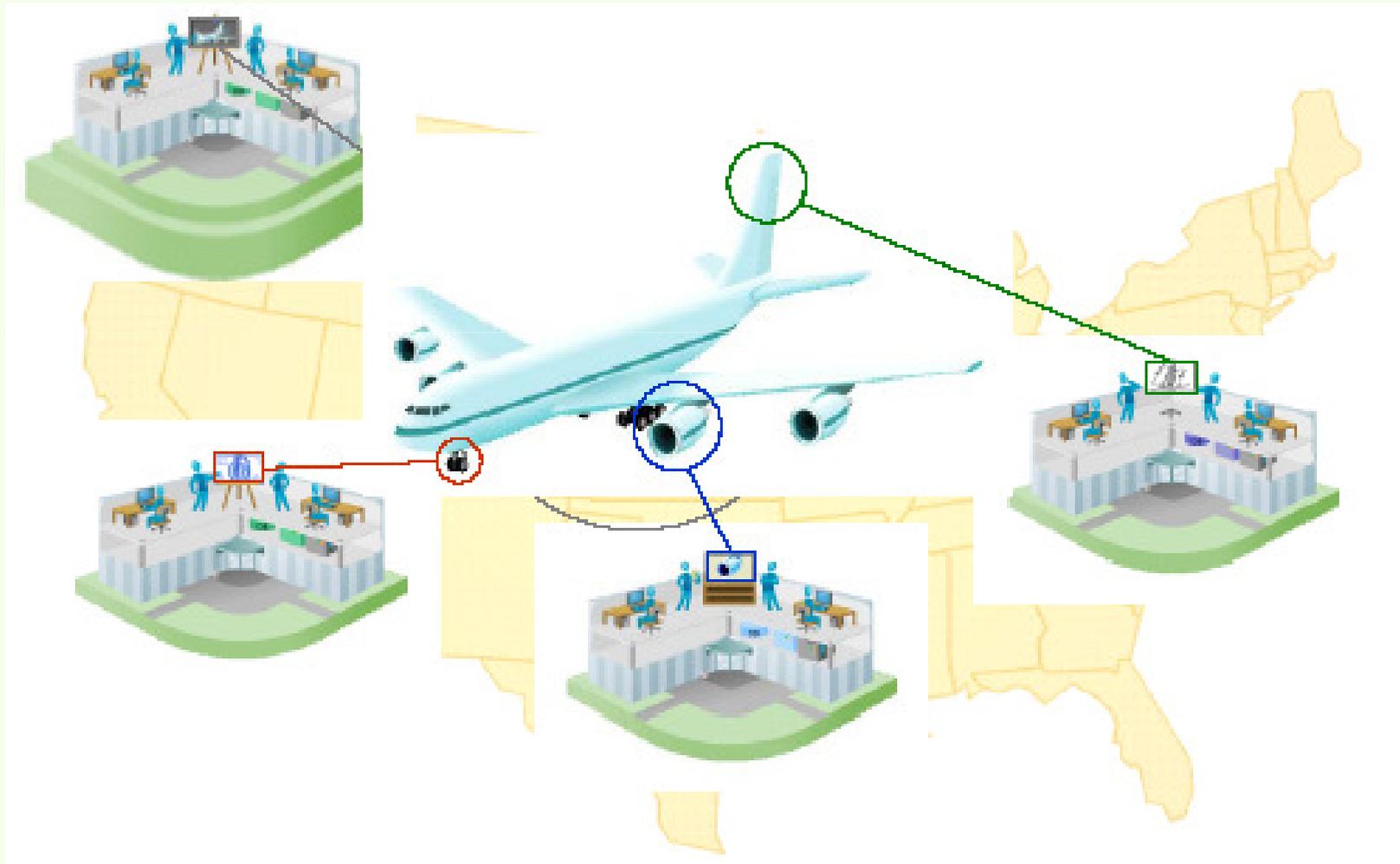
HIERARQUIA DE PROJETO

- Projetos complexos (p.ex. avião) → executados por muitas equipes.
- Cada equipe → pode ter muitas outras equipes menores.
 - Por exemplo → avião é composto por milhares de componentes, um dos quais é o motor a jato
 - Motor → projetado por uma equipe de engenheiros, que são responsáveis por partes individuais do motor.
 - Projetos produzidos por várias equipes → têm que ser montados para testar o produto final.
 - Entretanto, este teste não impede os testes que equipes individuais efetuam em seus componentes específicos de forma a certificá-los como completos.

HIERARQUIA DE PROJETO

- Decisões de alto nível → dependem de várias características das peças (p.ex. uso e custo das peças ou a violação de uma lei da física).
- Decisões de nível mais baixo → referem-se à confiabilidade e a função do produto → p.ex.: cada peça isoladamente pode não indicar seu comportamento interativo com outras peças até que seja considerado como parte de todo o sistema.

HIERARQUIA DE PROJETO



O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- Computador no projeto → muitas atividades de engenharia podem ser automatizadas
- Aplicação do computador → 5 áreas:
 - definição do problema
 - modelagem geométrica
 - análise de engenharia
 - avaliação do projeto
 - desenho automático

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- **Definição do problema**

- Projetista → muito criativo para determinar as funções, desempenho e aparência do produto.
- Computador pode não ser de grande auxílio, pois ele não possui a experiência humana.
- Entretanto, se o produto tiver sido projetado antes → computador pode ser uma ferramenta importante para:
 - sugerir um projeto existente;
 - procurar peças padronizadas e processos de manufatura.

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- **Modelagem geométrica**

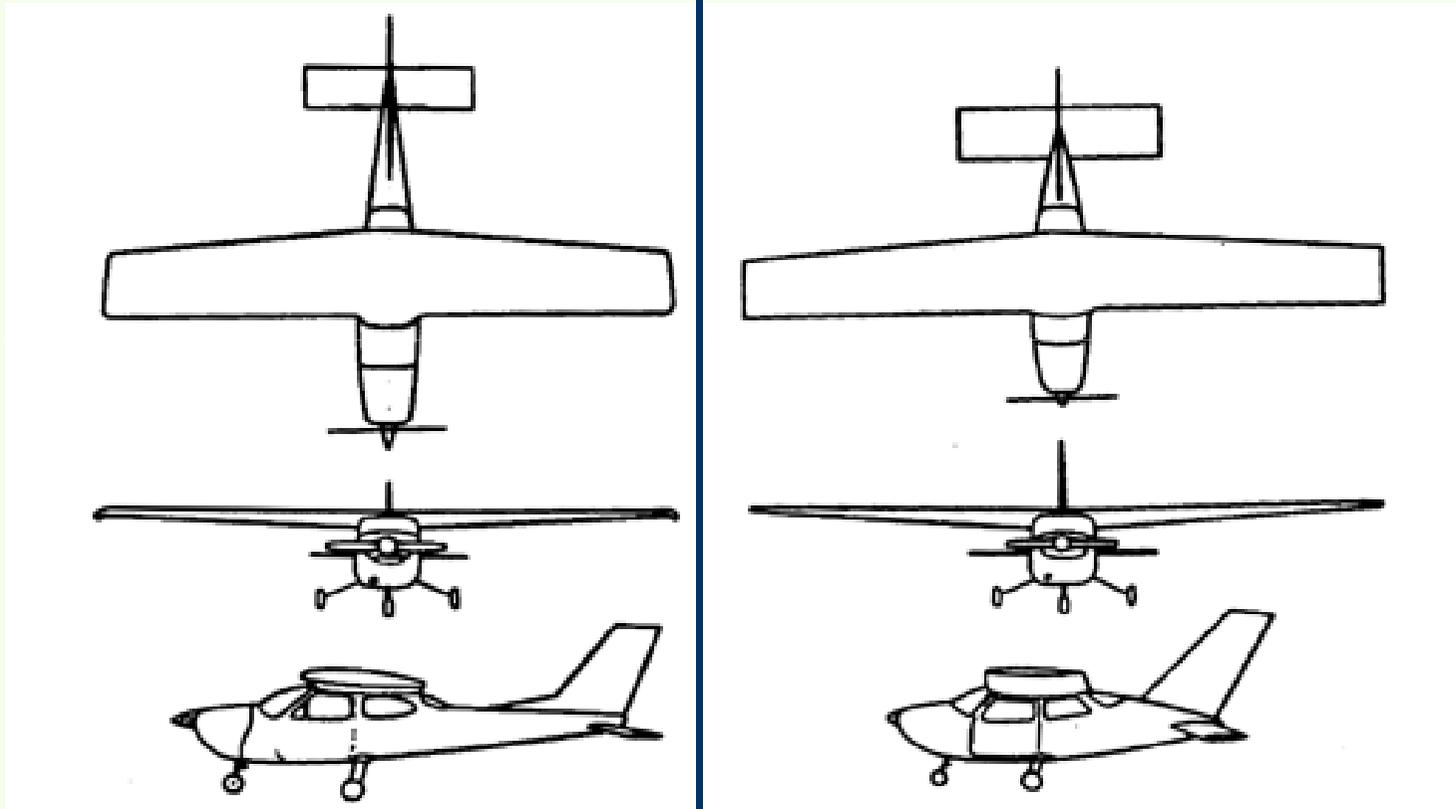
- Uso do computador para empregar uma descrição matemática da geometria de um objeto na representação de um objeto.
- Normalmente → objeto é simplificado e somente suas características essenciais são representadas.
- Estas descrições matemáticas possibilitam:
 - imagem do objeto ser mostrada na tela gráfica;
 - objeto pode ser animado para mostrar suas características operacionais.
- Com o auxílio da animação é possível detectar problemas e sugerir ações corretivas.

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- Análise de engenharia

- Projetos requerem normalmente alguma forma de análise → p.ex. elementos finitos; cálculos para determinar o desempenho dinâmico do projeto.
- Programas para obter informações como: consumo de potência, transferência de calor, desgaste, interferência, etc.
- Otimização.
- Tais programas de desempenho são empregados num estágio mais tarde do projeto → normalmente requerem dados precisos sobre as dimensões, forma, materiais, etc.

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



Reprojeto "ótimo" do Cessna Cardinal. O software de otimização explorou restrições simplificadas de estabilidade lateral.

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- Avaliação do projeto

- Visa assegurar que regras específicas estabelecidas para o projeto de um certo tipo de produto não são violadas.
- Algumas dessas regras:
 - Procedimentos operacionais padronizados;
 - Custos;
 - Regras de manutenção.
- Nesta fase a precisão de um projeto é verificada, a manufaturabilidade e montabilidade são avaliadas, e a cinemática é investigada.

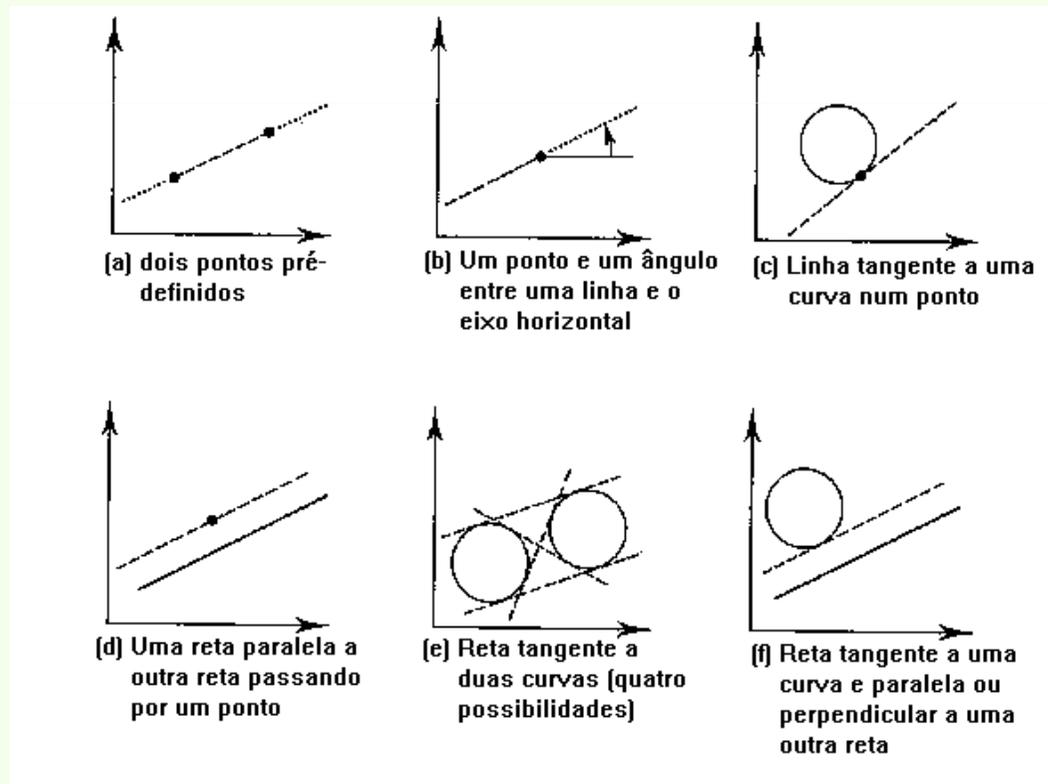
O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- **Desenho automático**

- Obtenção de desenhos detalhados usados para comunicar as informações do projeto para:
 - planejamento do processo;
 - programação dos equipamentos de manufatura.
- No início → computação gráfica interativa → facilitar somente o desenho, pois a produtividade do desenho pode aumentar muitas vezes com o uso do CAD.
- Com o CAD → funções de desenho de dimensionamento automático é possível, junto com a geração de áreas hachuradas, escalas e vistas.
- Vistas podem ser aumentadas e objetos podem ser girados ou transladados para obter vistas oblíquas, isométricas ou perspectivas da peça.

CONSTRUÇÃO DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS NO CAD

- Maioria dos desenhos de engenharia → elementos geométricos são construídos a partir de elementos geométricos básicos → programa CN

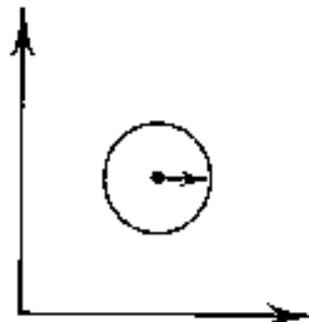


*Construção
de uma
linha reta*

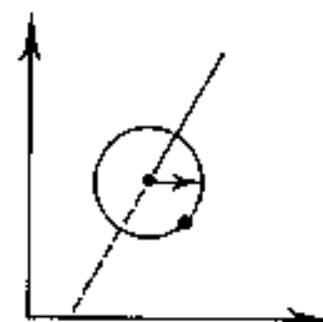
CONSTRUÇÃO DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS NO CAD



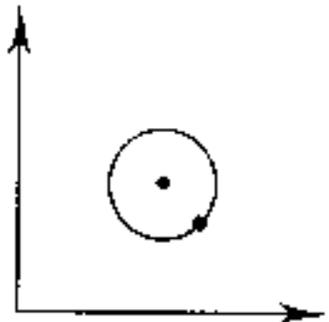
(a) Usando 3 pontos



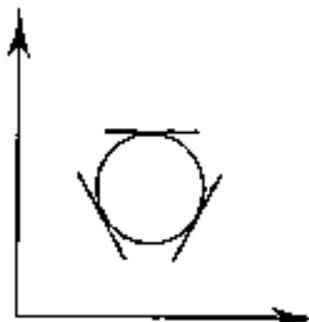
(b) Usando o centro e o raio



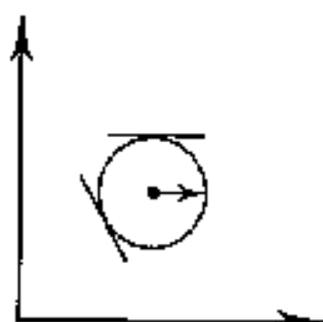
(c) Com o raio, um ponto sobre a circunferência e uma linha na qual o centro deve estar



(d) Com o centro e um ponto na circunferência



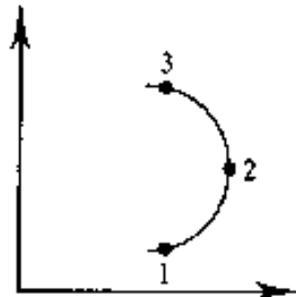
(e) Tangente a 3 linhas retas



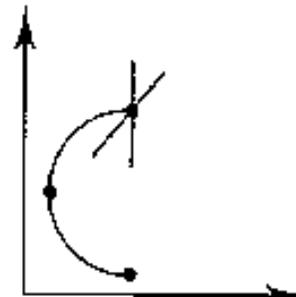
(f) Tangente a 2 linhas e fornecendo-se o raio

Construção de círculos

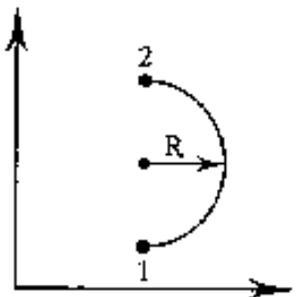
CONSTRUÇÃO DE ELEMENTOS GEOMÉTRICOS NO CAD



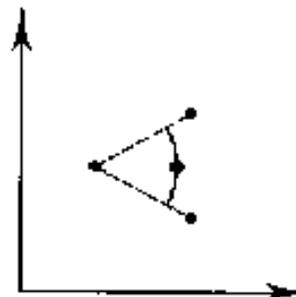
(a) Com 3 pontos definidos em seqüência



(b) Com 2 pontos e a interseção de 2 linhas como o ponto final



(c) Com um raio, pontos iniciais e finais dados em seqüência com a direção



(d) Raio com o centro na interseção entre duas linhas e um ponto no arco que não pertence a nenhuma das linhas

*Construção de
arcos de
círculo*

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

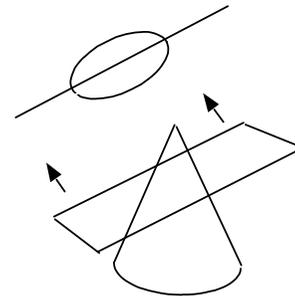
- Cônicas:
 - Parábolas, hipérbolas e elipses → podem ser construídas especificando-se 5 pontos, ou por duas linhas ortogonais e o ponto de interseção das linhas.

Representa uma seção de uma curva cônica

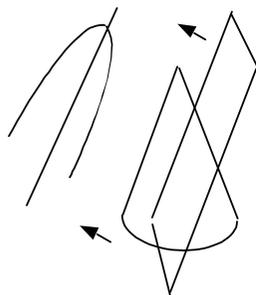
Elipse $\frac{x^2}{a^2} + \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$

Parábola $y^2 - 4ax = 0$

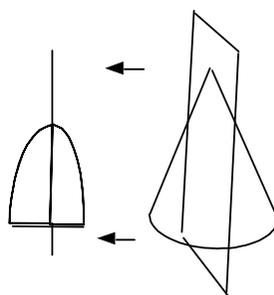
Hipérbole $\frac{x^2}{a^2} - \frac{y^2}{b^2} - 1 = 0$



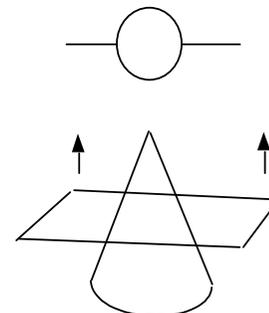
Elipse



Parábola



Hipérbole



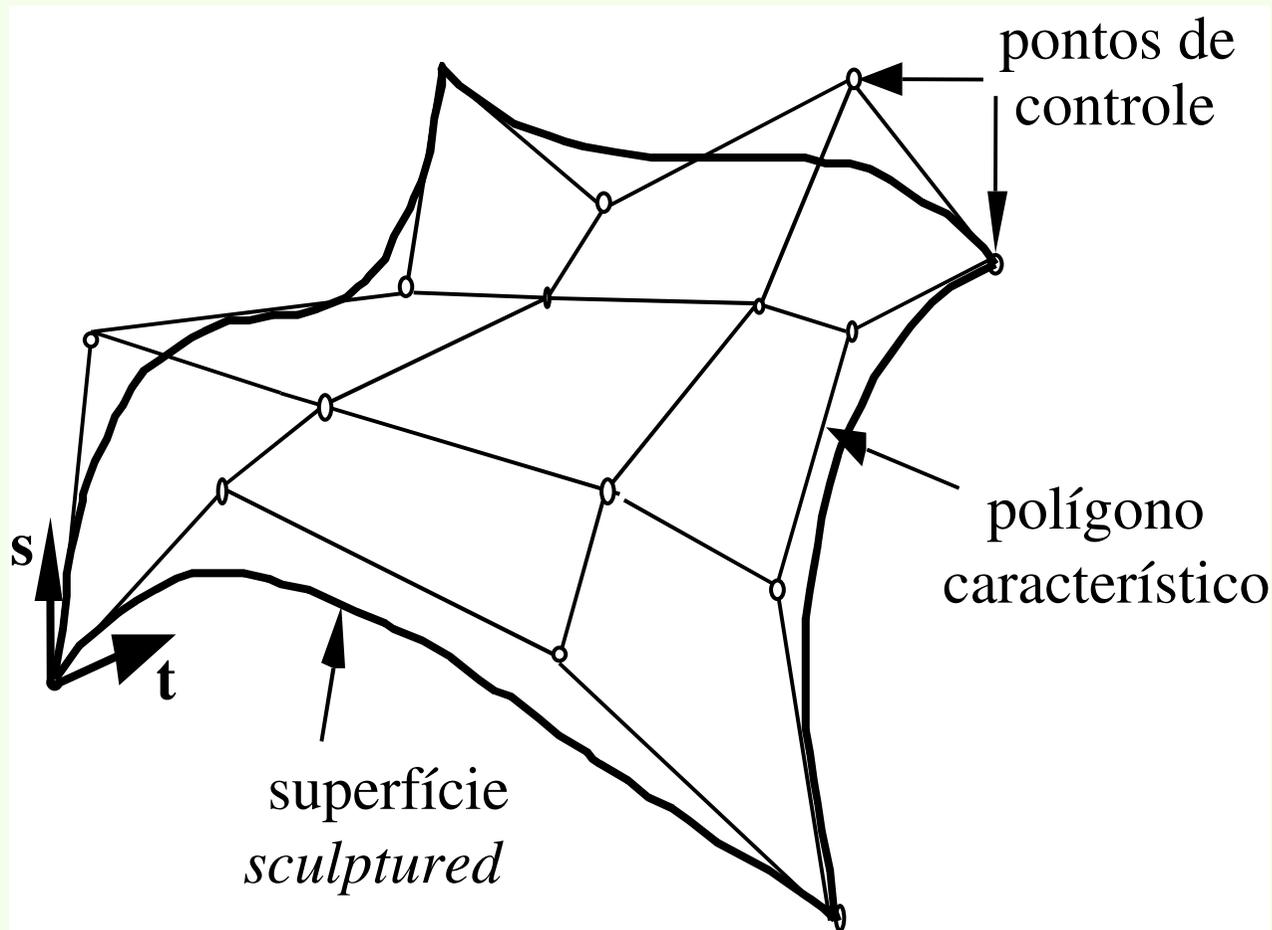
Círculo

*Exemplos de cônicas
(parábola, hipérbole, elipse
e círculo)*

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

- Curvas e superfícies:
 - Podem ser descritas pelas expressões matemáticas que interpolam pontos dados (p.ex. curvas de Bézier e B-splines)
- Superfícies geradas através de expressões matemáticas podem ser compostas por várias curvas e superfícies (p.ex. casco de navio, carroceria de carro).
 - Ex.: girando-se uma linha ou curva em torno de um eixo → superfície de revolução.

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

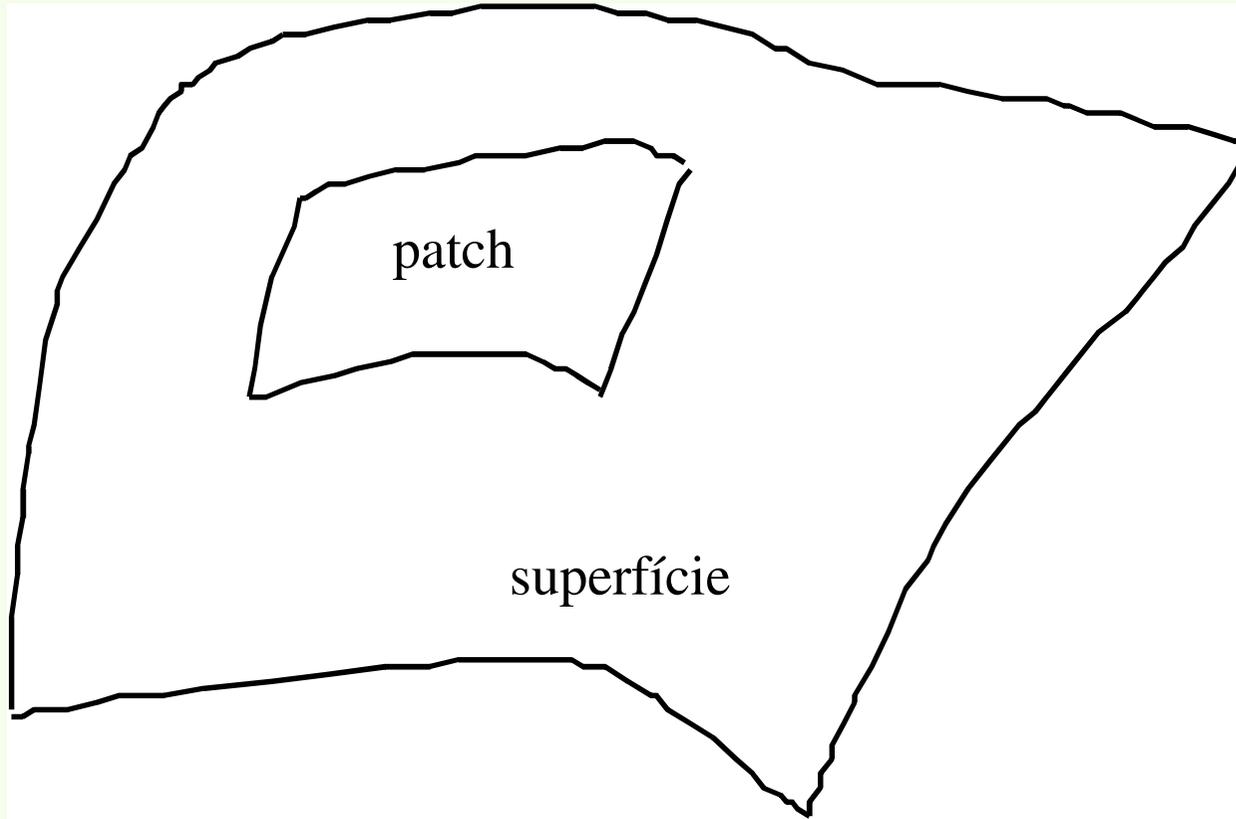


*Uma superfície
sculptured de
Bézier*

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

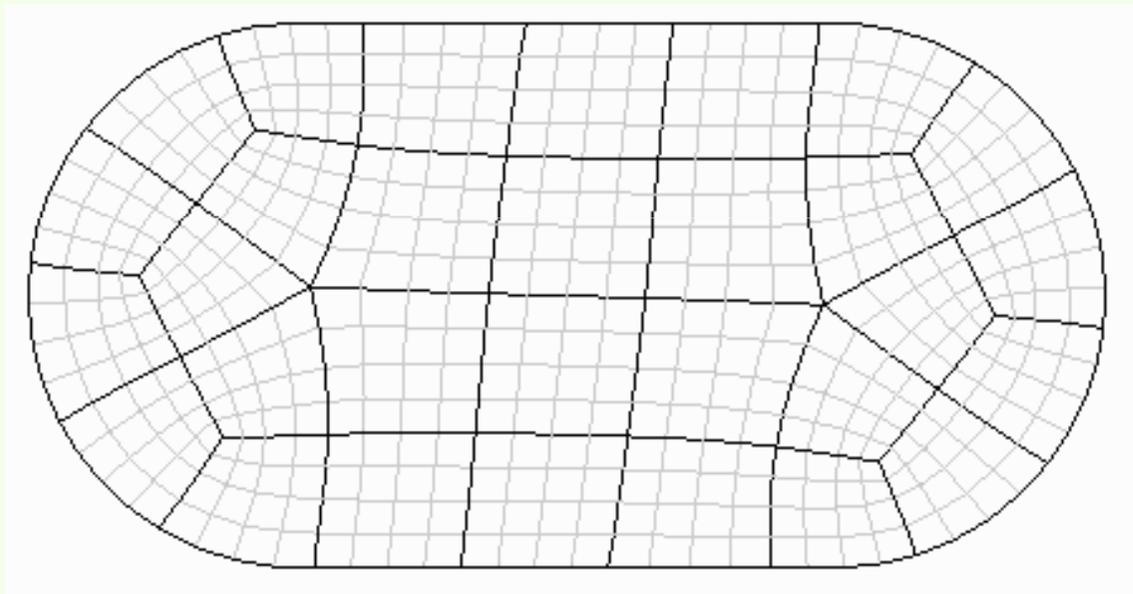
- Outra abordagem → uso da linha de interseção entre duas superfícies → funções “blending” → “patch” (remendo) → um objeto muitas vezes requer vários desses “patches” para ser modelado.
- O que é obtido é normalmente uma montagem de “patches” → quanto menor o grau do polinômio dos “patches” usados, mais “patches” serão necessários.

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



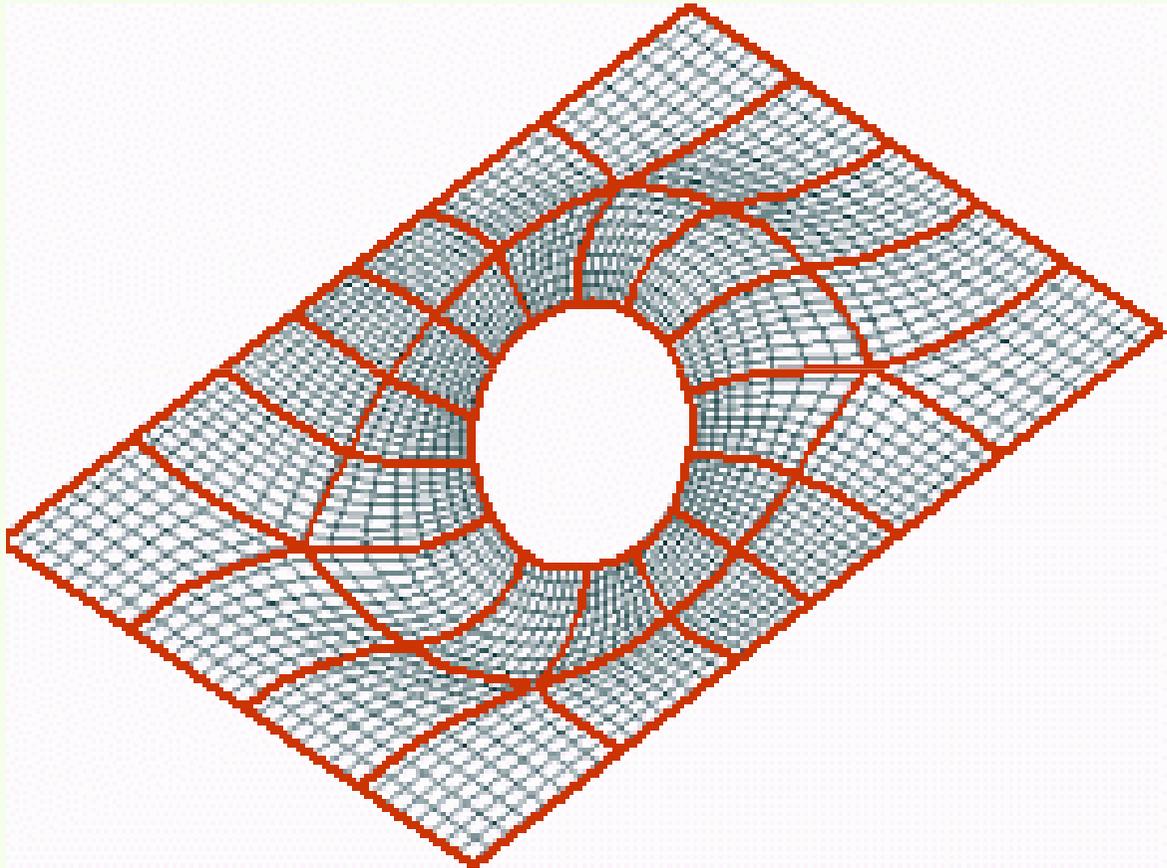
Um patch

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



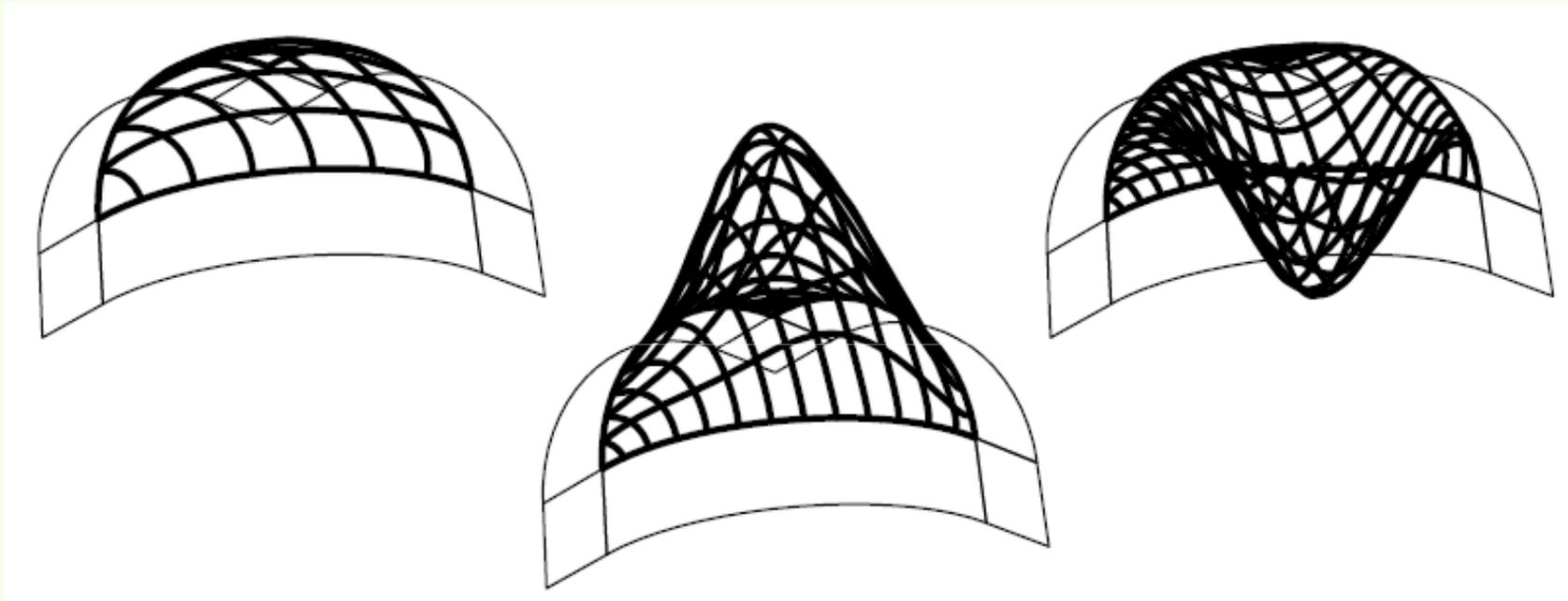
*Superfícies
compostas por
vários patches*

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



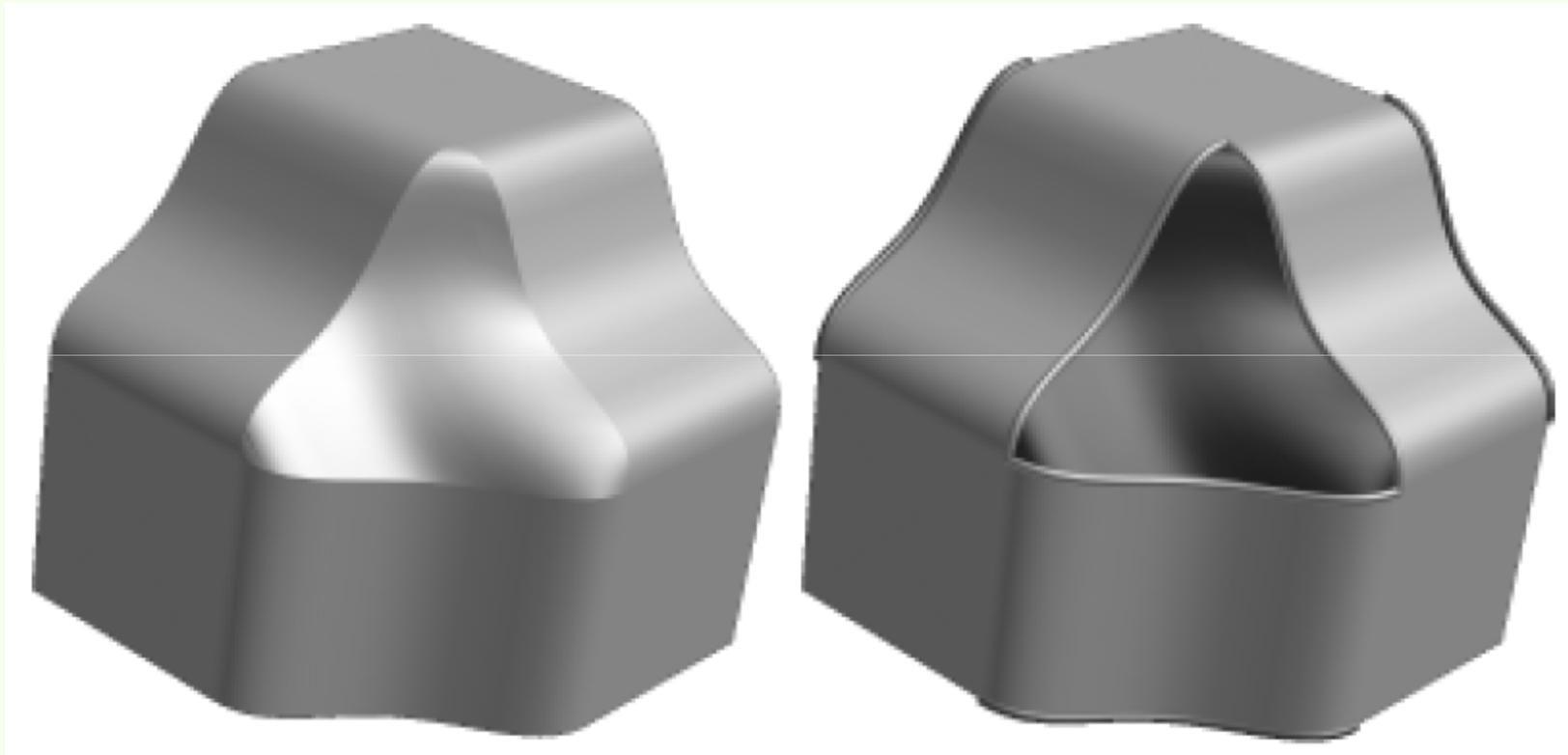
*Superfícies
compostas por
vários patches*

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



Continuidade da superfície ao longo do contorno

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

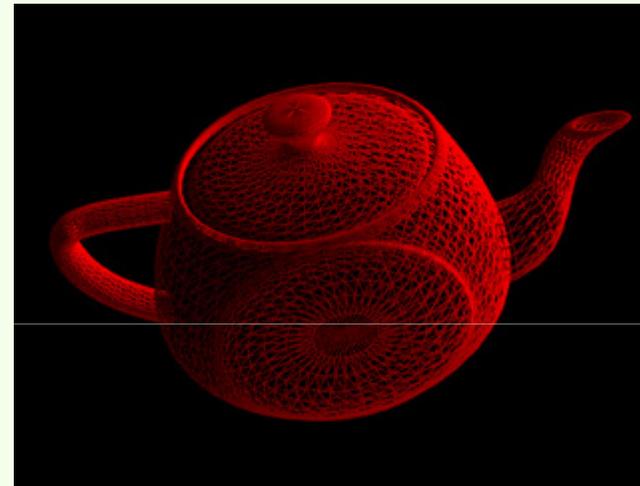


Continuidade da superfície ao longo do contorno

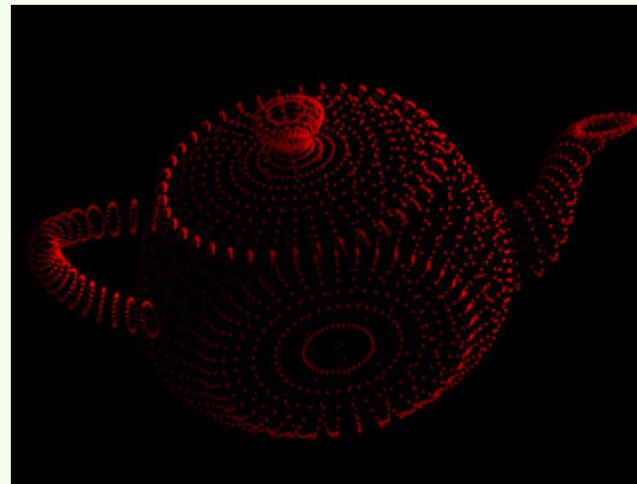
O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



*Chaleira
representada por
superfícies de
Bézier (com
sombreamento)*

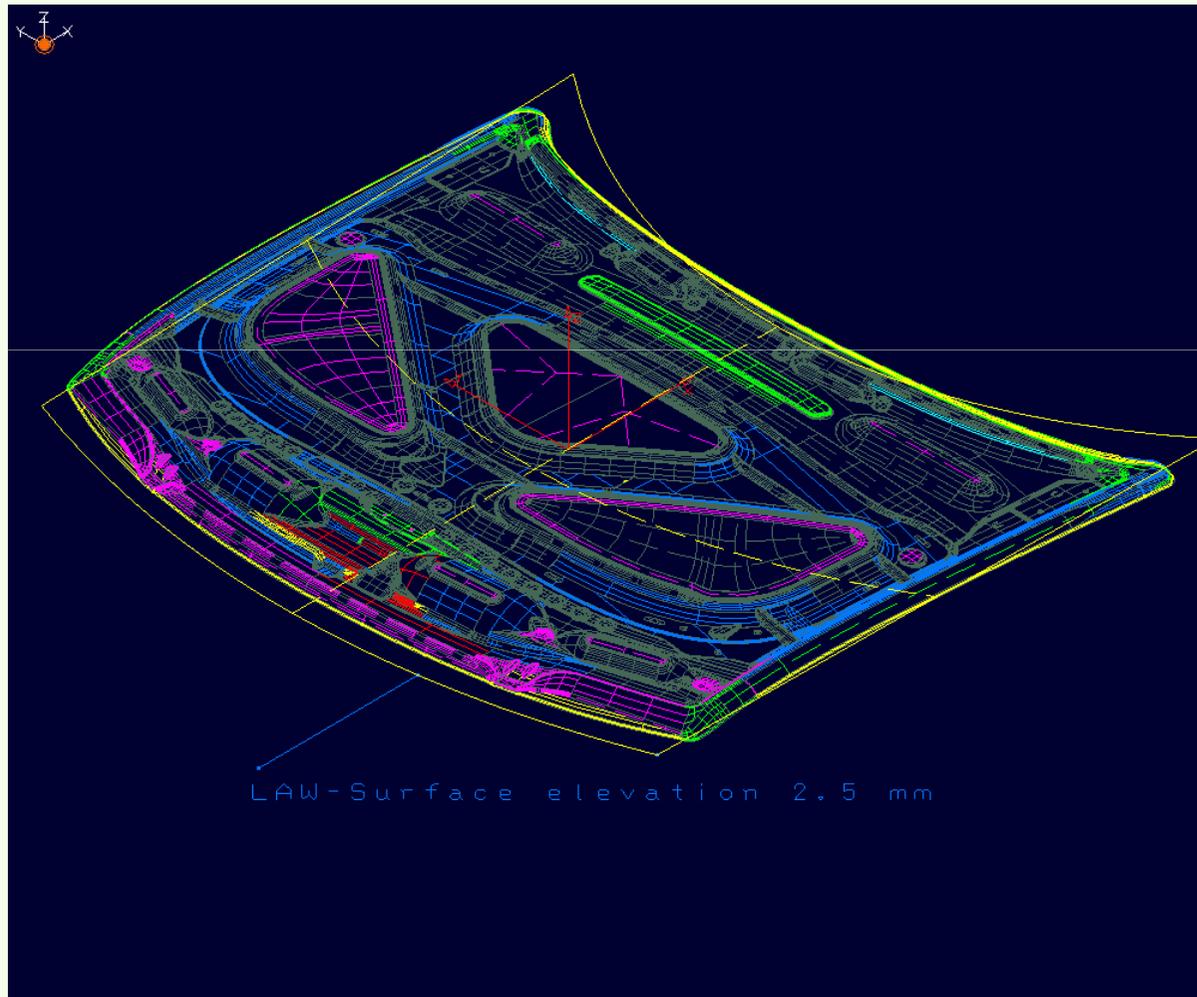


wireframe



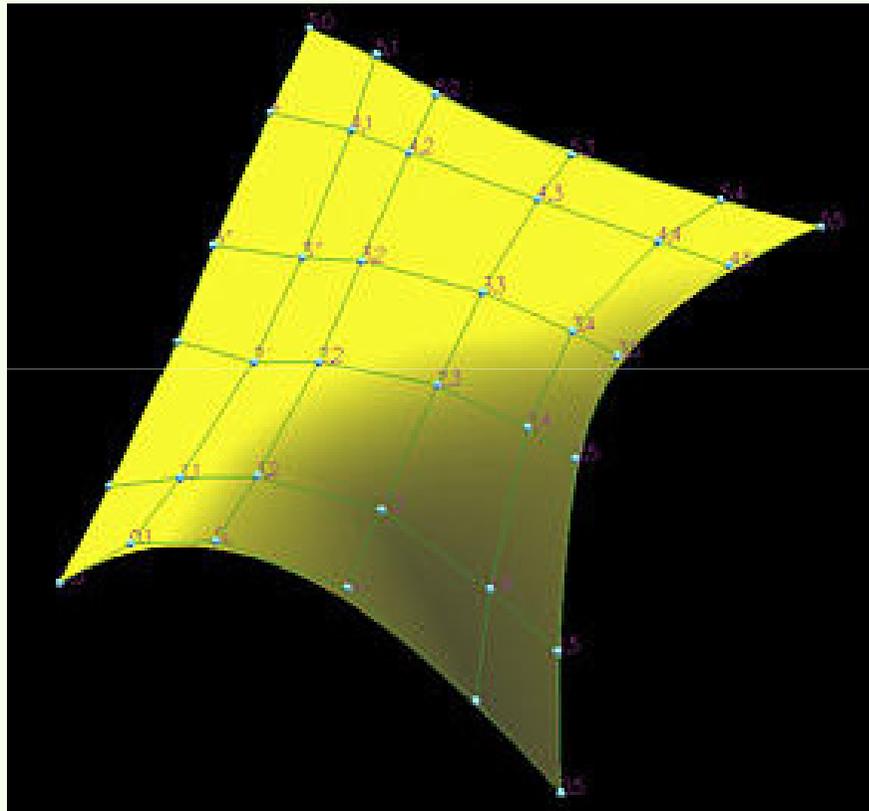
*Somente
vértices*

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



*Superfícies de
Bézier com
patches*

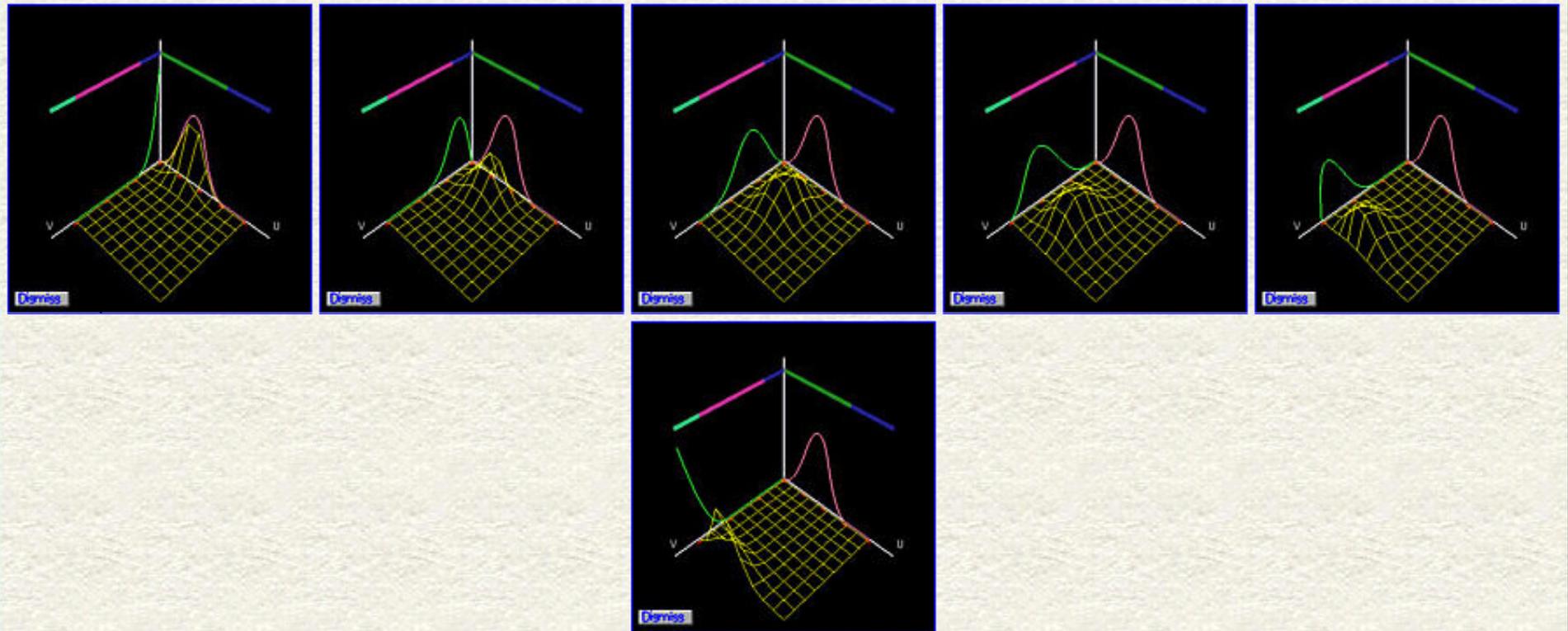
O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



Superfície B-Spline

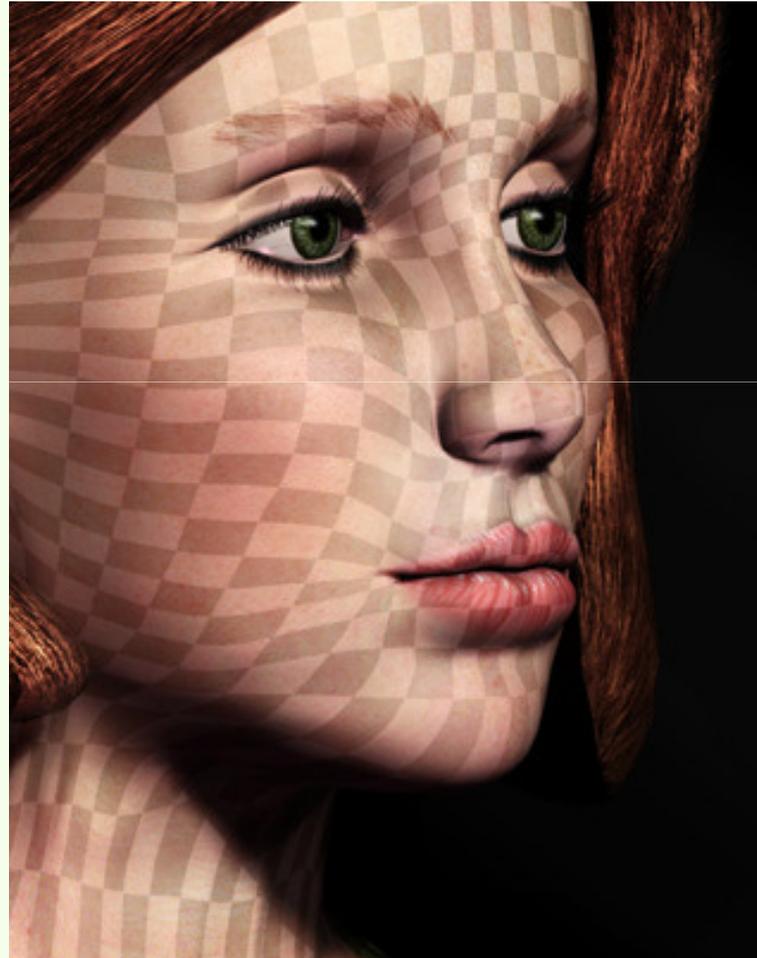
$$\mathbf{p}(u, v) = \sum_{i=0}^m \sum_{j=0}^n N_{i,p}(u) N_{j,q}(v) \mathbf{p}_{i,j}$$

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



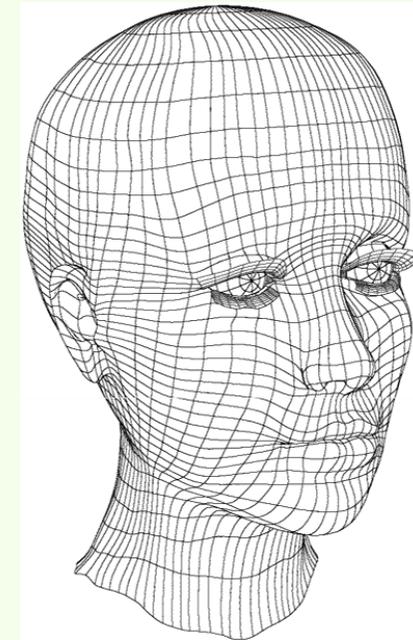
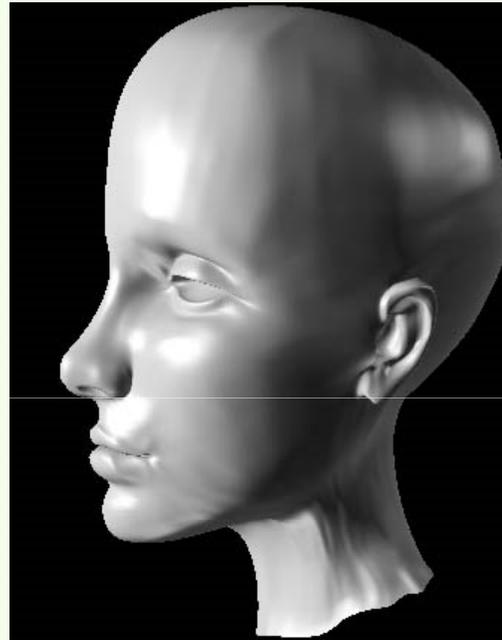
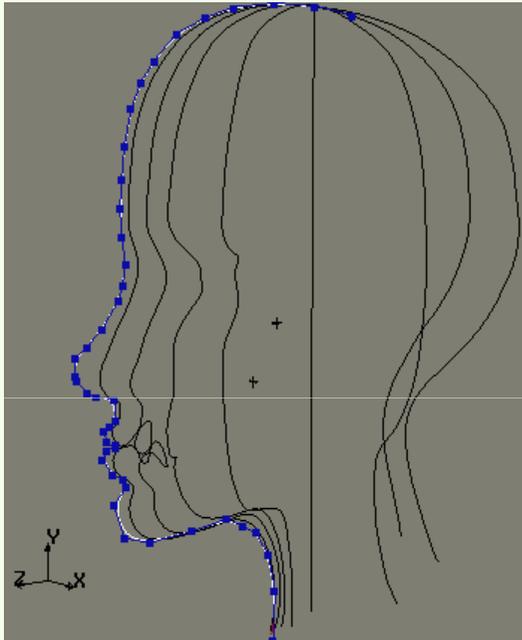
Superfície B-Spline

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO

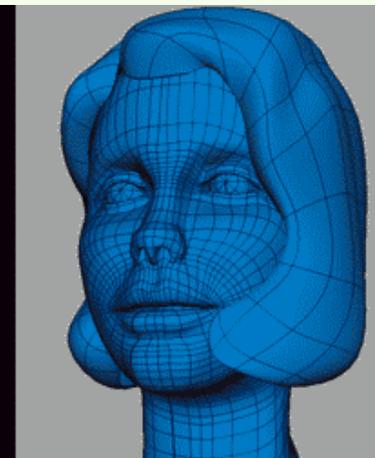
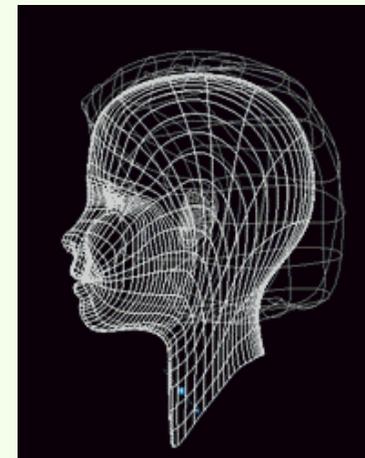


Modelagem por NURBS (em 1996)

O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



*Etapas da
modelagem
por NURBS*



O PAPEL DO COMPUTADOR NO PROJETO



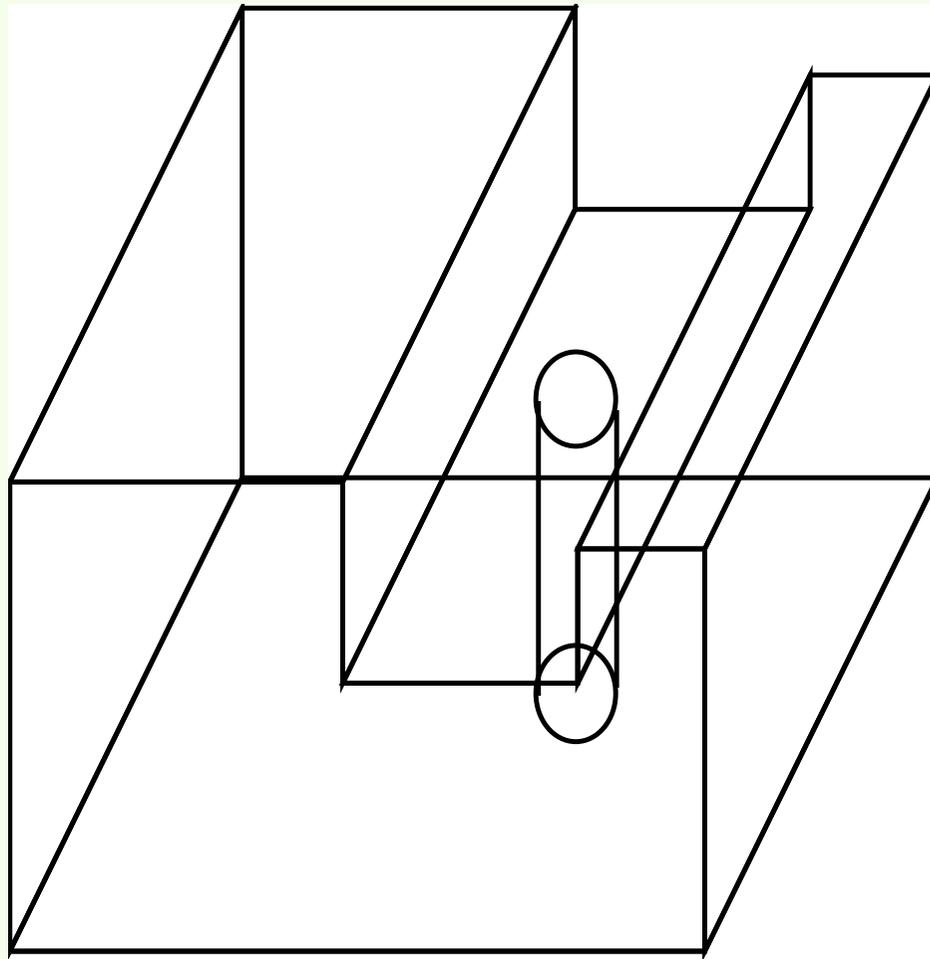
Modelagem por NURBS



Modelagem por NURBS

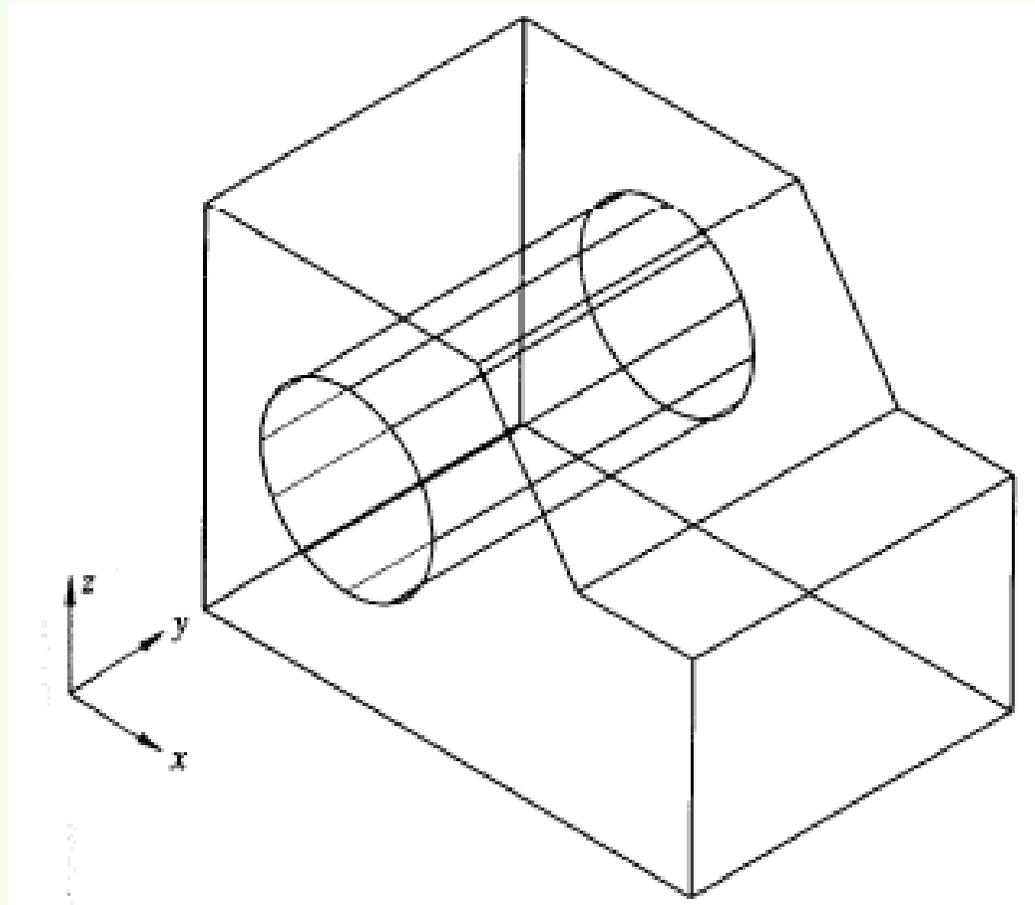
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **WIREFRAME (ARAME):**



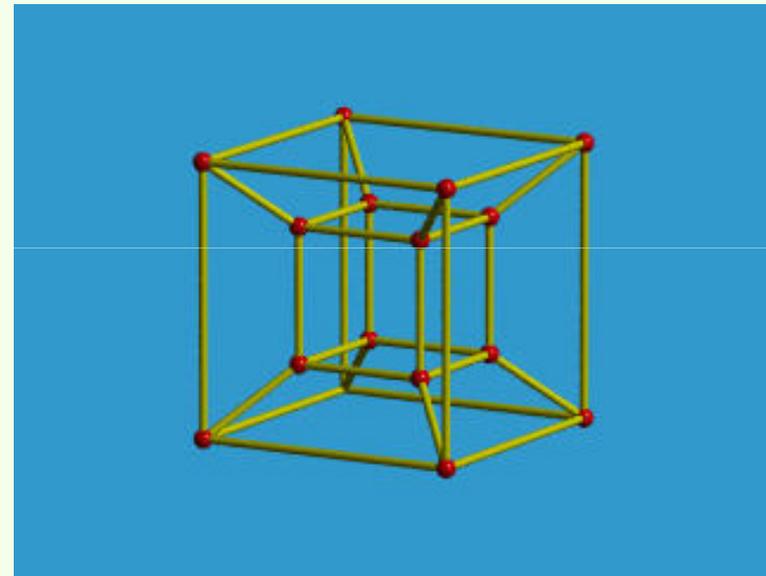
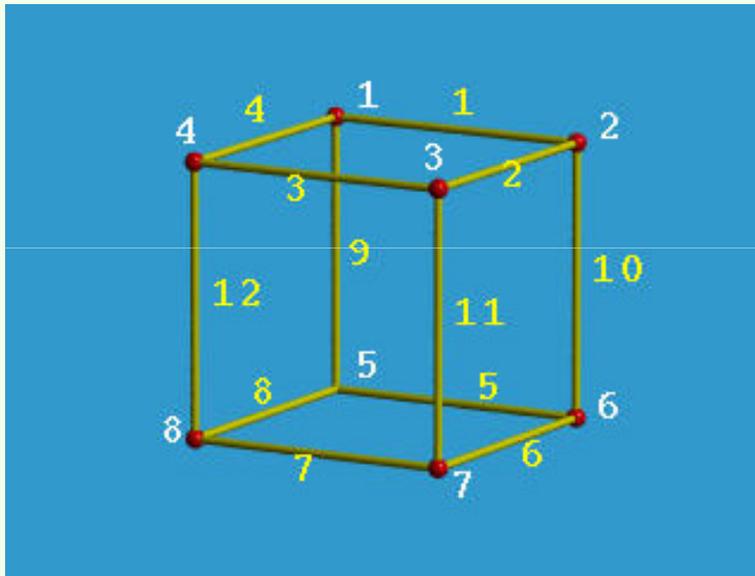
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- WIREFRAME (ARAME):



MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- WIREFRAME (ARAME):



MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **WIREFRAME (ARAME):**



MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- WIREFRAME (ARAME):

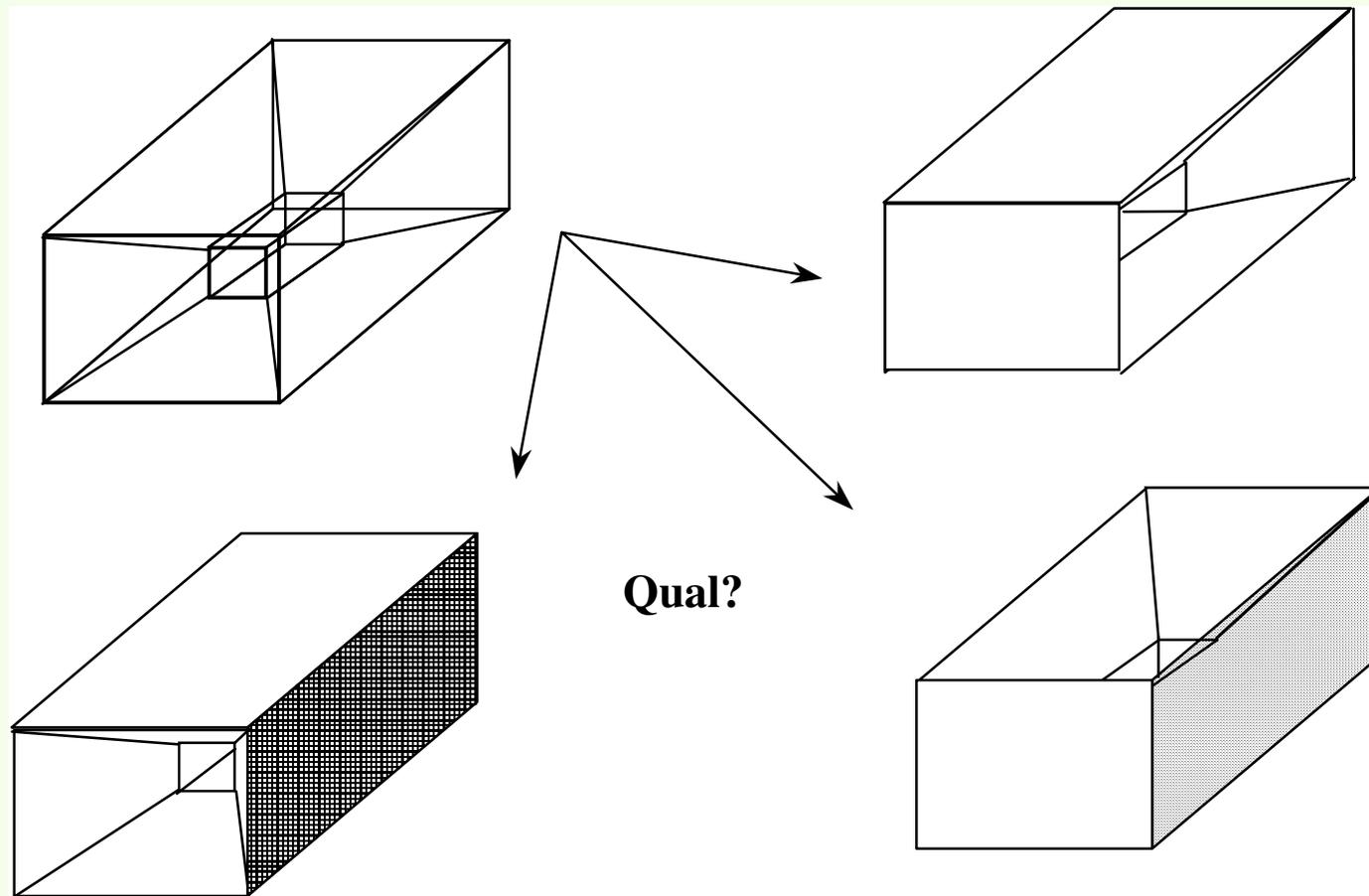


Ilustração da ambigüidade da representação wireframe

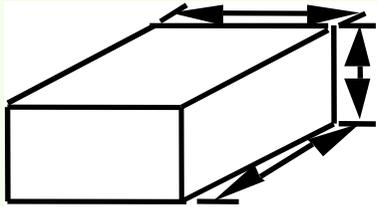
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Base de dados do sistema CAD → contém elementos gráficos básicos tais como pontos, linhas e curvas + elementos que definem a geometria e topologia do objeto, resultando na sua forma.
- Topologia → rede na qual os elementos geométricos são interconectados.
- Geometria → mostra os itens que auxiliam a completar a descrição da forma, como as dimensões.

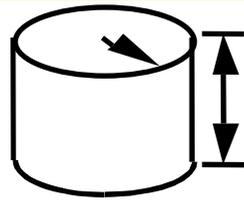
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **Representação CSG (“Constructive Solid Geometry”)**
 - árvore binária (ver figura).
 - nós não-terminais → operadores → podem ser:
 - movimentos rígidos;
 - operações booleanas (união, interseção e diferença).
 - nós terminais podem ser primitivas (sólidos) ou movimentos rígidos.

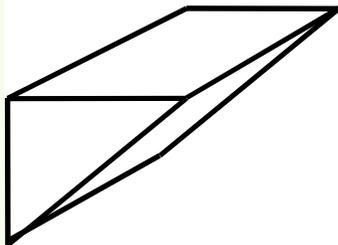
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



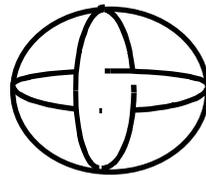
Bloco



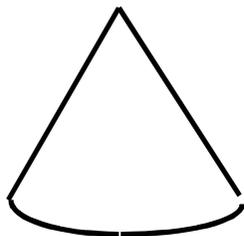
Cilindro



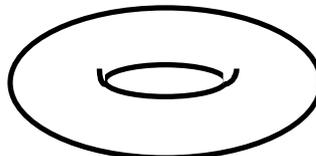
Cunha



Esfera



Cone



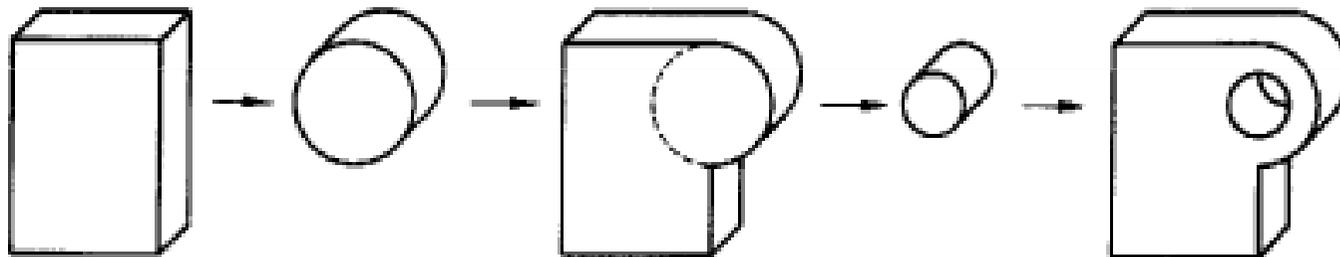
Torus

*Primitivas
disponíveis em
modeladores CSG*

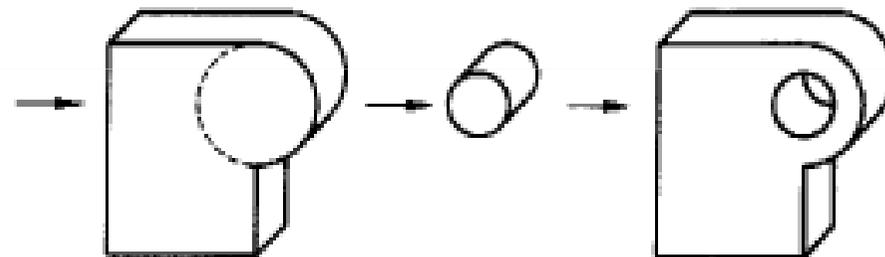
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



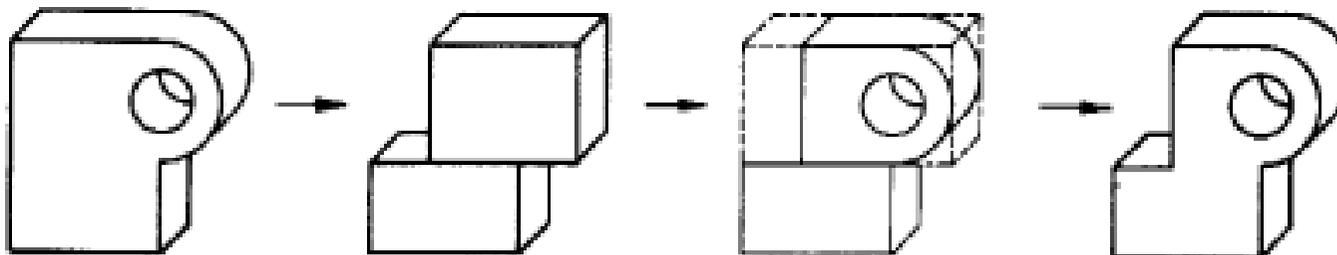
(a) Construction solids (primitives)



(b) Union



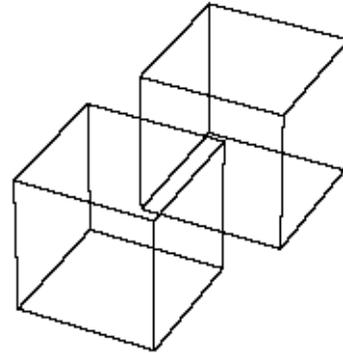
(c) Difference



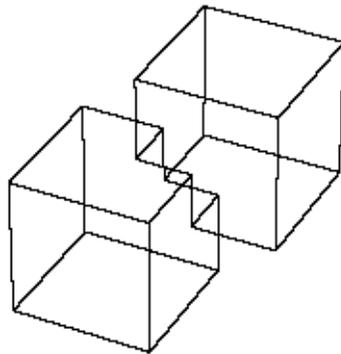
(d) Intersection

*Operações
Boleanas*

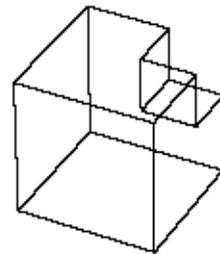
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



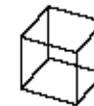
(a): Two blocks, A and B



(b): Unite, $A \cup B$



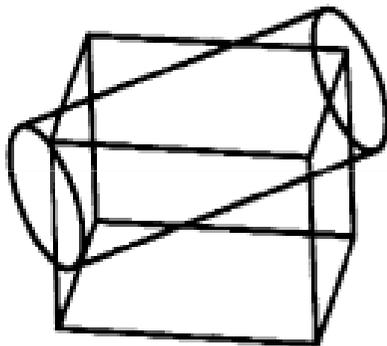
(c): Subtract, $A - B$



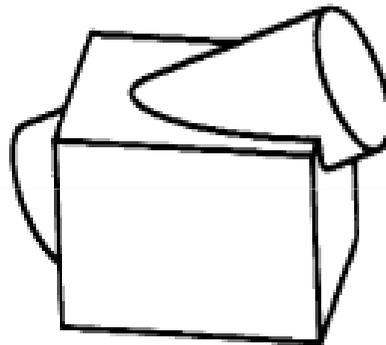
(d): Intersect, $A \cap B$

*Operações
Boleanas*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



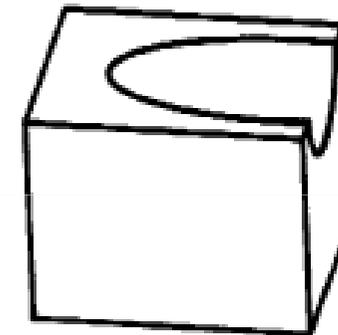
Primitives



Union



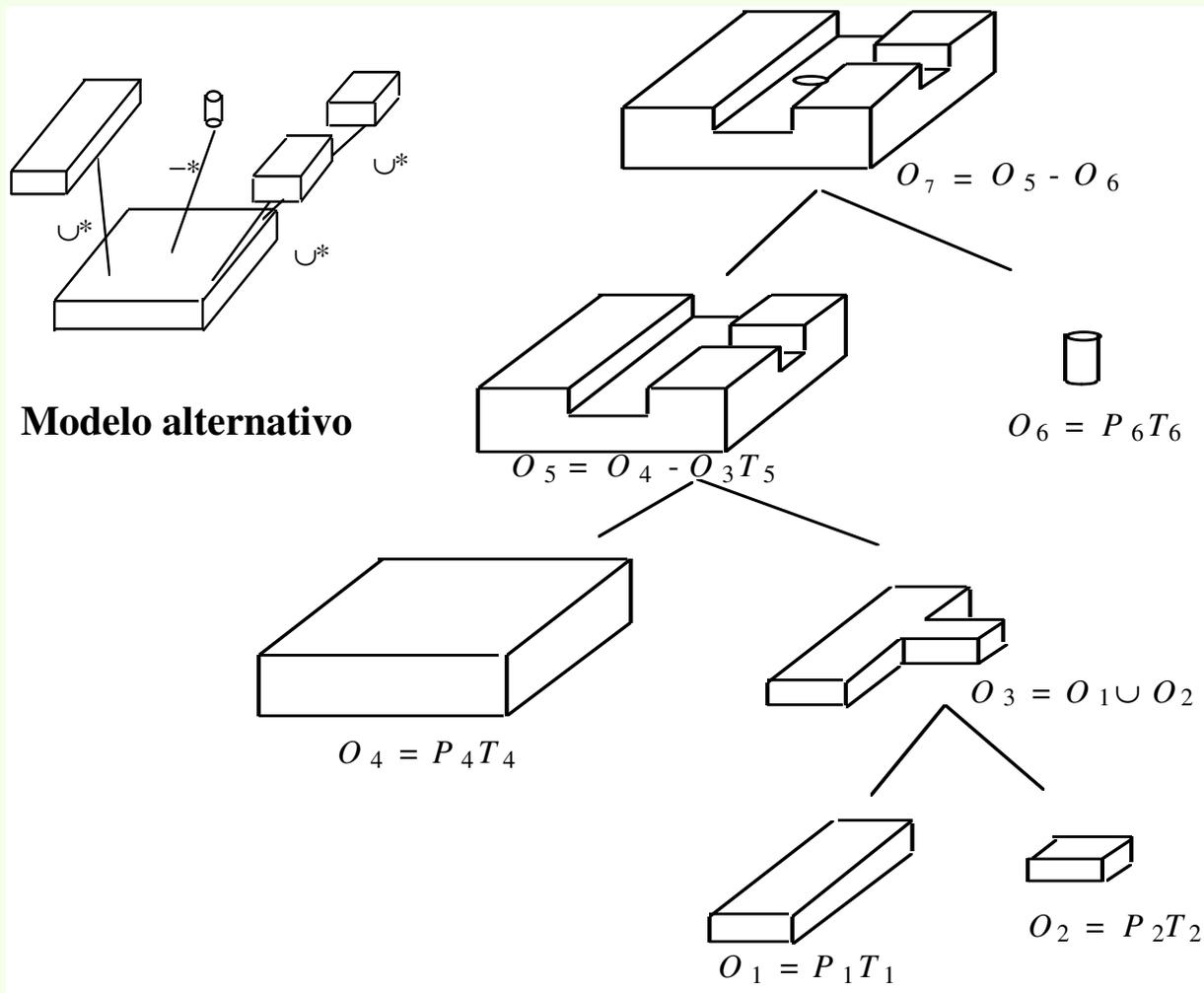
Intersection



Difference

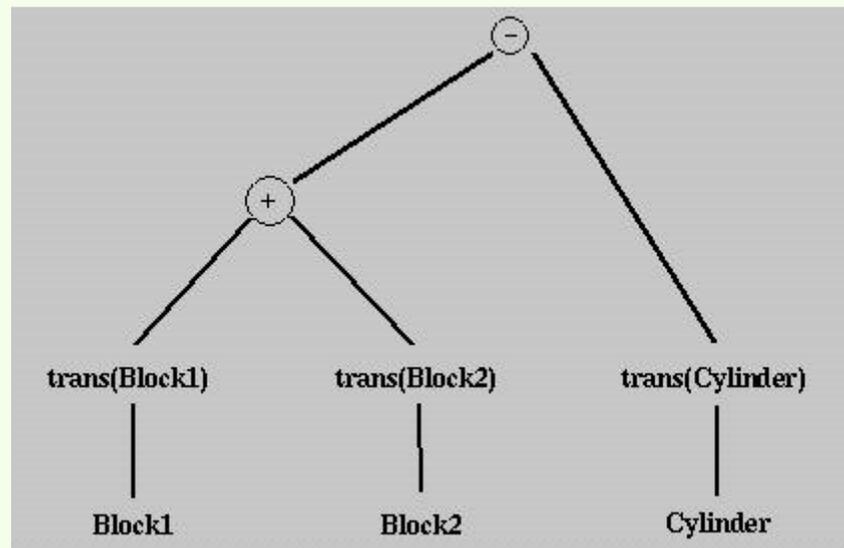
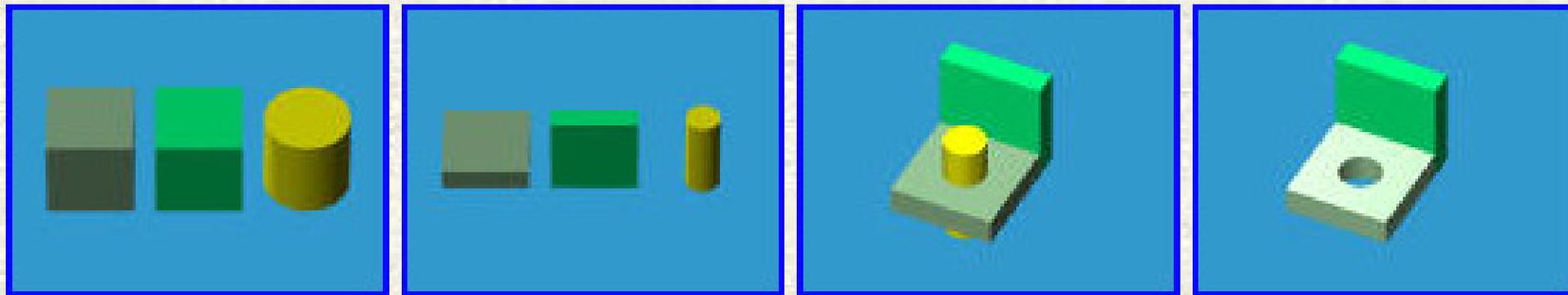
Operações Booleanas

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



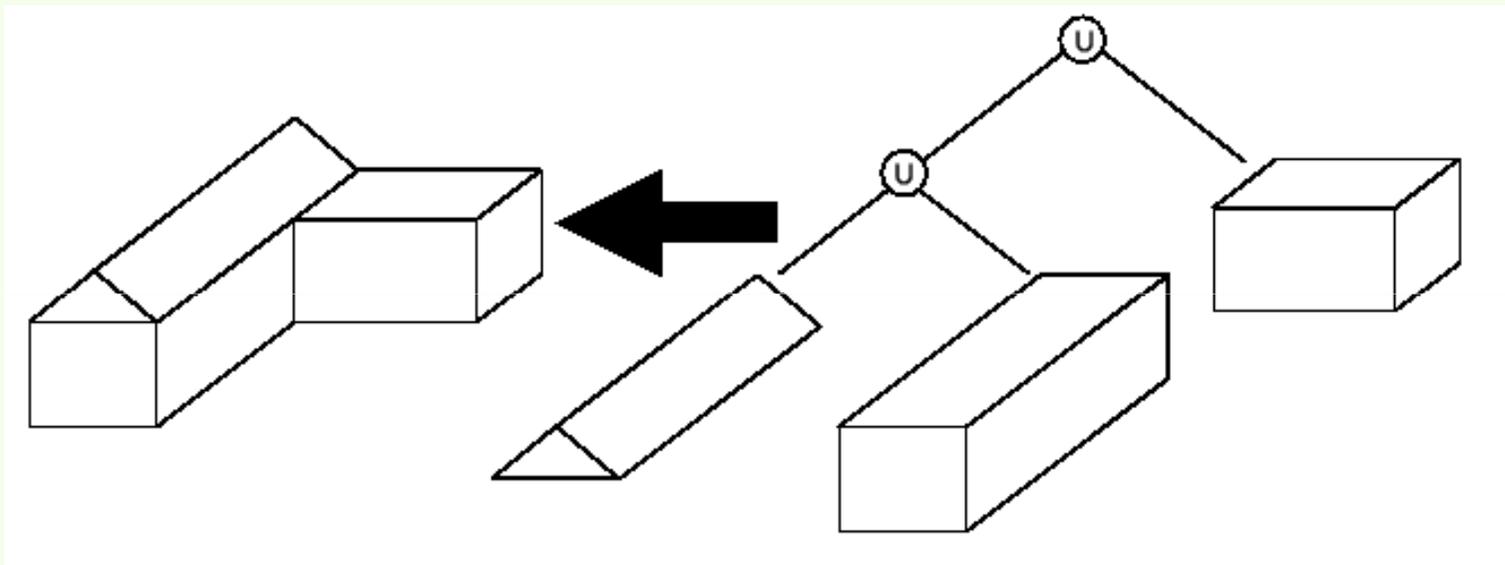
Outro exemplo de representação CSG, e um modelo alternativo

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



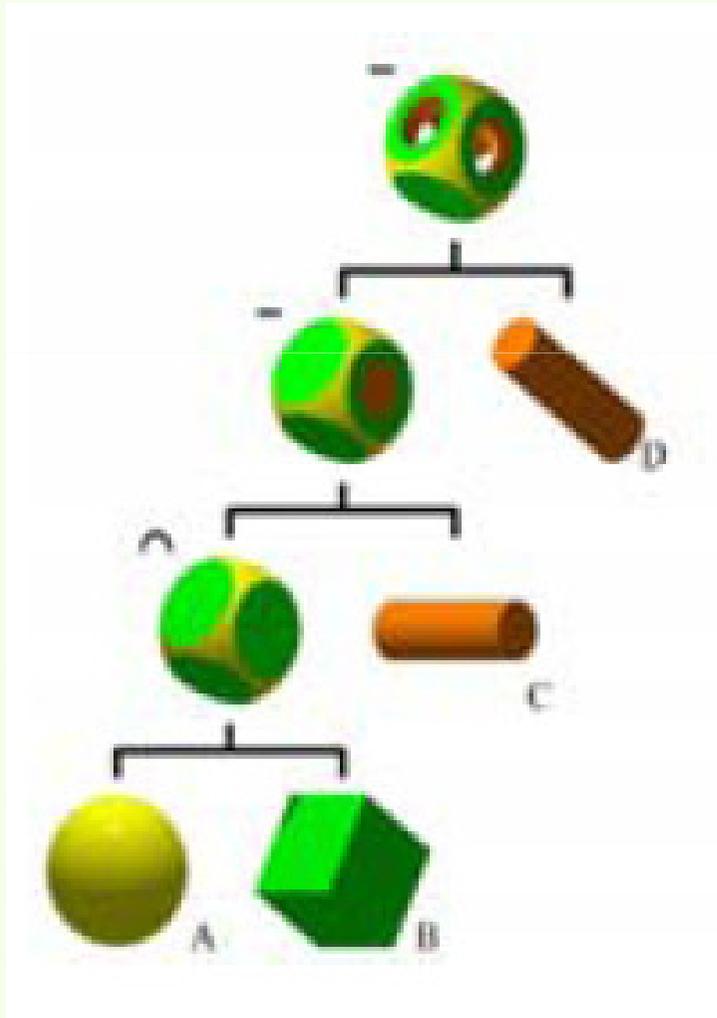
Outro exemplo de representação CSG

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Outro exemplo de representação CSG

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

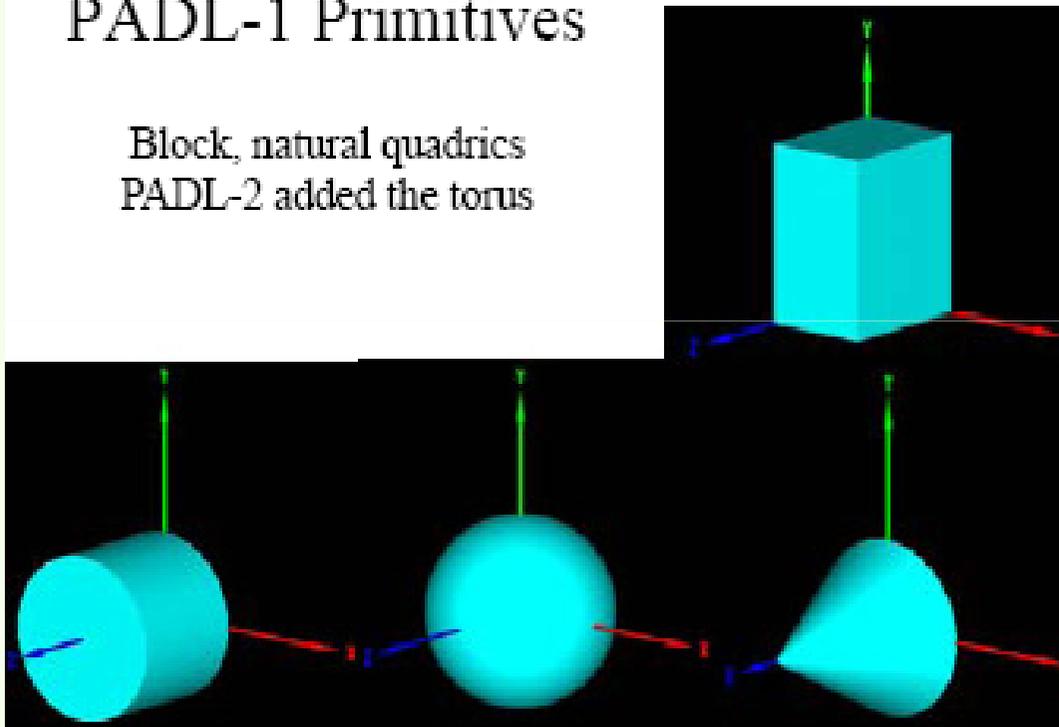


*Exemplo de aplicação
usando-se modelagem
CSG*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

PADL-1 Primitives

Block, natural quadrics
PADL-2 added the torus

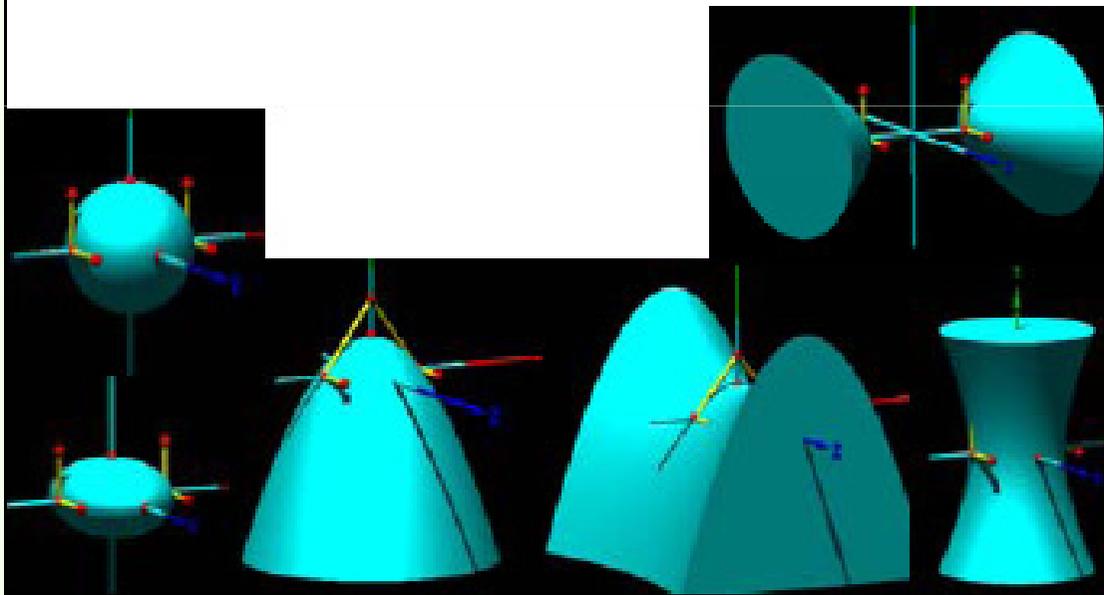


*Primitivas
disponíveis no
PADL-2*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Quadratic Surfaces – 1

- Nondegenerate quadrics.

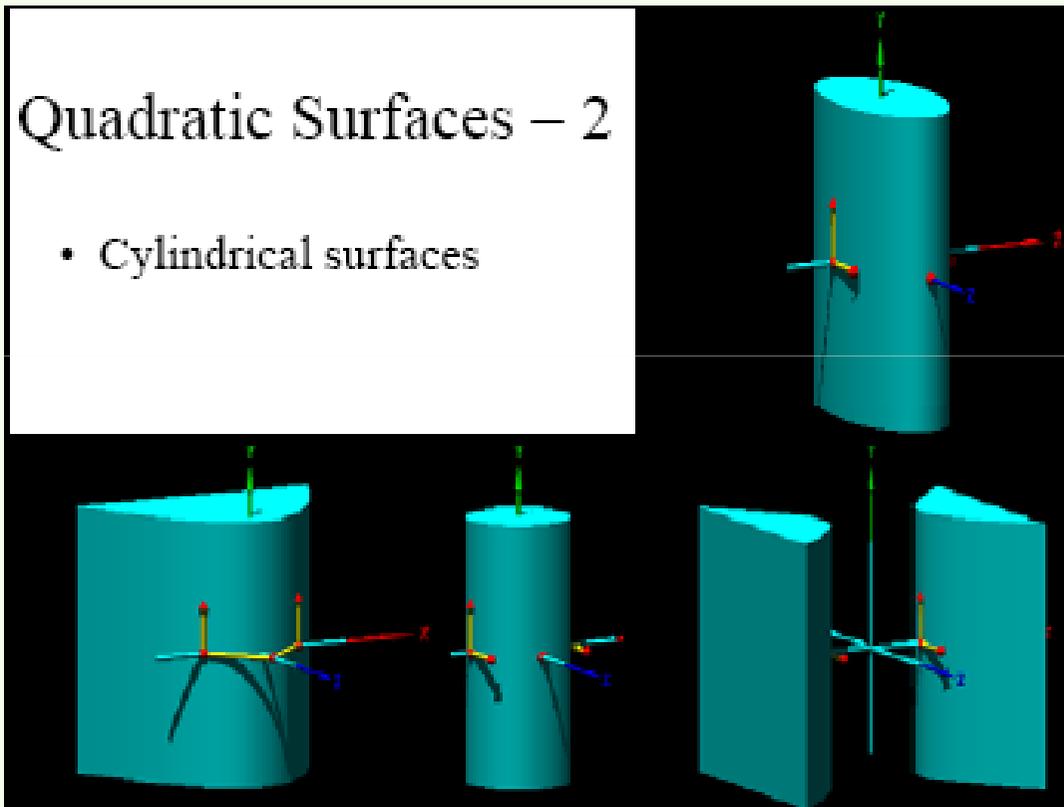


*Superfícies
disponíveis no
PADL-2*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

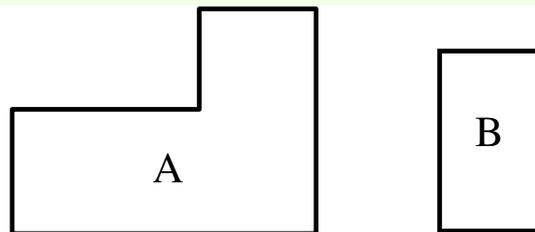
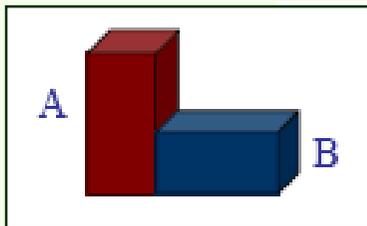
Quadratic Surfaces – 2

- Cylindrical surfaces



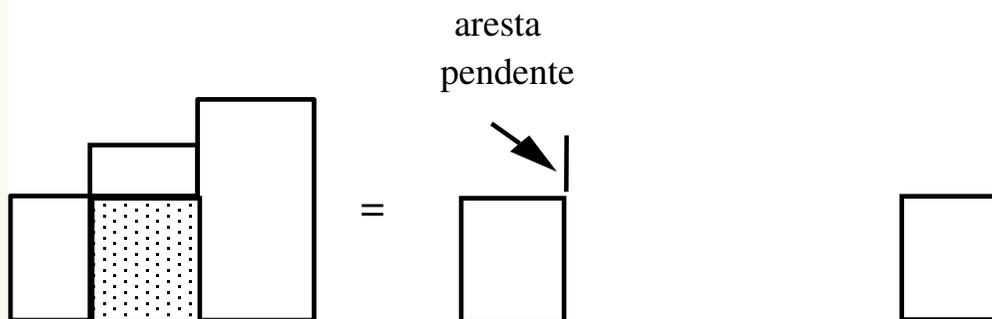
*Superfícies
disponíveis no
PADL-2*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



$$A \cap B$$

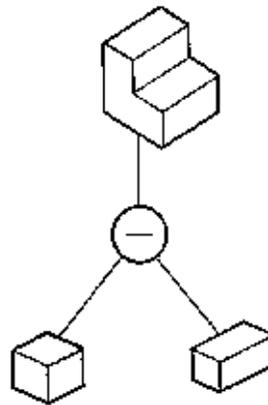
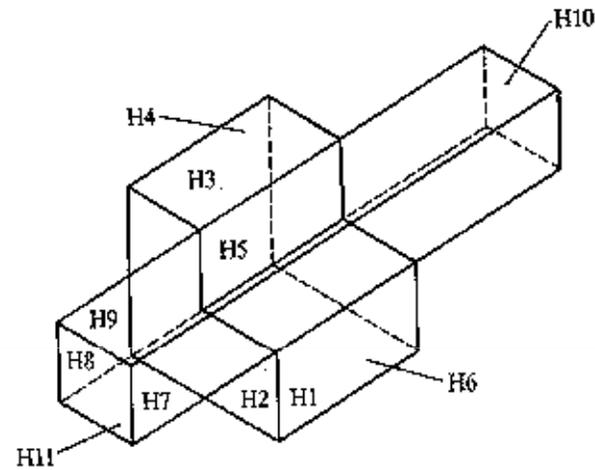
$$A \cap^* B$$



Nenhuma aresta
ou face pendente

Operações booleanas regularizadas

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Representação CSG

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

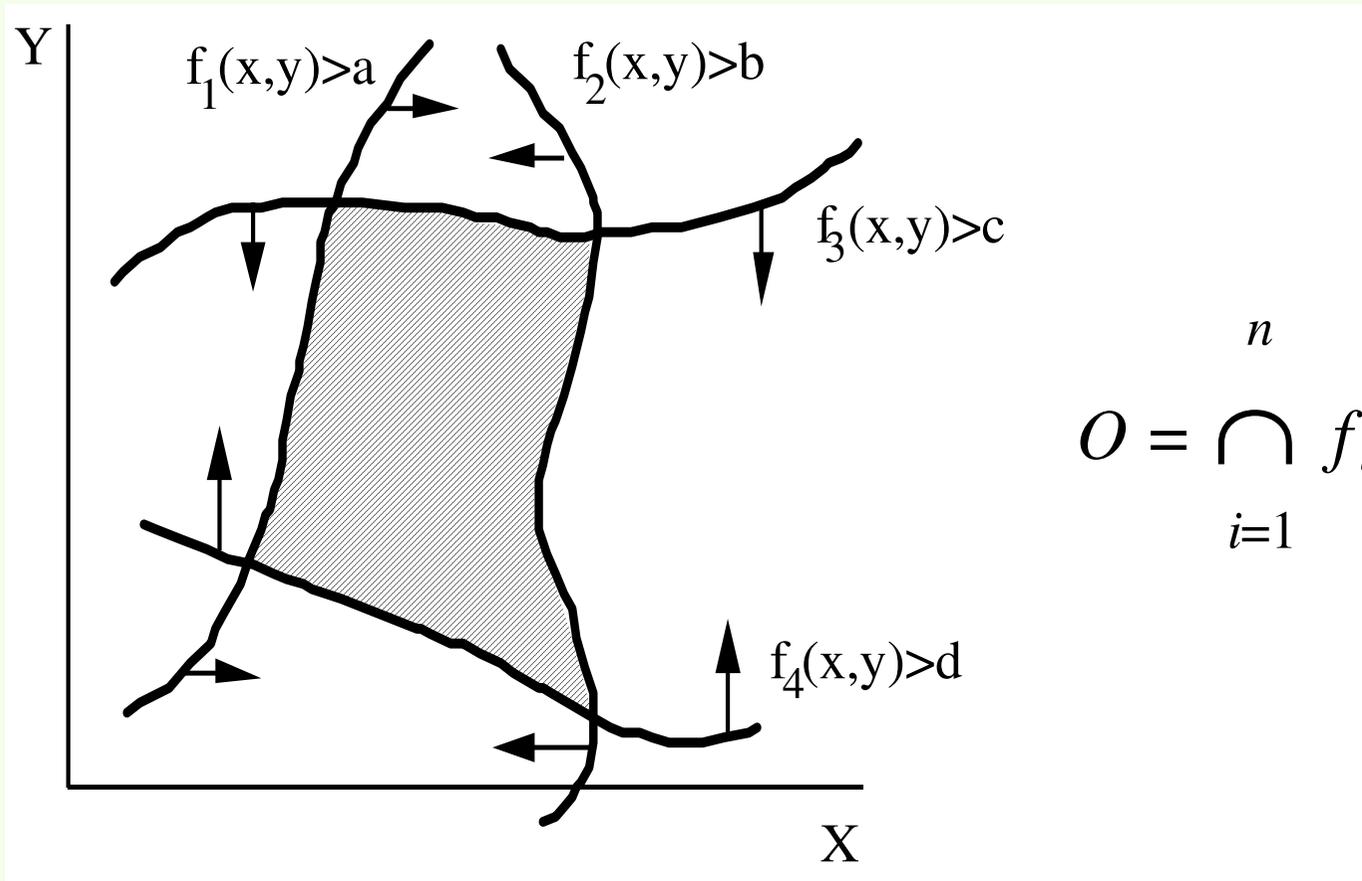
- CSG → representação explícita parcialmente geométrica com informações topológicas implícitas → por exemplo, o objeto sólido na figura pode ser representado em CSG como:

$$\text{bloco}(10,10,10) - \text{bloco}(5,20,5).$$

- Esta representação CSG → objeto sólido pode ser representado como uma expressão booleana como descrito abaixo:

$$(H_1 \cap H_2 \cap H_3 \cap H_4 \cap H_5 \cap H_6) \cap (H_7 \cup H_8 \cup H_9 \cup H_{10} \cup H_{11} \cup H_{12})$$

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Um conjunto de meio-espacos formando uma área

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

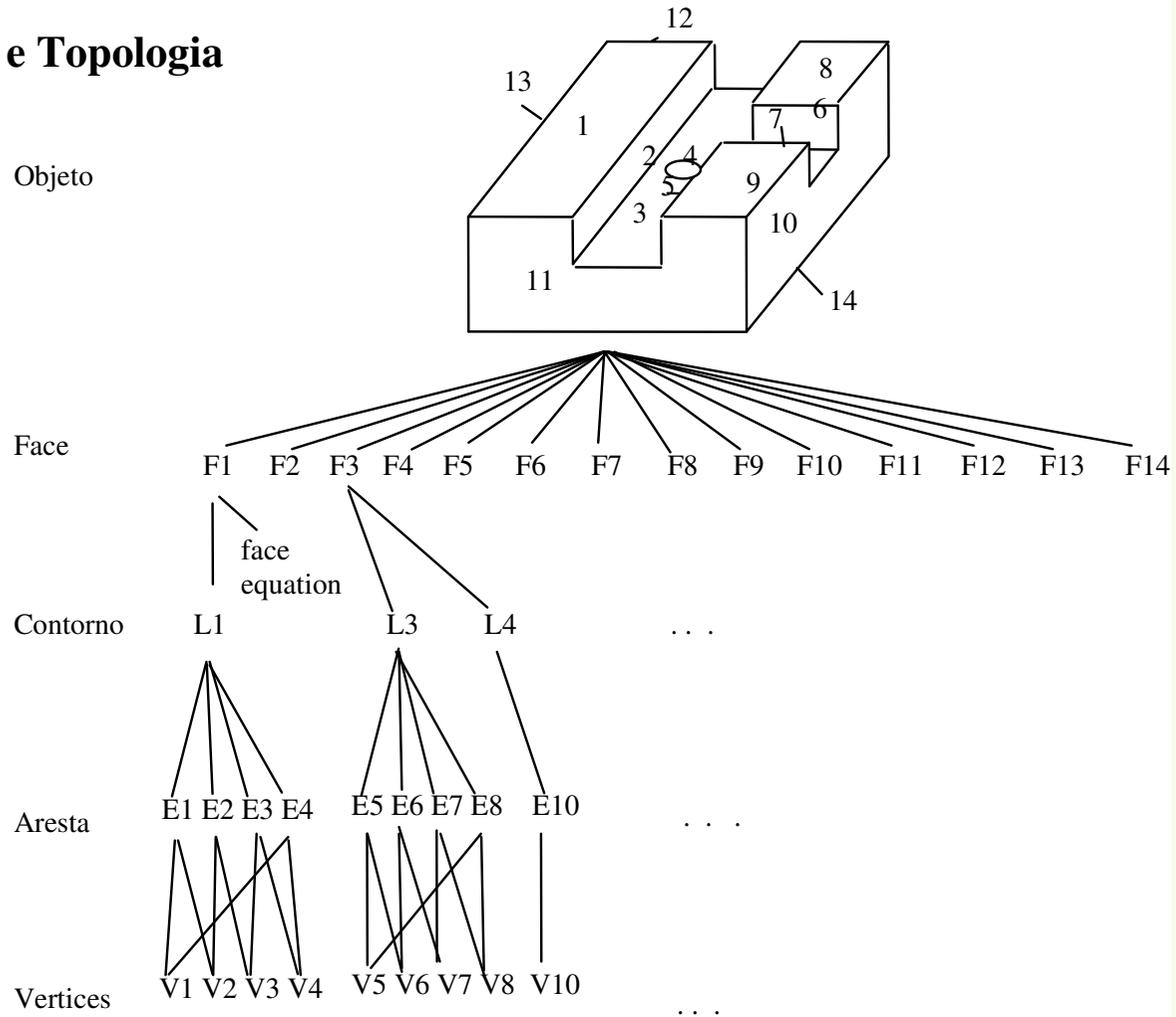
- Qualquer ponto no espaço do modelo para o qual esta expressão booleana é verdadeira pertence ao interior do objeto sólido.
- Vantagens da representação CSG:
 - concisa;
 - garante, automaticamente, que os objetos são válidos;
 - algoritmos para converter CSG em B-rep são conhecidos e confiáveis.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **Representação B-rep (“Boundary Representation”)**
 - Representa um sólido segmentando o seu contorno num número finito de subconjuntos interligados normalmente chamados faces (ou “patches”), e representando cada face por suas arestas (que compõem um contorno) e vértices.

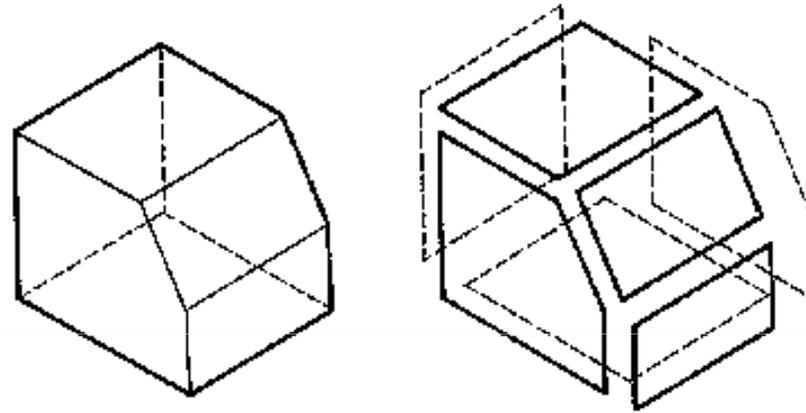
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Geometria e Topologia

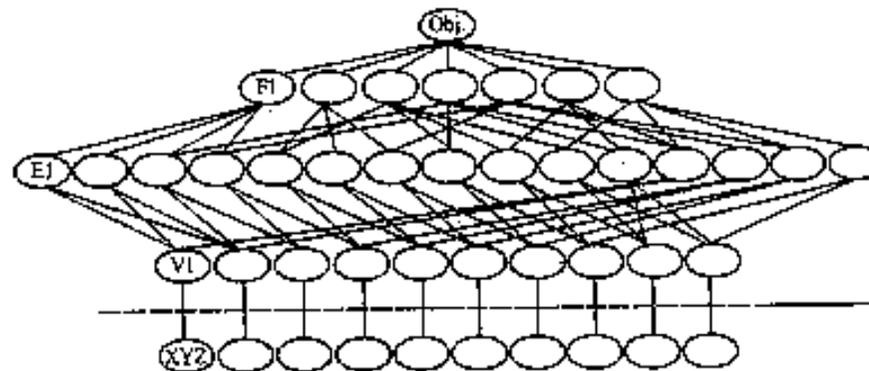


*Exemplo de
 representação
 B-rep*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

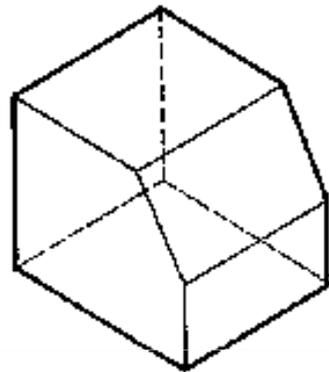


*Outro exemplo
de
representação
B-rep*

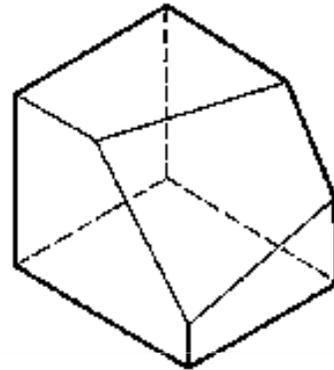


Grafo da representação B-rep

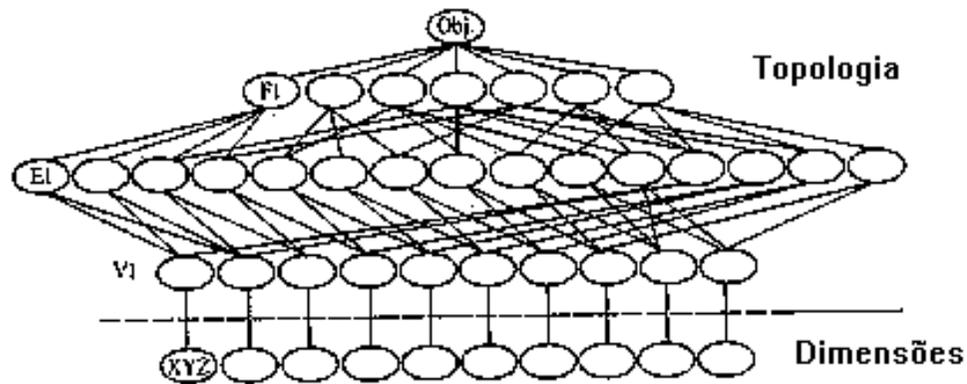
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Peça A



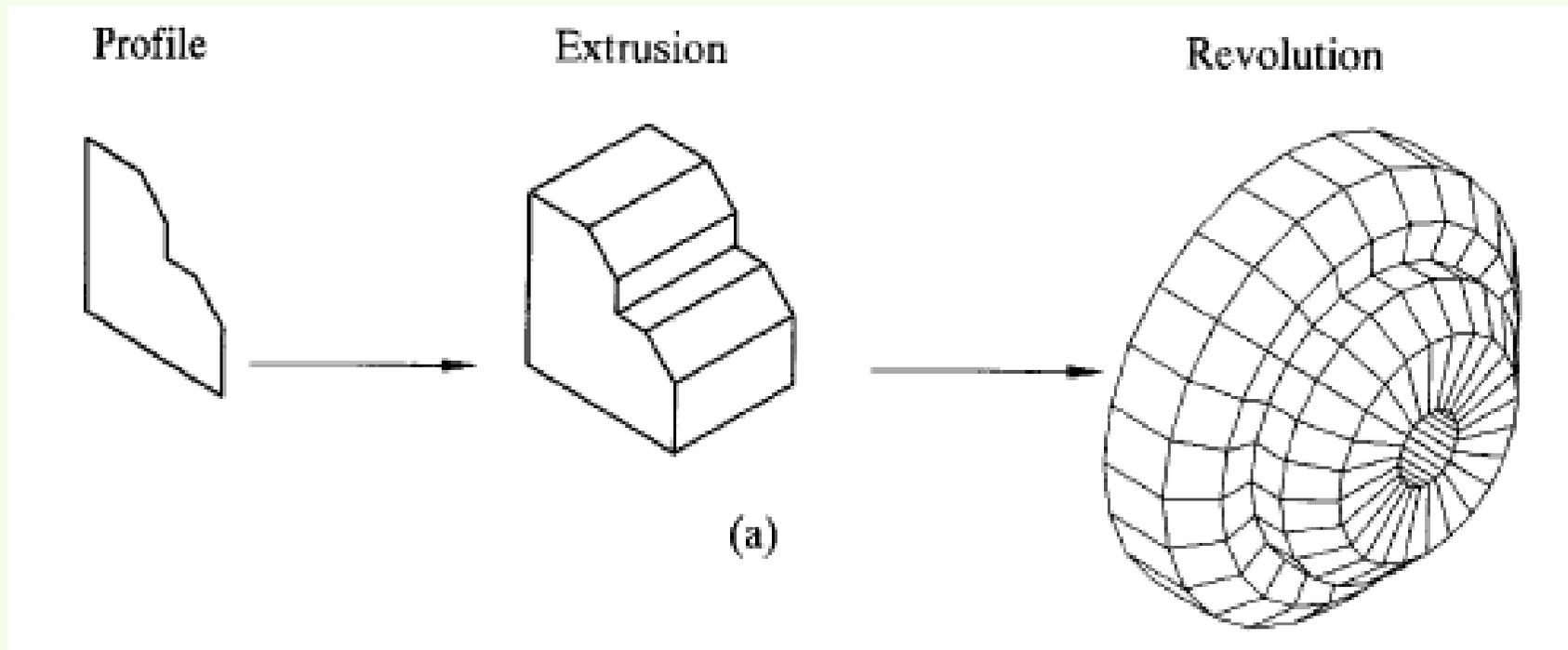
Peça B



Grafo da representação B-rep

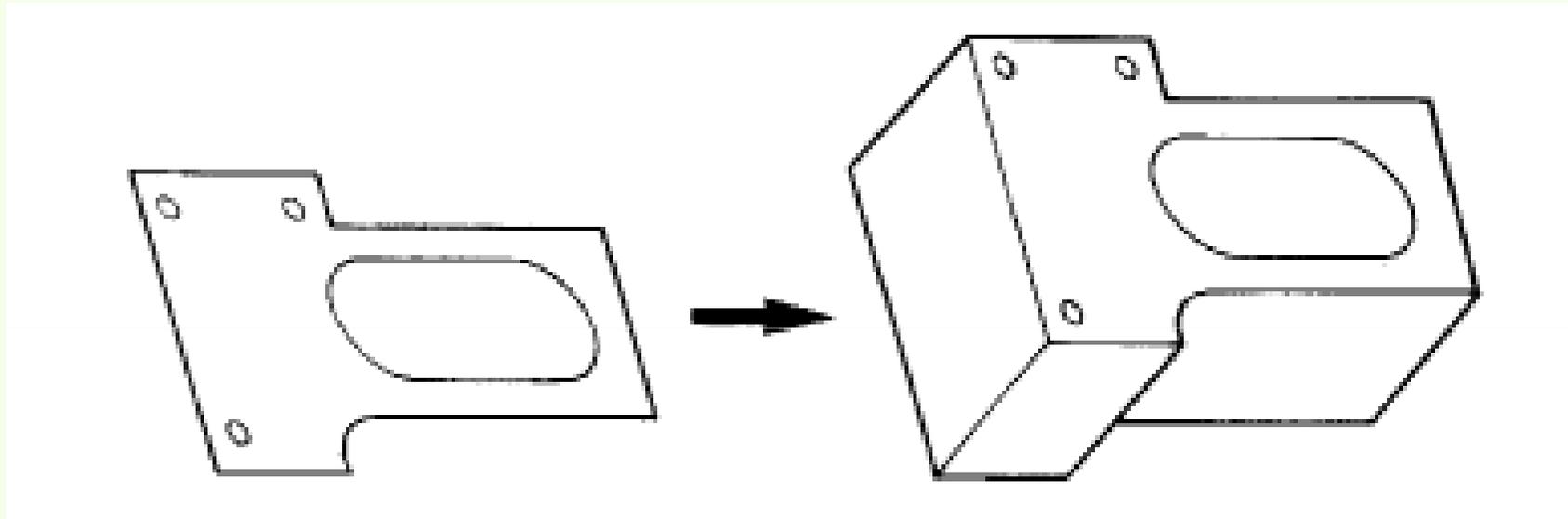
*Representação
B-rep
mostrando dois
objetos
diferentes com
a mesma
topologia*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



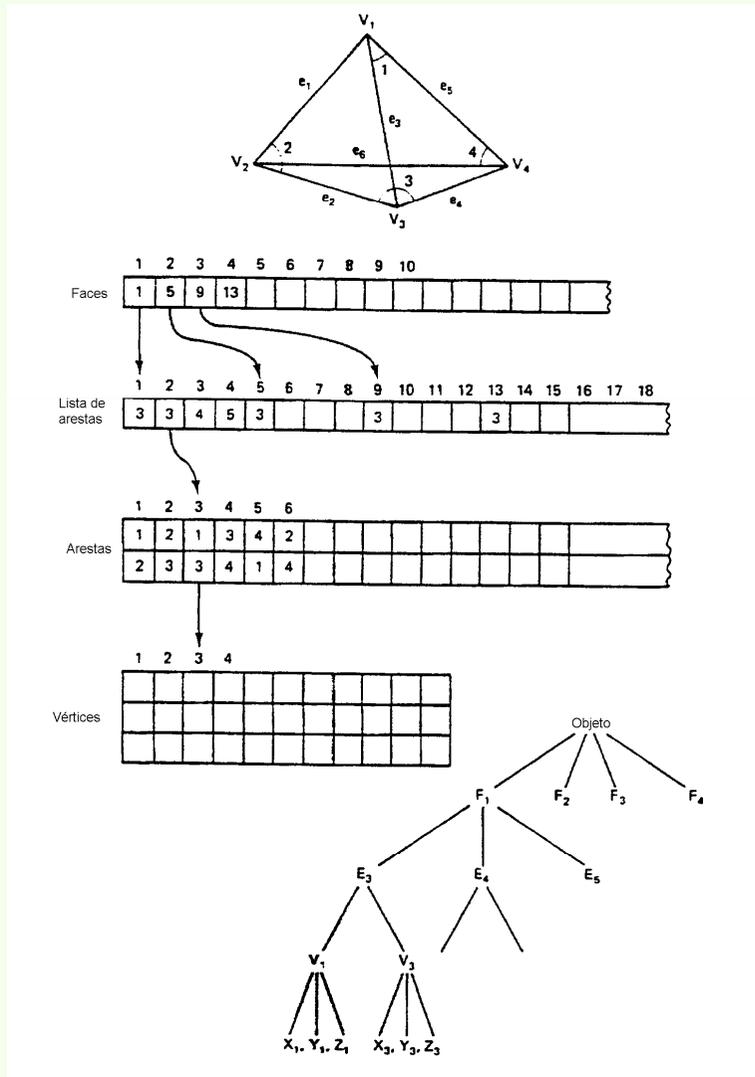
Operações de Varredura (“sweep”)

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Operação de Varredura ("sweep")

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



*Uma peça modelada em B-rep
 (apenas a topologia)*

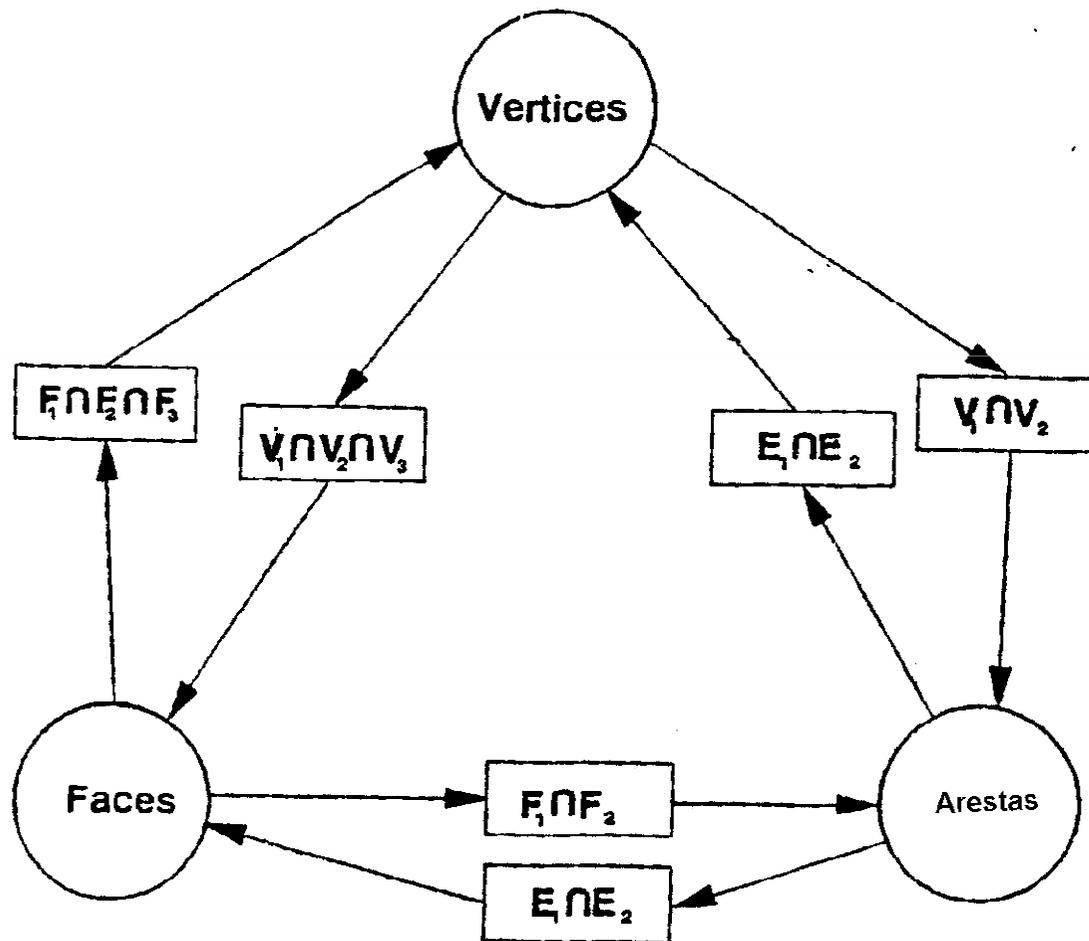
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- B-rep → representação explícita da topologia.
- Árvore B-rep → árvore de relação topológica.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- *Redundância*
 - P.ex. → uma aresta pode ser obtida de duas faces; um vértice pode ser obtido de três faces; etc. (ver figura).
 - Redundância → aumento no tamanho da base de dados porque uma quantidade maior de informações do que o necessário é armazenado.
 - Entretanto → acelera as transformações que são aplicadas ao sólido, pois todos os elementos necessários estão disponíveis.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



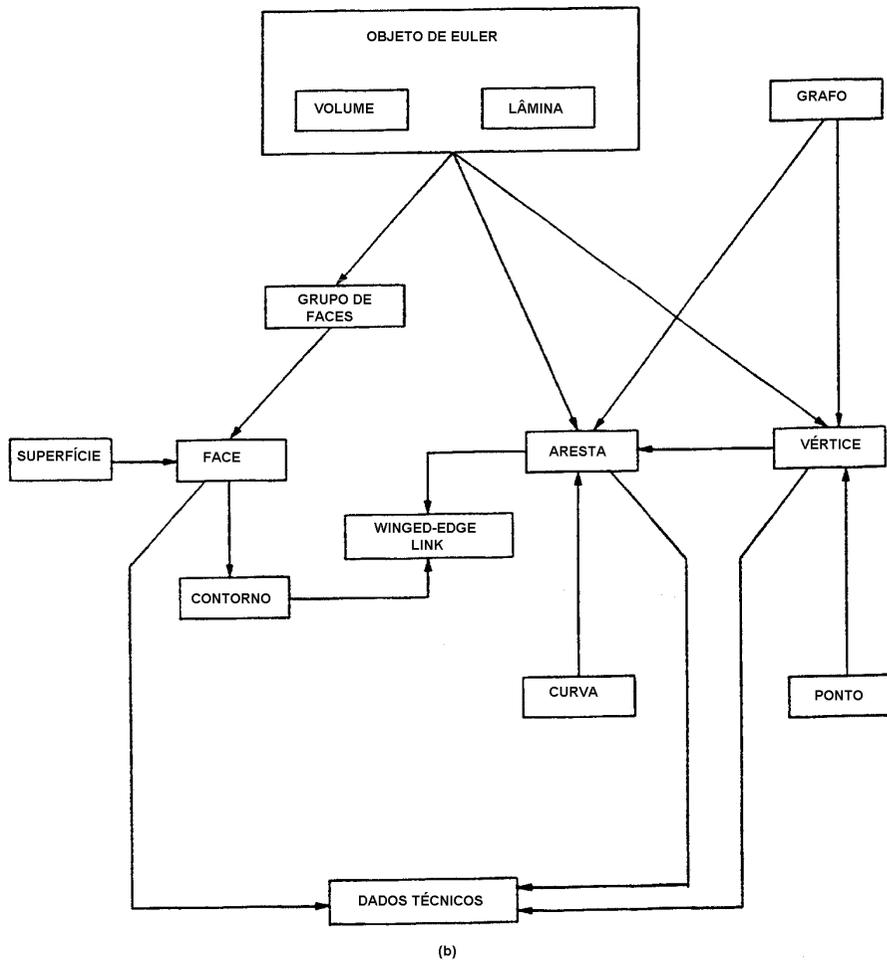
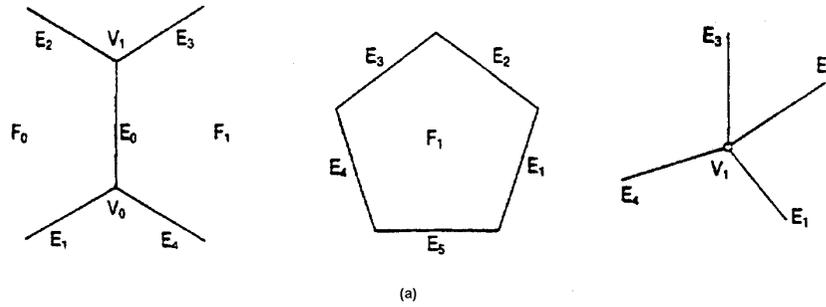
*Redundância
inerente à
topologia de
modeladores B-
rep*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- *Consistência*
 - Tamanho de bases de dados de modeladores B-rep \uparrow \rightarrow sub-rotina responsável por checar a consistência de um objeto após uma transformação torna-se mais complicada e leva um tempo \uparrow de execução \rightarrow esta sub-rotina deve funcionar de tal forma que, se conclui-se que um sólido é inconsistente, o usuário deve ser alertado.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- *Estrutura winged-edge*
 - Estrutura mais utilizada em sistemas B-rep → fornece um acesso mais rápido aos vários elementos na base de dados → acelera as transformações aplicadas aos sólidos, tais como operadores de Euler.

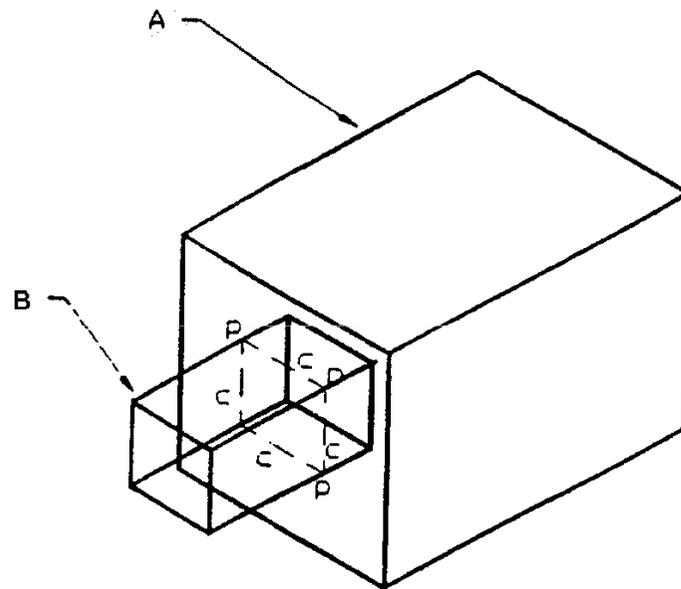


Estrutura “winged-edge”: (a) aresta, face e vértice; (b) modelador G.P.M.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

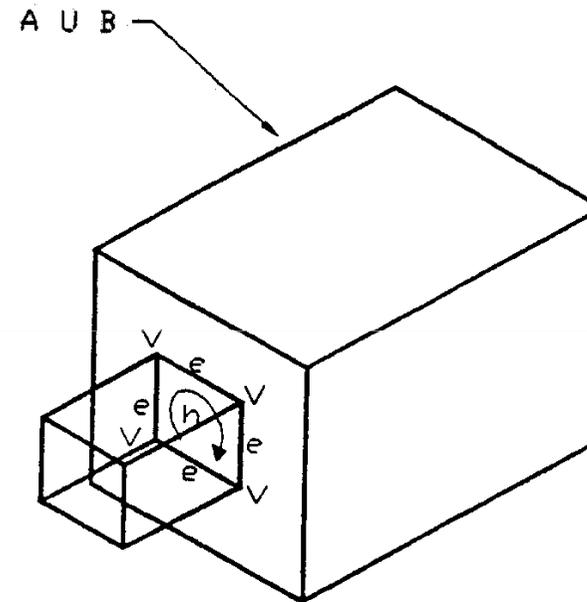
- *Operações Booleanas e de Varredura*
 - Algoritmos não-triviais, mesmo quando superfícies planas são consideradas.
 - Operações booleanas em modeladores B-rep levam um tempo bem mais elevado comparado com modeladores CSG, pois o contorno de um sólido deve ser intersectado com o contorno do outro sólido para obter-se o sólido desejado, e tais interseções tomam um longo tempo computacional.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



p = ponto de intersecção que existe

c = curva de intersecção que existe



V = novo vértice

e = nova aresta

h = novo furo

União de dois paralelepípedos num modelador B-rep

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

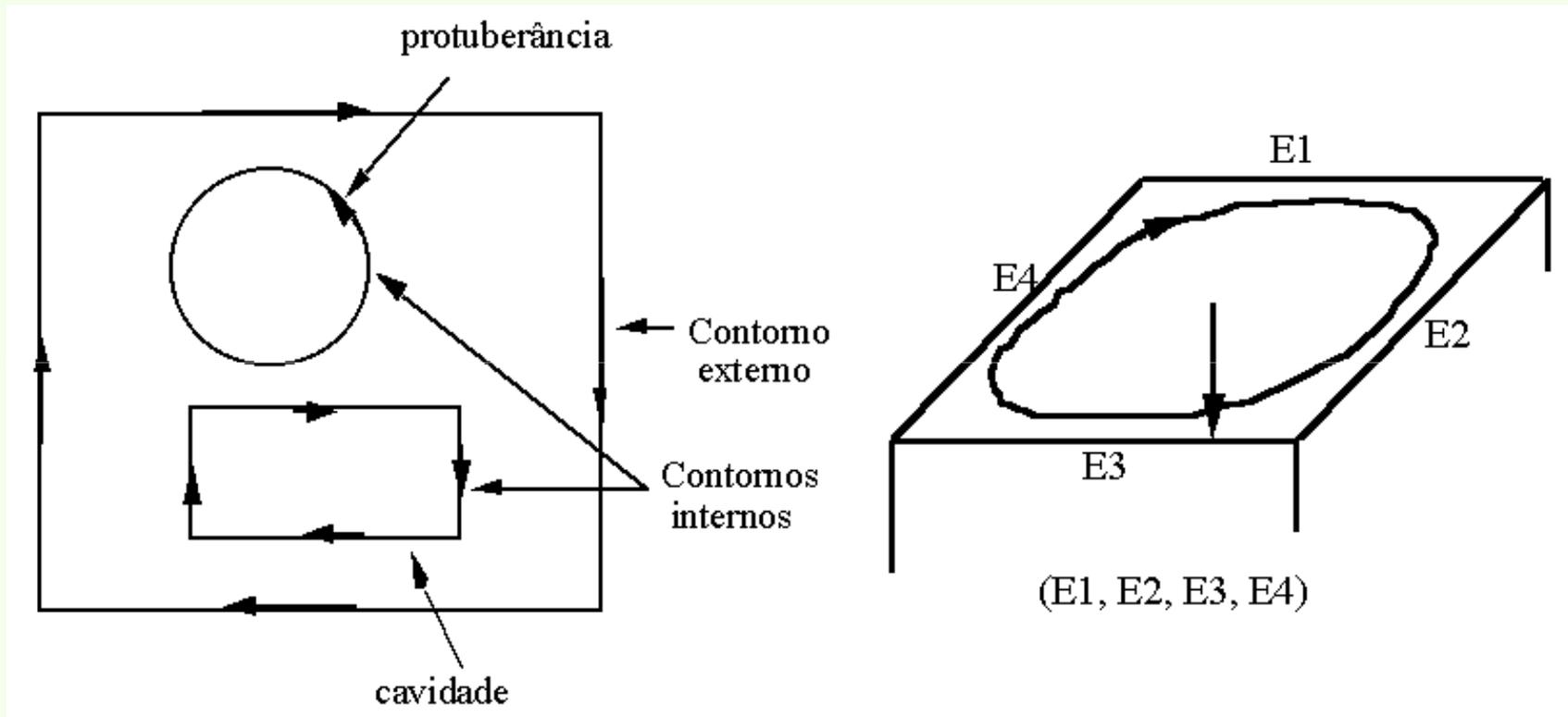


Ilustração de como contornos internos e externos podem ser representados em B-rep

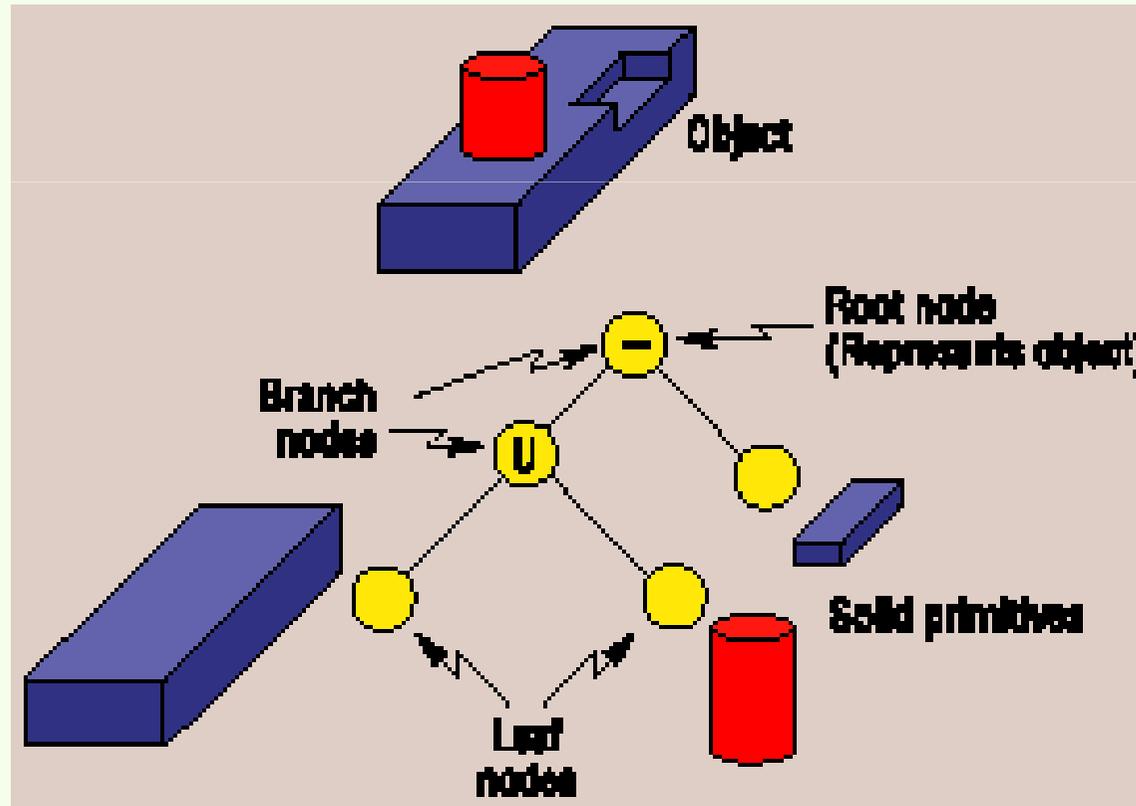
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Vantagens da representação B-rep:
 - informações são completas;
 - esta representação tem uma longa história na comunidade de CAD → existem muitos softwares disponíveis para a manipulação dos seus dados geométricos;
 - aplicações e algoritmos baseados em B-rep são competitivos com aqueles baseados em CSG;
 - tecnologia disponível para superfícies “sculptured” baseia-se em superfícies, e portanto é mais fácil incorporá-la em sistemas B-rep dos que em sistemas CSG.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **Representação Híbrida**

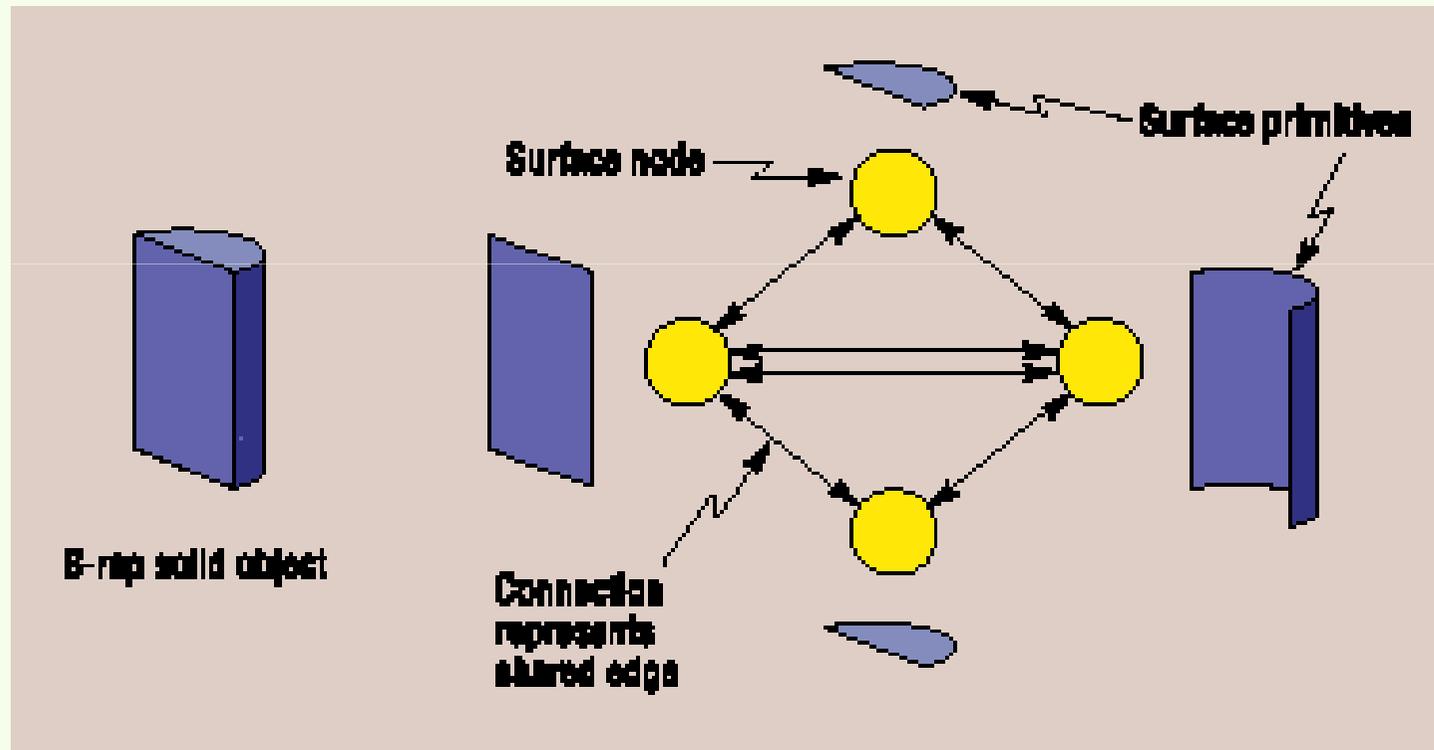
- combinação das representações CSG e B-rep



Porção CSG de um modelador híbrido

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

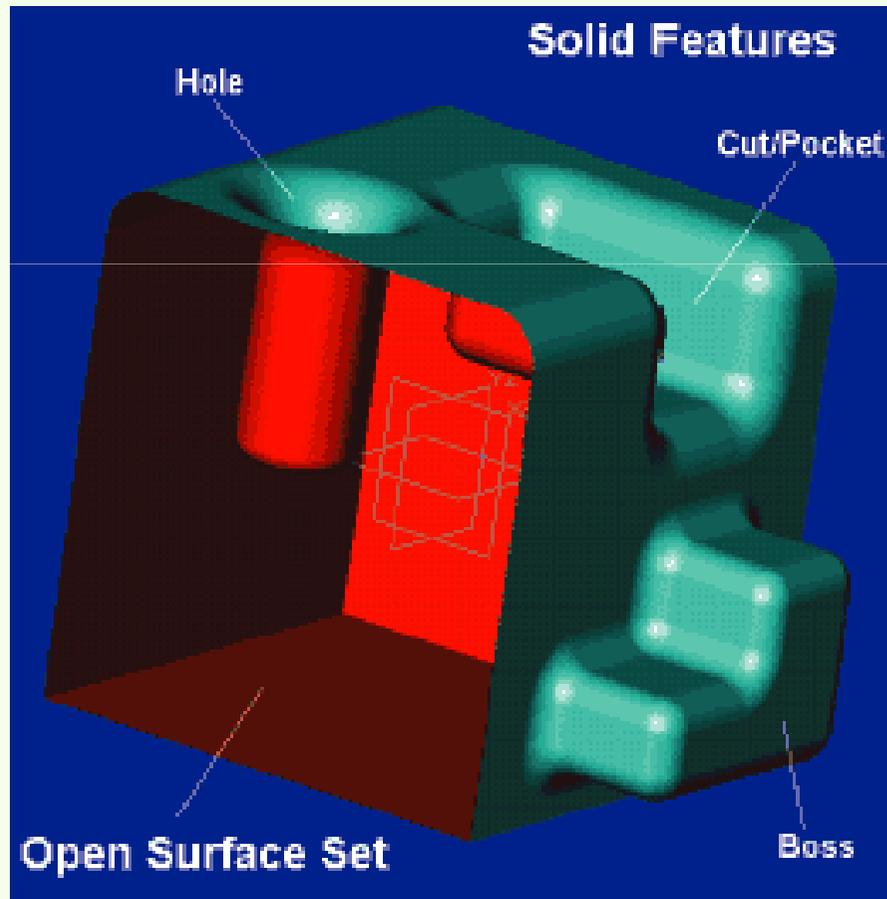
- Representação Híbrida



Porção B-rep de um modelador híbrido

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

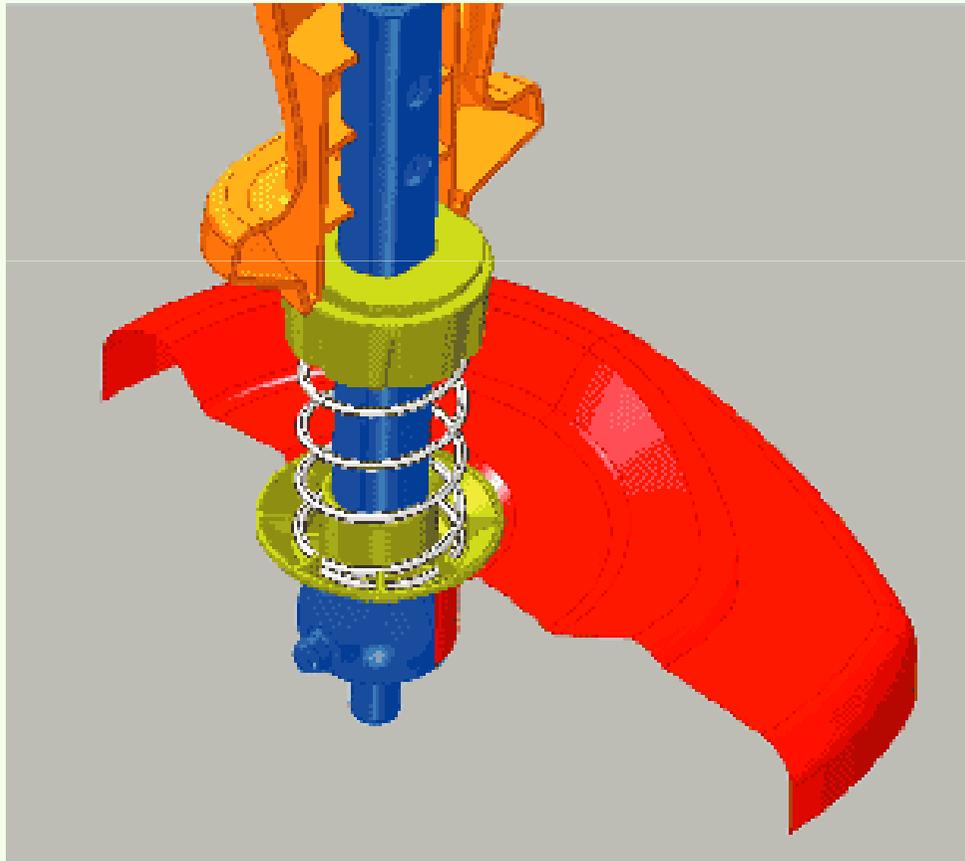
- Representação Híbrida



*Um sólido
representado num
modelador híbrido*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Representação Híbrida



*Uma parte de um
produto representado
num modelador
híbrido*

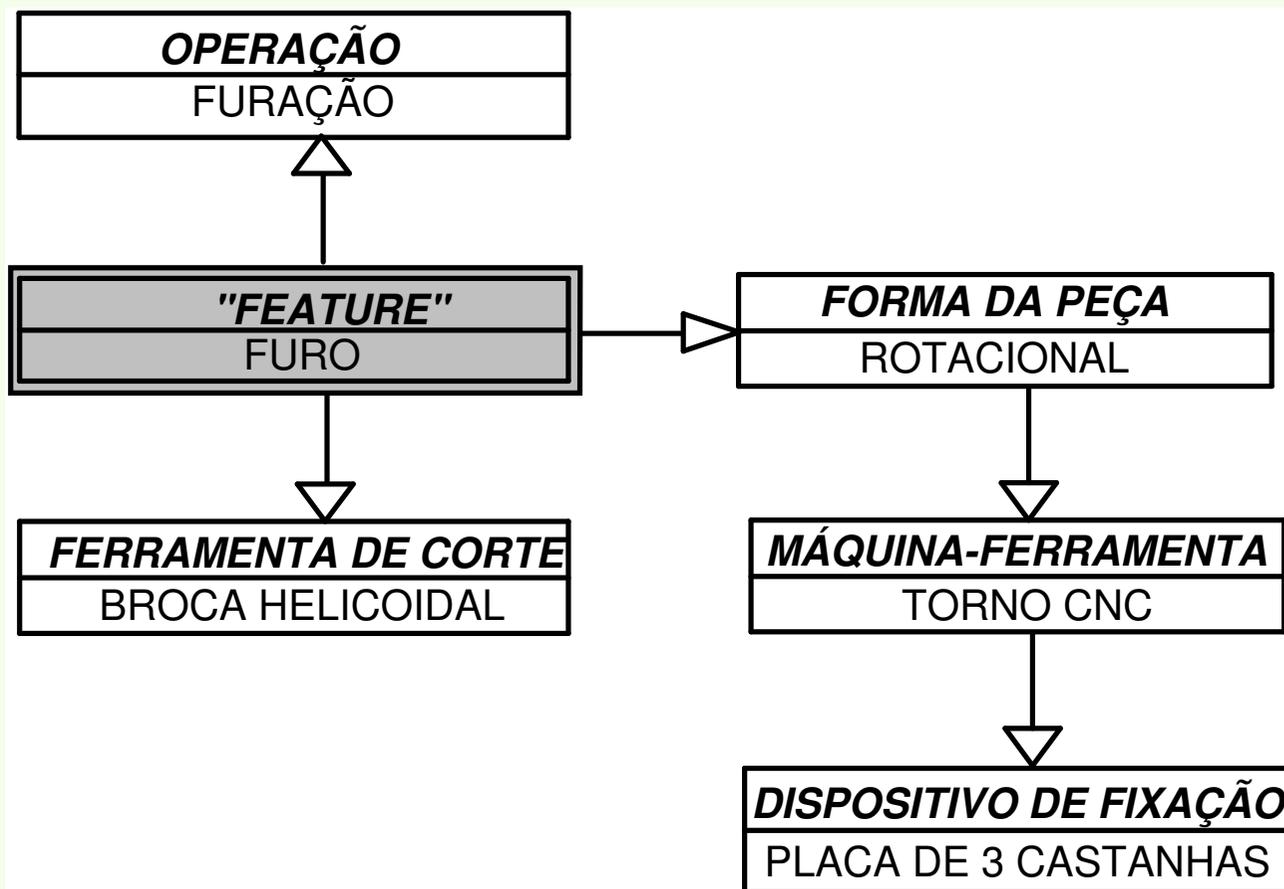
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **Representação por Features**
 - Constrói-se a peça (ou produto) diretamente a partir de *features*, que são os “tijolos” da construção → em vez de utilizar-se formas analíticas como paralelepípedos e cilindros, o usuário cria a peça com “primitivas de um nível mais alto”, que são mais relevantes para uma aplicação específica.
 - Definições diferentes de features:
 - “qualquer entidade com atributos tanto de forma quanto de função” (Dixon, 1988);
 - “conjunto de informações sobre o produto, ou padrões de informação relacionados com a descrição de uma peça” (Shah, 1988);
 - “conjunto de elementos geométricos que formam uma unidade de interesse” (Prinz et al, 1989).

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

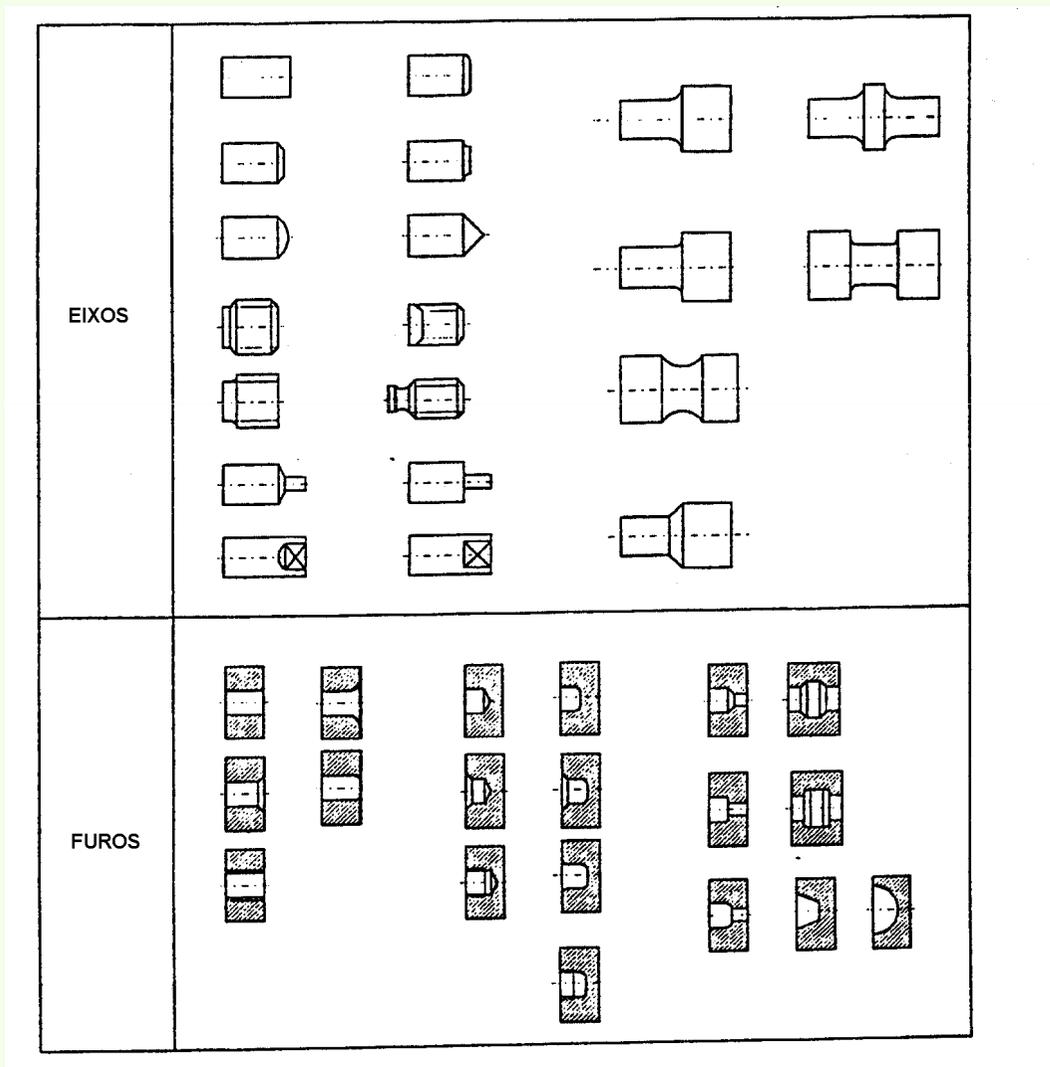
- Nesse texto → *features* são "regiões ou volumes em peças industriais, que são importantes para o projeto, planejamento do processo e outras atividades" .
- Exemplos de *features*: eixos, furos, chanfros, ranhuras, etc.
- 2 vantagens do projeto baseado em *features*:
 - *Features* → elementos que contêm informações geométricas, funcionais e tecnológicas → portanto o projetista está mais habituado a elas;
 - *Features* → facilitam o raciocínio sobre a manufaturabilidade da peça → conseqüentemente o seu planejamento do processo.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



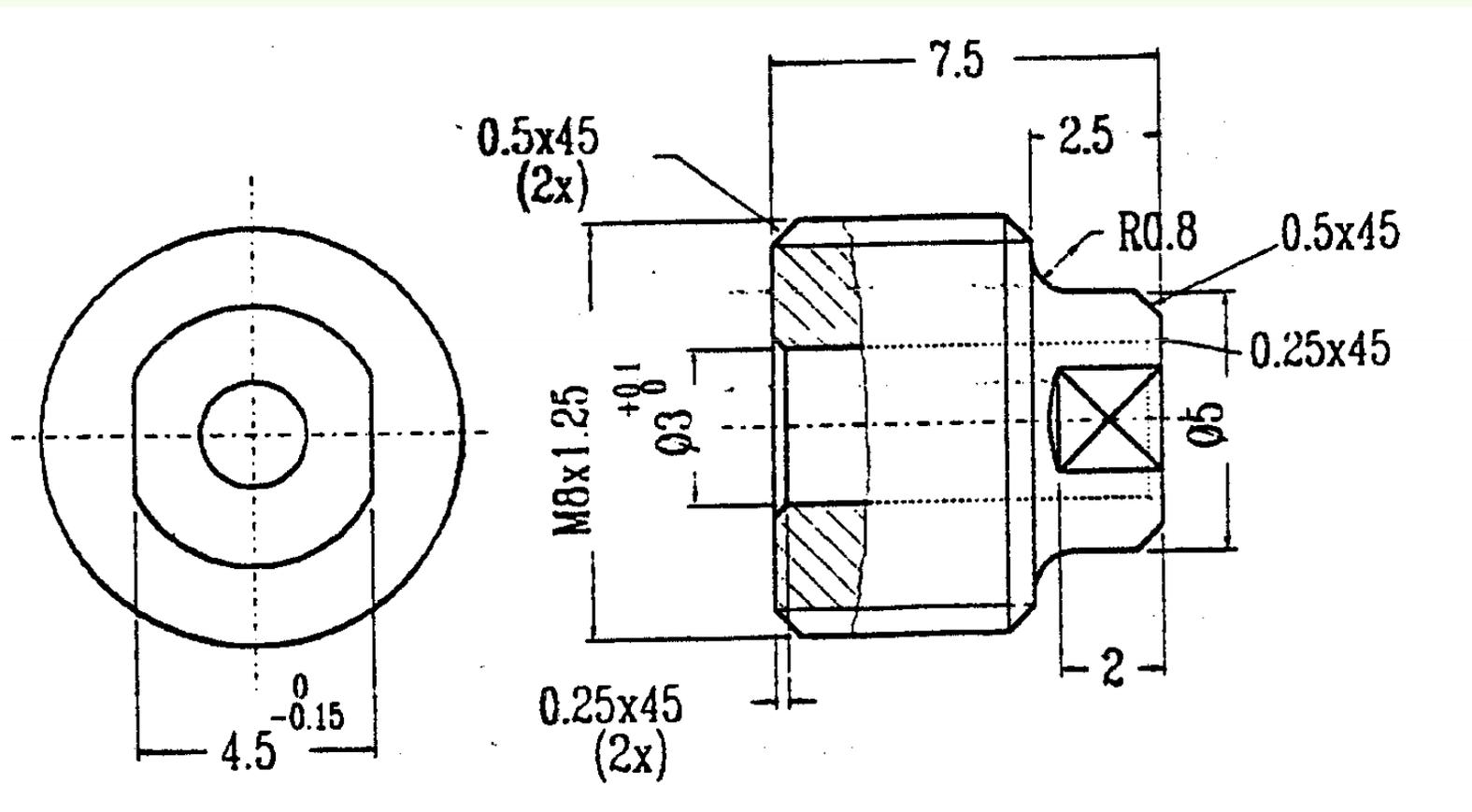
Decisões de manufatura baseadas em features

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



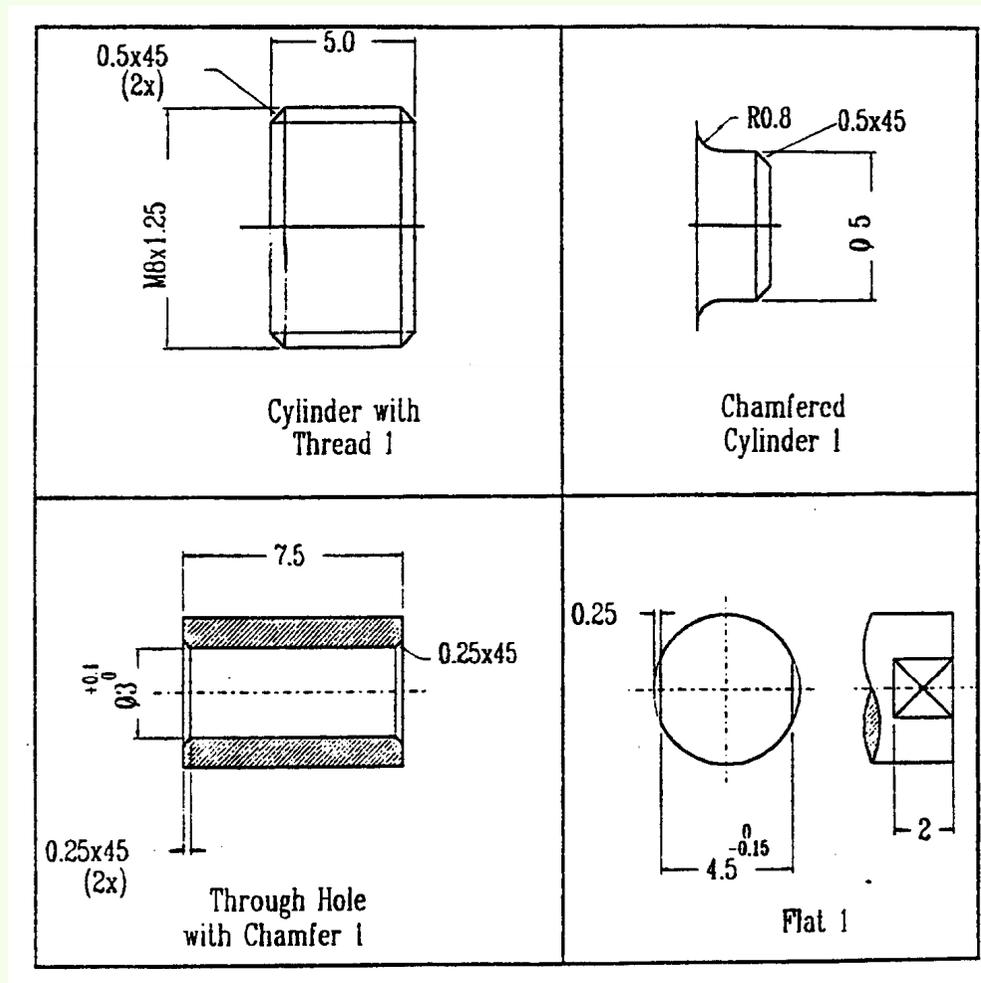
Features encontradas em peças rotacionais numa empresa aeronáutica

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



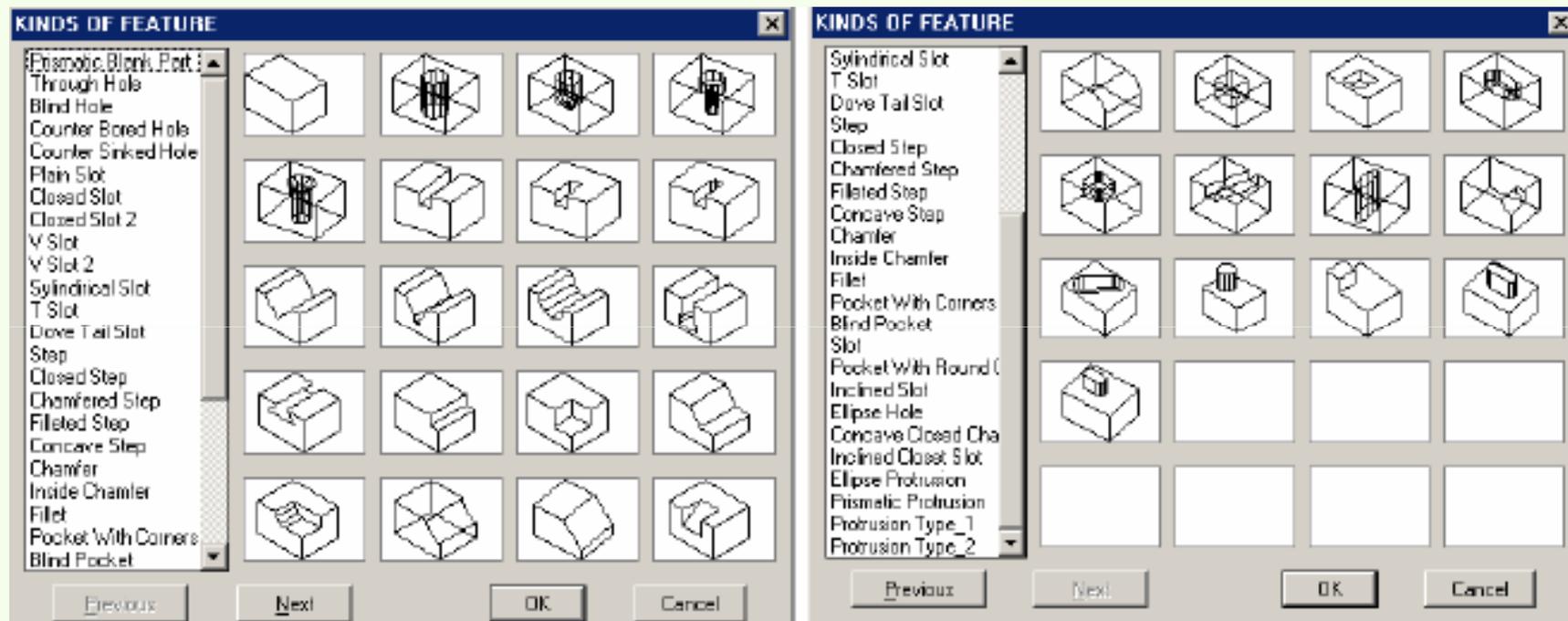
Um atuador de válvula

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



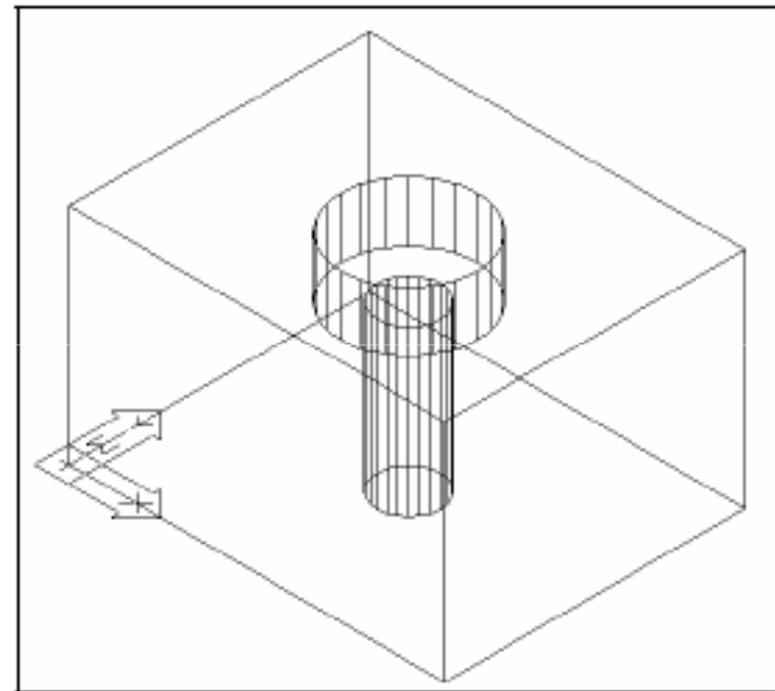
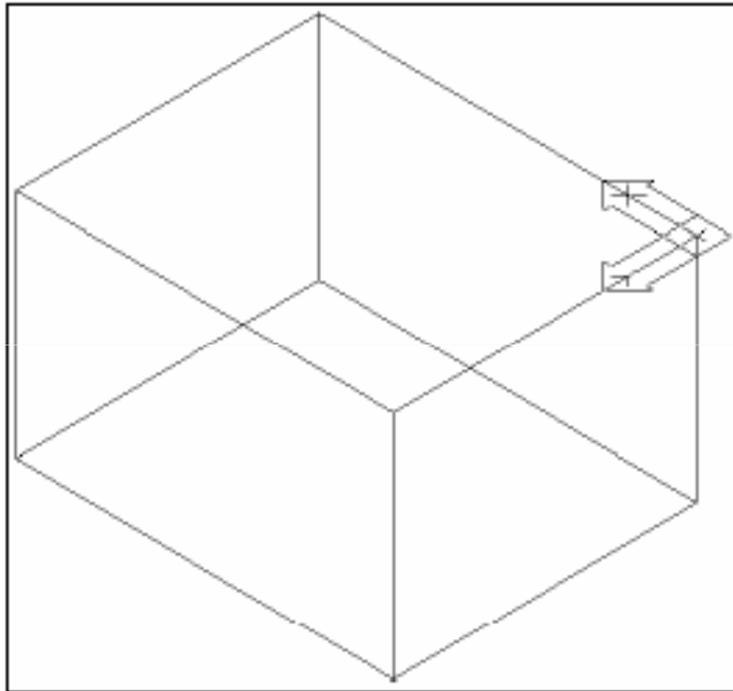
*Features usadas para
construir a peça da
figura anterior*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



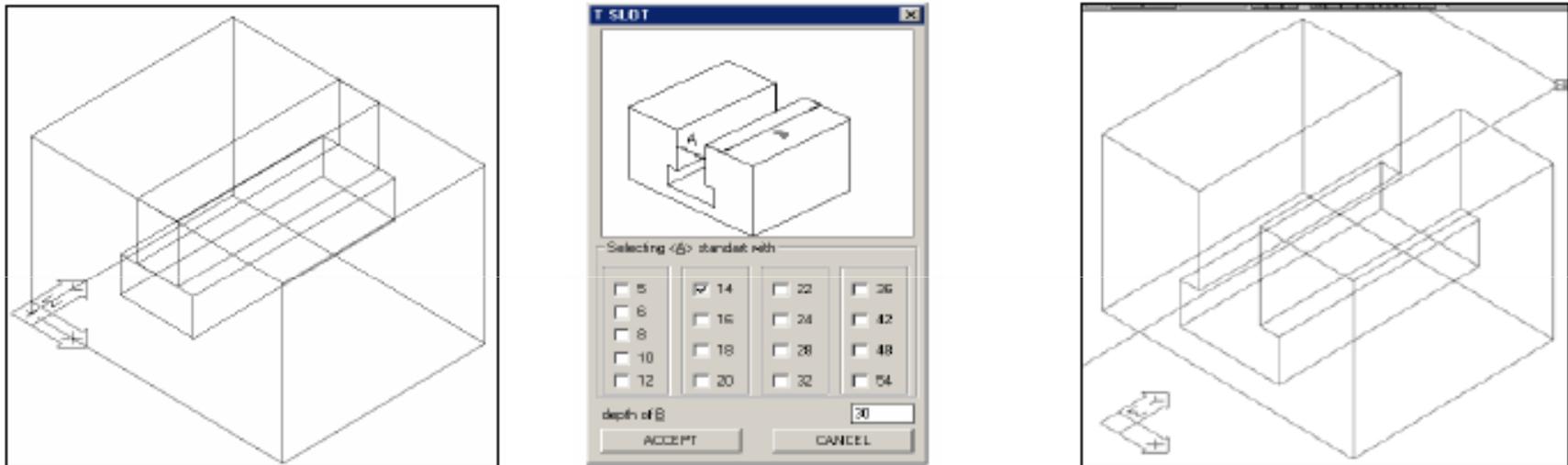
Menu de Features

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



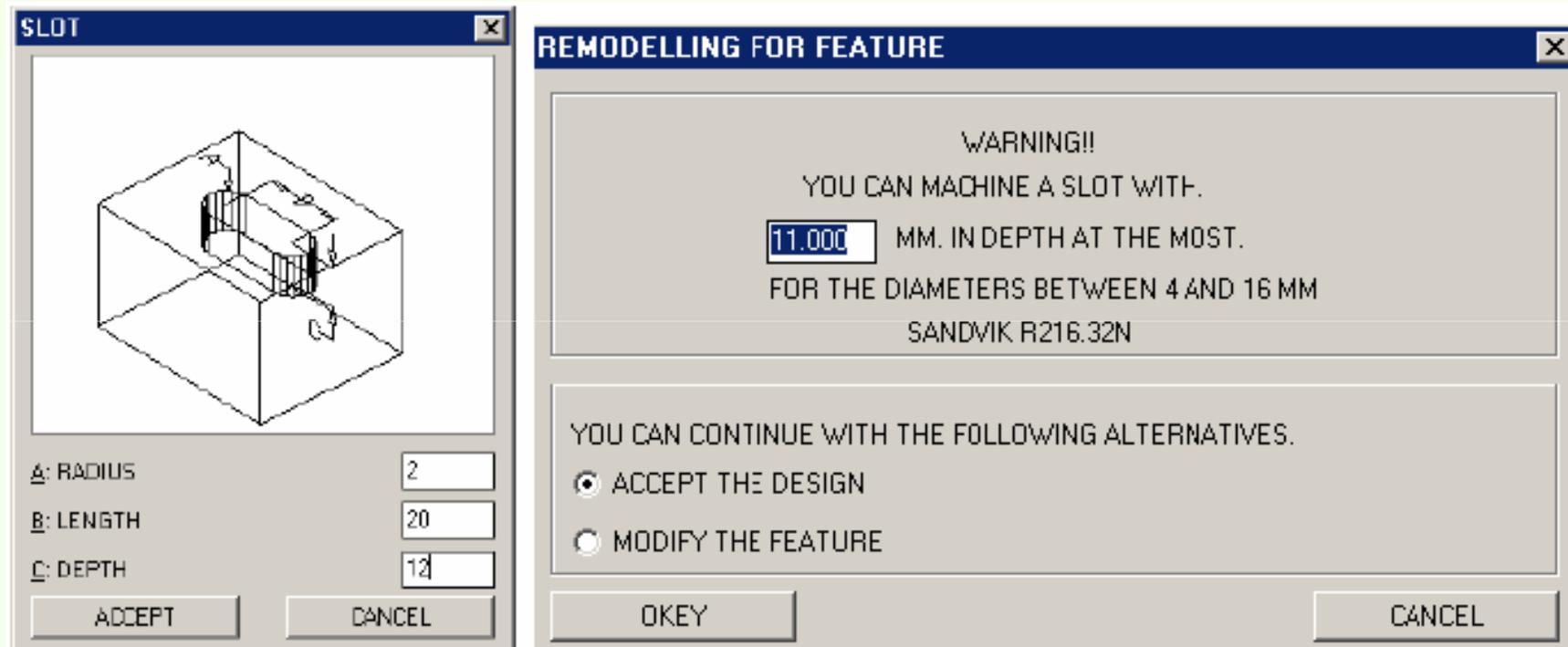
*Introdução de um furo
com rebaixo*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



*Introdução de uma
ranhura "T"*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

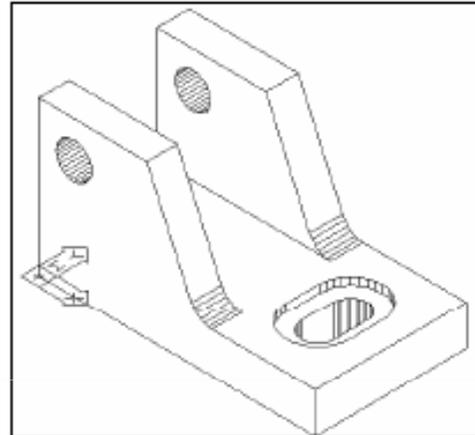


*Introdução de uma ranhura, com
aviso de problema na feature*

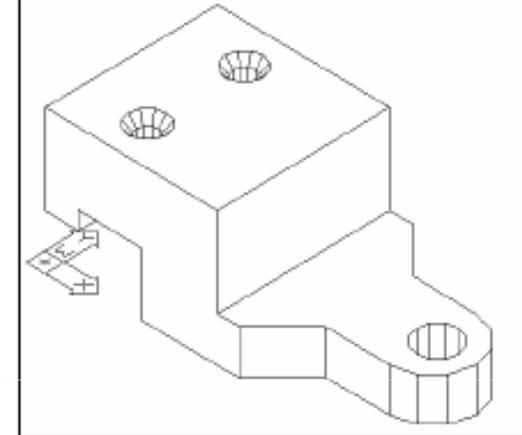
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



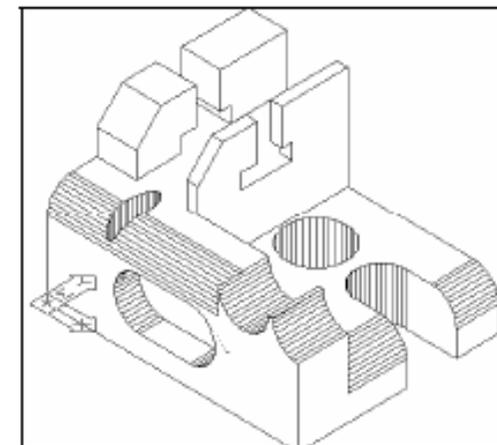
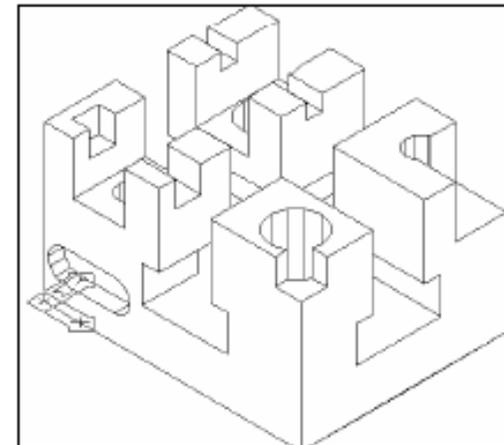
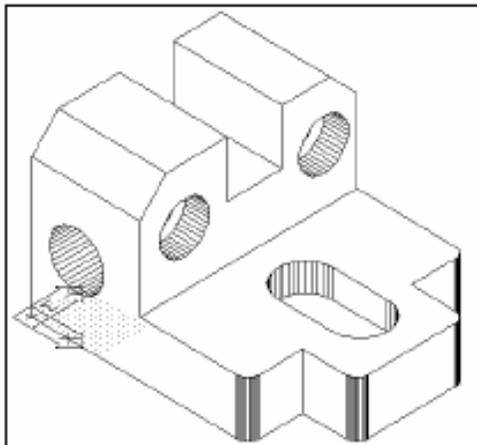
a)



b)



c)

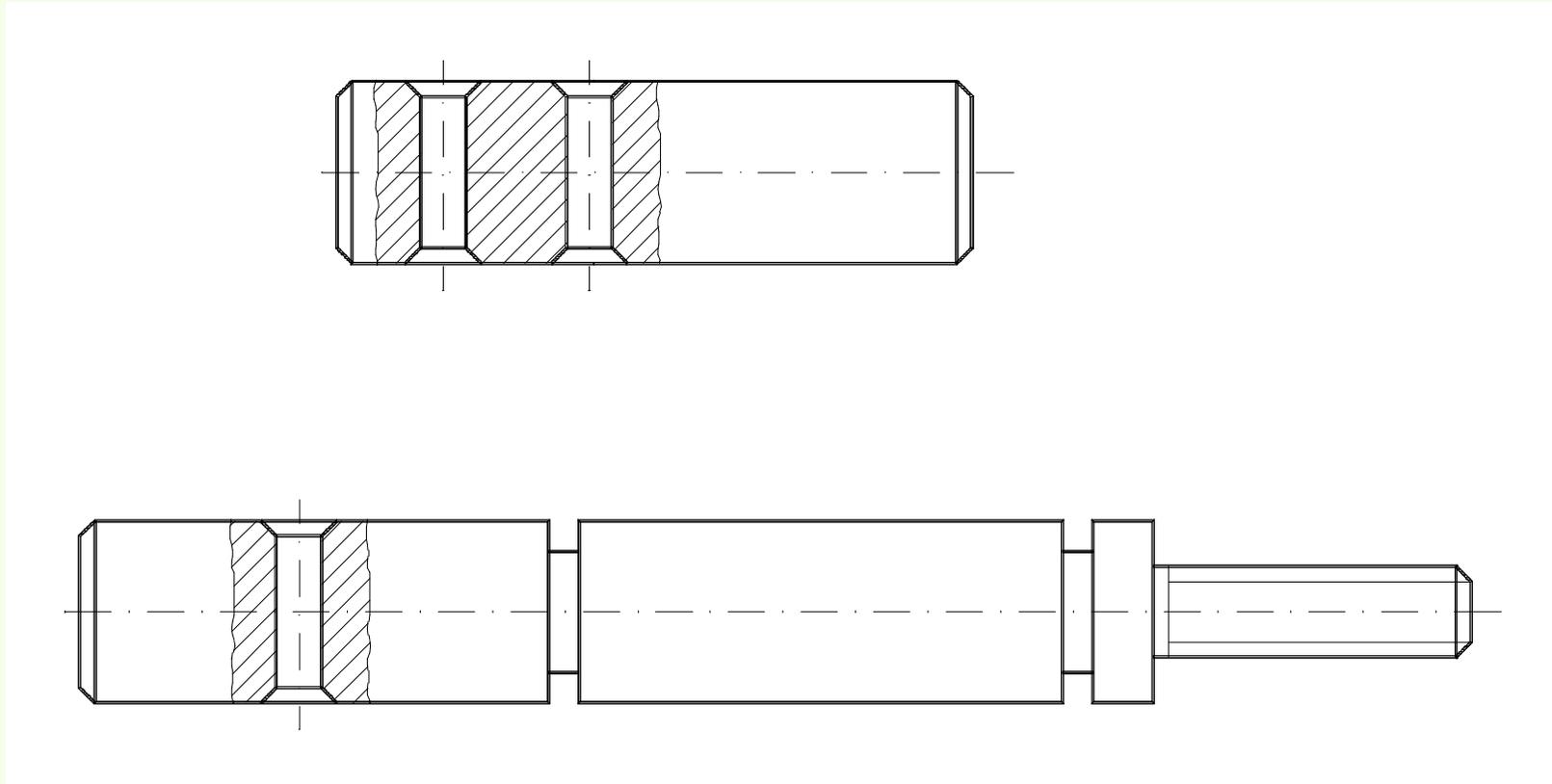


Peças modeladas por este sistema

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **Exemplo de Implementação de um CAD por *Features* numa Indústria**
 - Schneider Logemann Cia. (SLC - John Deere) → fabrica peças usinadas e chapas metálicas, que são utilizadas na confecção de seus produtos.
 - Implementação para uma parte das peças produzidas na fábrica → reduzindo-se assim o domínio de aplicação, e por conseguinte a complexidade do problema.
 - Layout celular → uma das células foi escolhida para ser feita a implementação do sistema CAD por *features*.
 - Esta célula → produz cerca de 480 peças usinadas de revolução.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

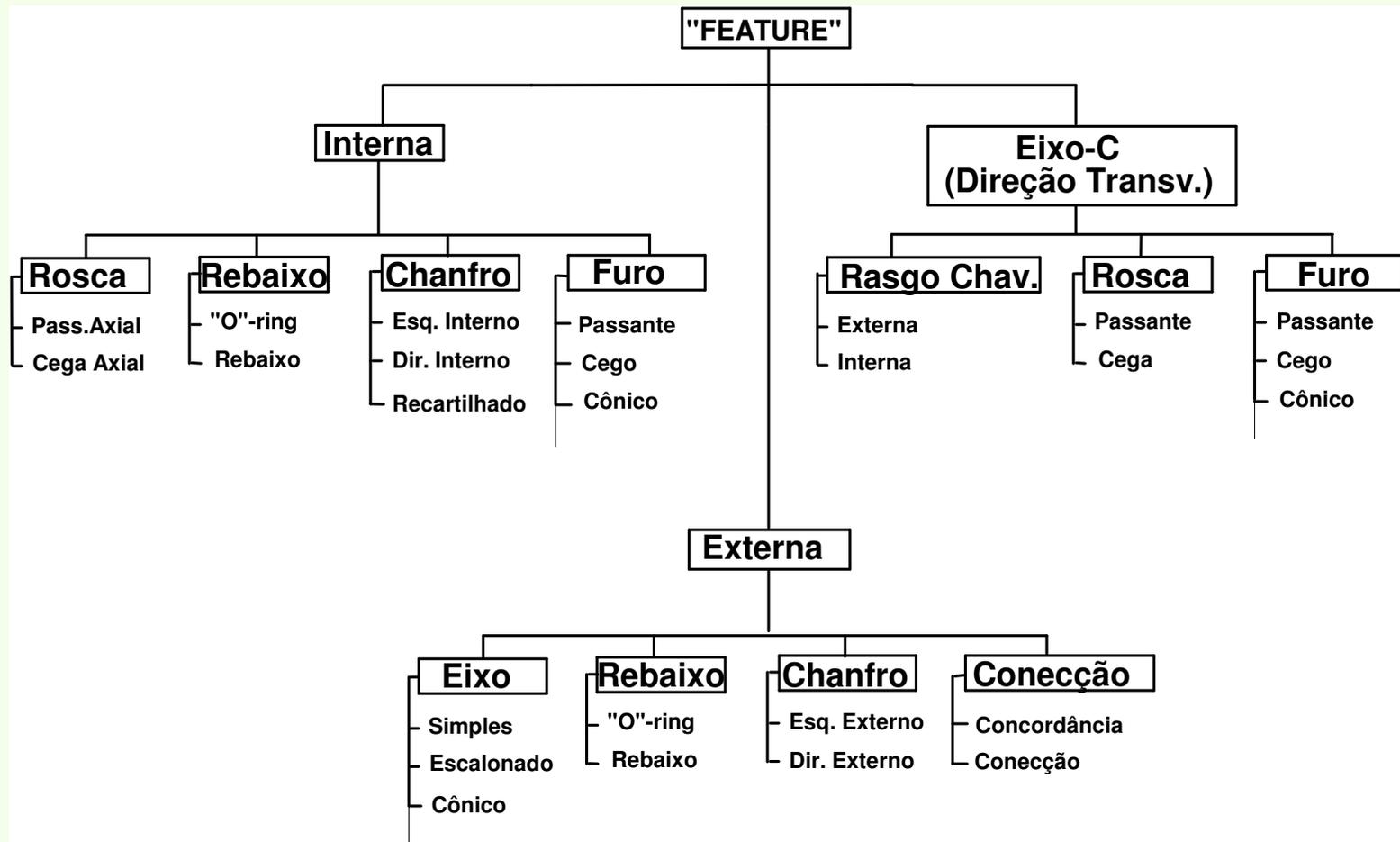


Duas peças fabricadas na célula escolhida

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Passo seguinte → levantamento dos desenhos das peças usinadas naquela célula.
- *Features* presentes nestas peças → identificadas e cadastradas na base de dados de *features* (eixos, furos, rasgos de chaveta, rebaixos e roscas).
- Para esta célula → cerca de 30 *features* identificadas.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

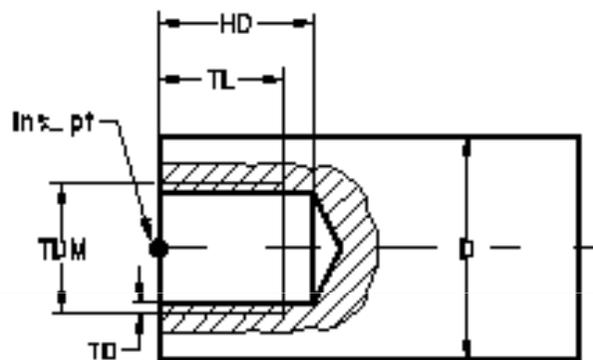


Classificação das features presentes na célula escolhida

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Nombre de la "feature": Agujero con rosca

Tipo de "feature": Interna



Parámetros geométricos:

TDM = diámetro de la rosca *TL* = longitud de la rosca

PIT = paso de la rosca *HD* = profundidad del agujero

TD = profundidad de la rosca *ins_pt* = punto de inserción

Restricciones geométricas:

$HD, TDM > 0.0$; $TDM < D$; $TL < HD$; Estándar DIN 13

Restricciones tecnológicas: ninguna

Tolerancias dimensionales: conectadas a *TL* y *TDM*

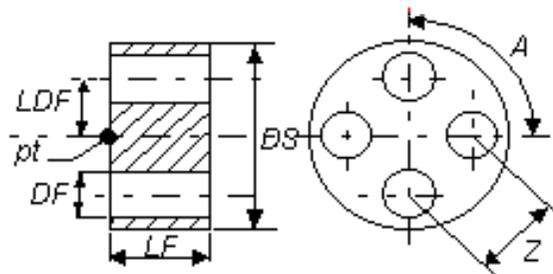
Tolerancias geométricas: ninguna

Rugosidad superficial: conectada al cilindro

Atributos geométricos e tecnológicos da feature furo com rosca

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Tipo da "feature": Interna simétrica
Nome da "feature": Furo passante axial excêntrico
Material da "feature": Aço SAE 1020



Parâmetros Geométricos:

LF = Profundidade do furo
 LDF = Distância entre o centro do furo e o centro do eixo
 DF = Diâmetro do furo
 A = Ângulo entre dois furos adjacentes
 Z = Distância entre dois furos adjacentes
 DS = Diâmetro do eixo
 pt = Ponto de referência

Restrições geométricas:

LF = comprimento do eixo
 $0 < DF < (DS/2)$
 $(DF/2) < LDF < (DS/2 - DF/2)$
 $Z = LDF \sqrt{2(1 + \cos A)}$; $Z > DF$

pt deve coincidir com o ponto de referência do eixo

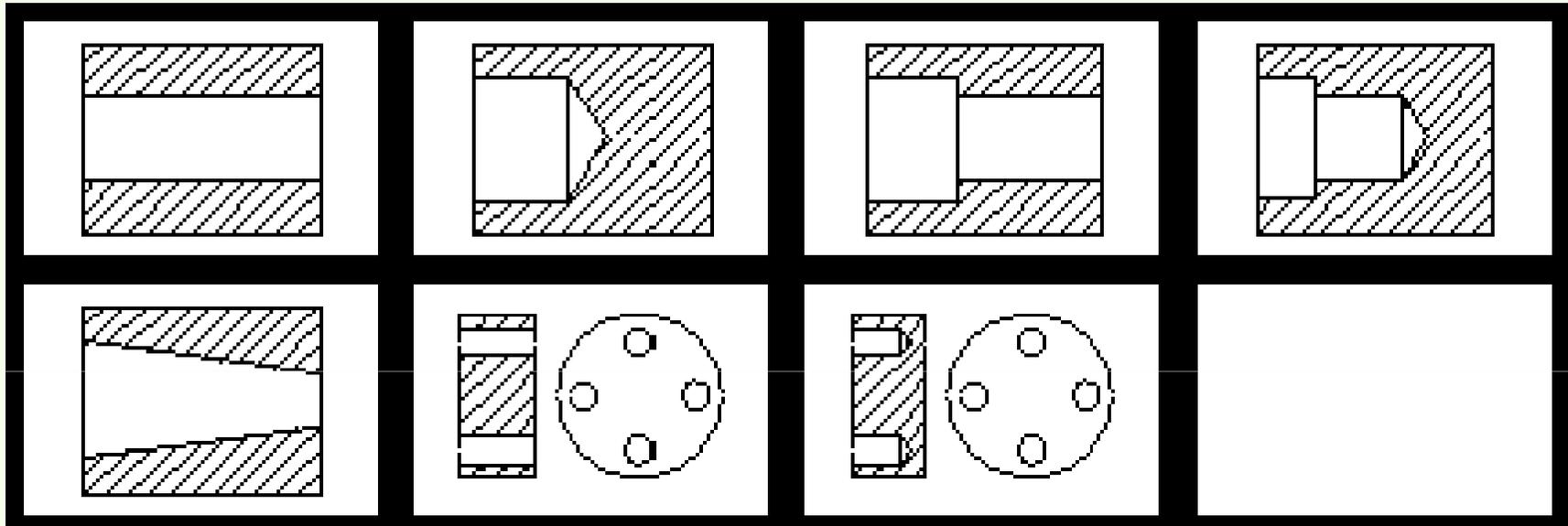
Acabamento Superficial: atribuído à superfície interna do furo

Tolerâncias Dimensionais: atribuídas a DF , LF , LDF

Tolerâncias Geométricas: Retilidade, Circularidade, Cilindricidade, Concentricidade, Batimento

Atributos geométricos e tecnológicos da feature furo passante axial excêntrico

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Janelas de diálogo para o projeto de peças - I

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Parameters Single Shaft

Length:	14.0
Diameter:	15.0

Straightness :	0.0	Length Toler.(+L) :	0.05
Circularity :	0.0	Length Toler.(-L) :	0.05
Cilindricity :	0.0	Diam.Toler.(+D) :	0.05
Cyl.Roughness :	0.0	Diam.Toler.(-D) :	0.05
Plane Roughness :	6.3		

OK Cancel

Janelas de diálogo para o projeto de peças - II

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

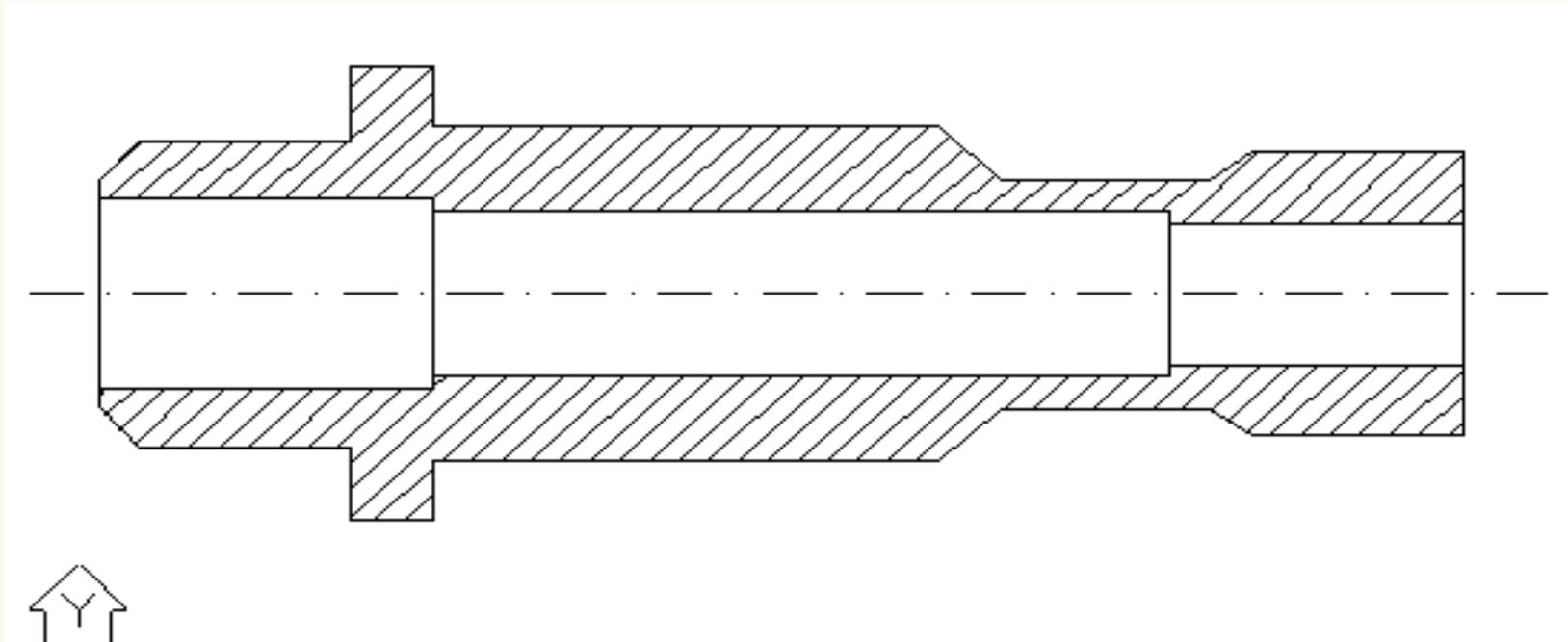
Concentricity

Ref .Feature :	NORMAL1
Toler .Feature :	NORMAL3
Value :	0.07

OK Cancel

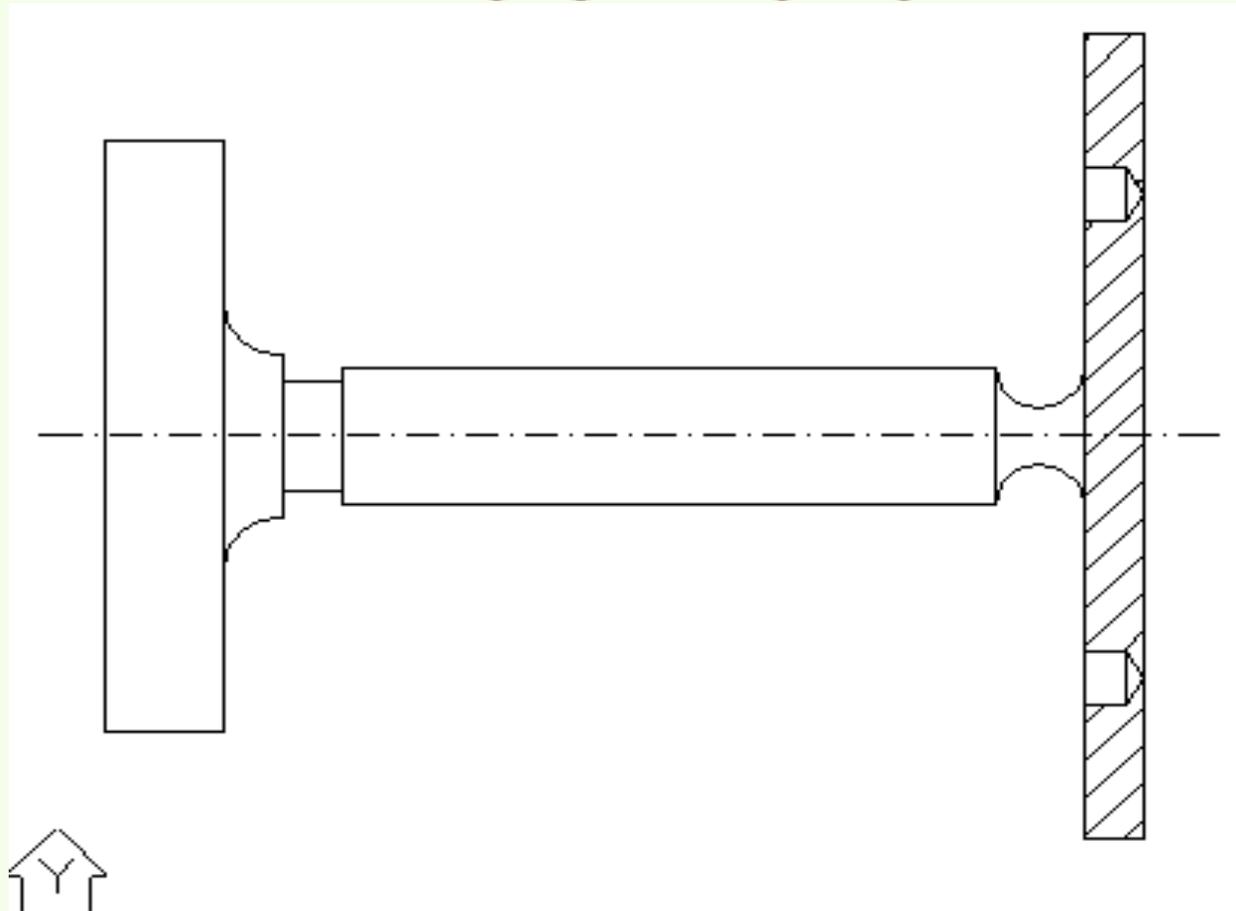
Janelas de diálogo para o projeto de peças - III

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



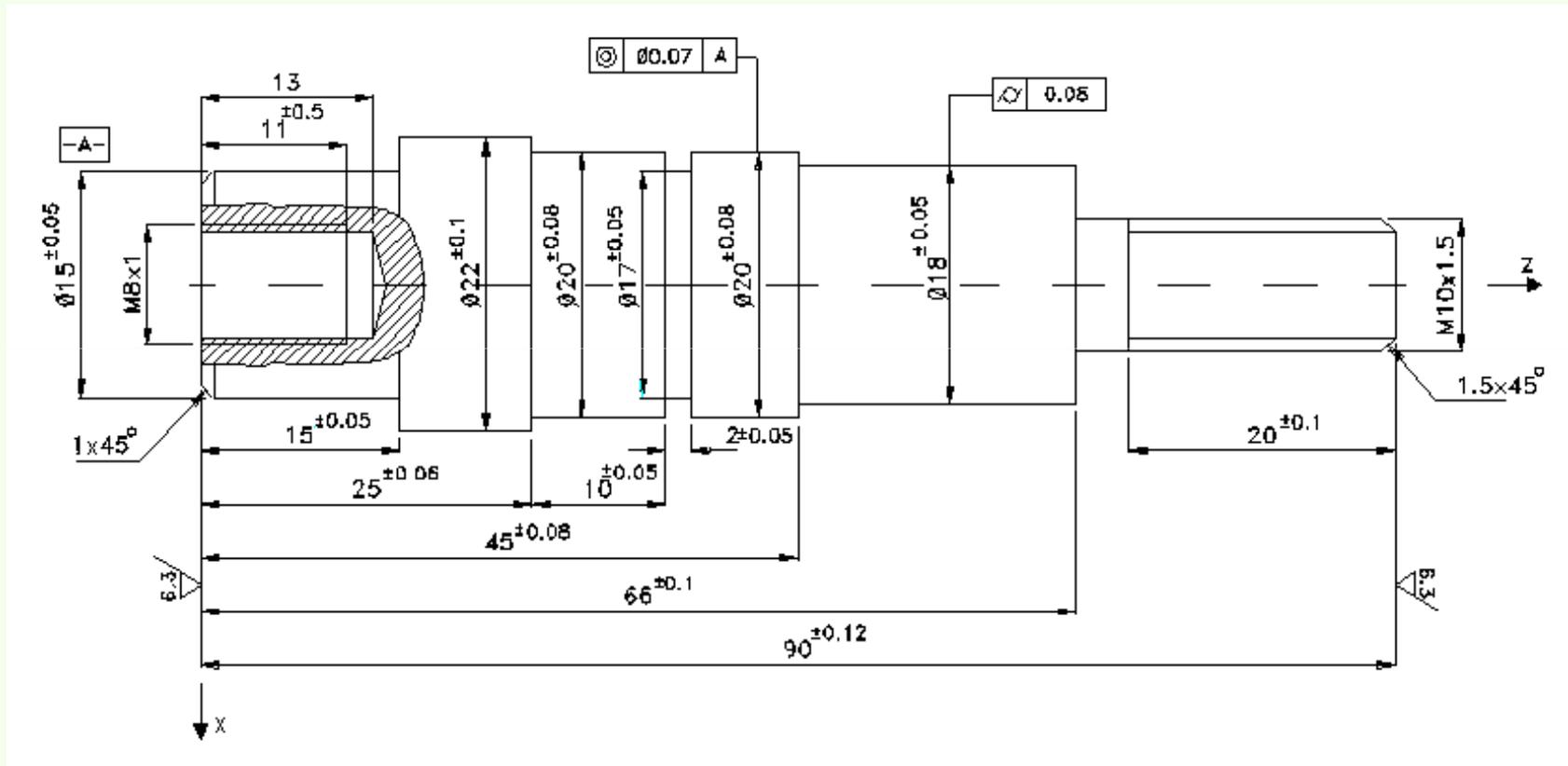
Exemplos de peças criadas através do sistema CAD baseado em features - I

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Exemplos de peças criadas através do sistema CAD baseado em features - II

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Exemplos de peças criadas através do sistema CAD baseado em features - III

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Videos:

[Filme 1](#)

[Filme 2](#)

[Filme 3](#)

[Filme 4](#)

[Filme 5](#)

[Filme 6](#)

[Filme 7](#)

[Filme 8](#)

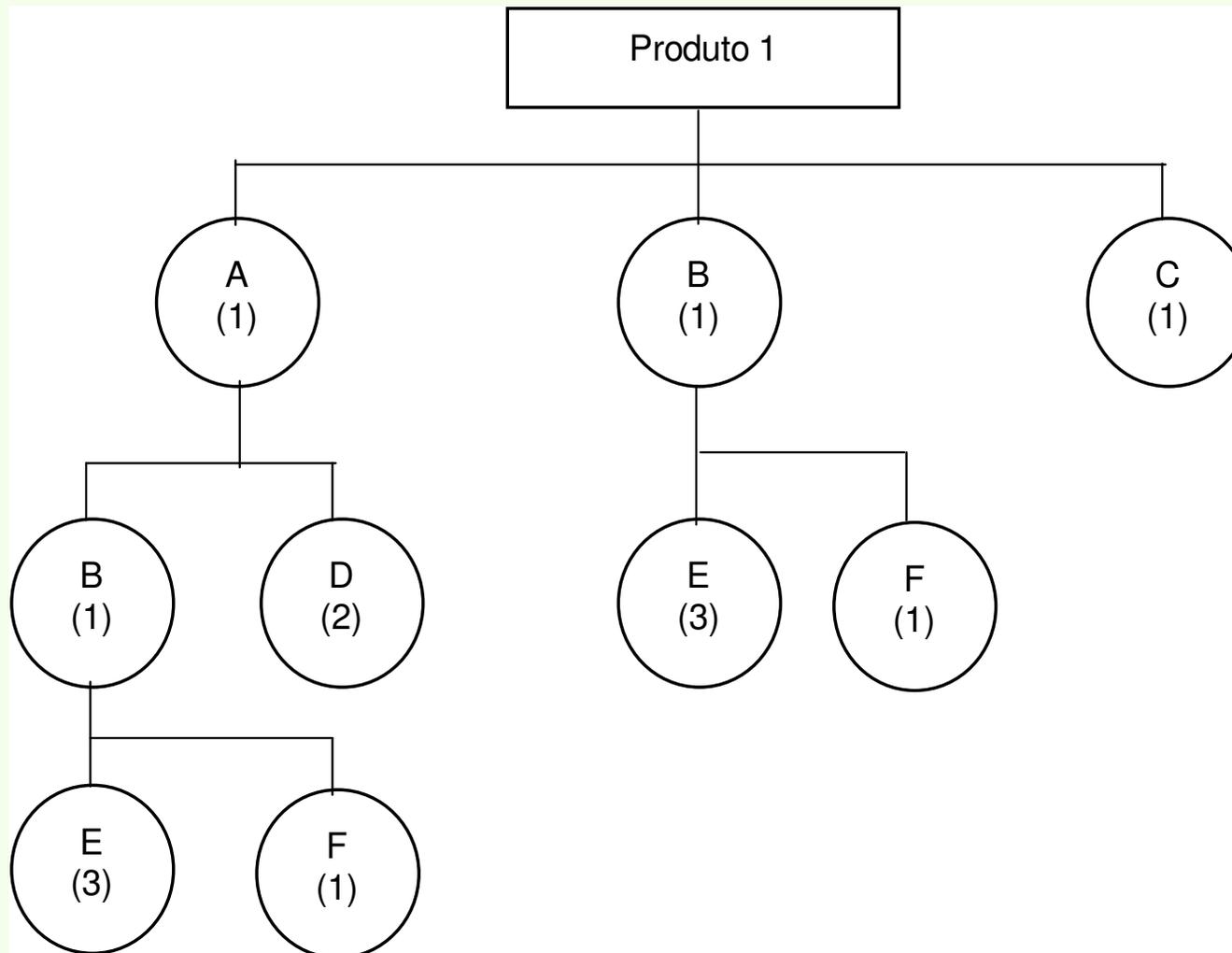
[Filme 9](#)

[Filme 10 - Deutz](#)

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- **LISTA DE MATERIAIS (“BOM”)**
 - Estrutura de dados do produto que inclui:
 - os produtos finais;
 - seus subconjuntos;
 - suas quantidades;
 - relacionamentos.
 - Estrutura de lista de peças → acessível por vários departamentos numa empresa.
 - O nível de acesso por parte do equipamento computacional na procura das informações de um produto deve ser facilitado.
 - A lista de materiais é normalmente estruturada de maneira conveniente para departamentos individuais → pode resultar em problemas para outros departamentos.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

<i>Peça</i>	<i>Quantidade</i>
A	1
B	2
C	1
D	2
E	6
F	2

Lista de materiais resumida

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Lista de materiais resumida → quantidade total da cada item é repassado para uma lista única → conveniente para o plano mestre de produção, porém resulta na duplicação de subconjuntos.
- Problemas:
 - sempre que houver uma mudança nos subconjuntos → deve-se alterar cada lista de produto que contém subconjuntos a serem montados;
 - como os lead-times de montagens intermediárias não estão indicados nessa lista → as peças são encomendadas muito cedo na primeira vez que elas são encontradas na estrutura do produto.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

<i>Produto 1</i>			<i>Quantidade</i>
A			1
	B	E F	1 3 1
	D		2
	B		1
	E F	3 1	
C		1	

Lista de materiais tabulada

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Lista de materiais tabulada
 - Desvantagem:
 - todas as peças de uma montagem são repetidas cada vez que um subconjunto é utilizado, resultando numa enorme duplicação dos dados.
 - Solução:
 - separar cada subconjunto numa lista de materiais de um único nível (ver próxima figura)
- Lista de materiais de nível único → identifica-se somente as peças usadas por um nível e um subconjunto requerido → mudanças na engenharia podem ser feitas num nível específico.

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Nível 1	Peça/Produto 1	Quantidade	Ponteiro para nível
	A B C	1 1 1	A (nível 2) B (nível 3)
Nível 2	Peça/A	Quantidade	Ponteiro para nível
	B D	1 2	B (nível 3)
Nível 3	Peça/B	Quantidade	Ponteiro para
	E F	3 1	

Lista de materiais de nível único

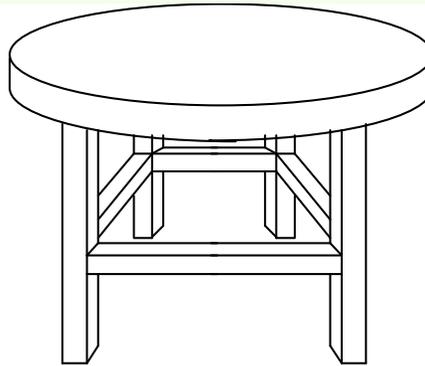
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

- Nenhuma destas estruturas realmente mostra quando um item é usado em todos os subconjuntos e produtos → alguns sistemas mantêm um arquivo separado somente para isto, o que causa problemas de manutenção.

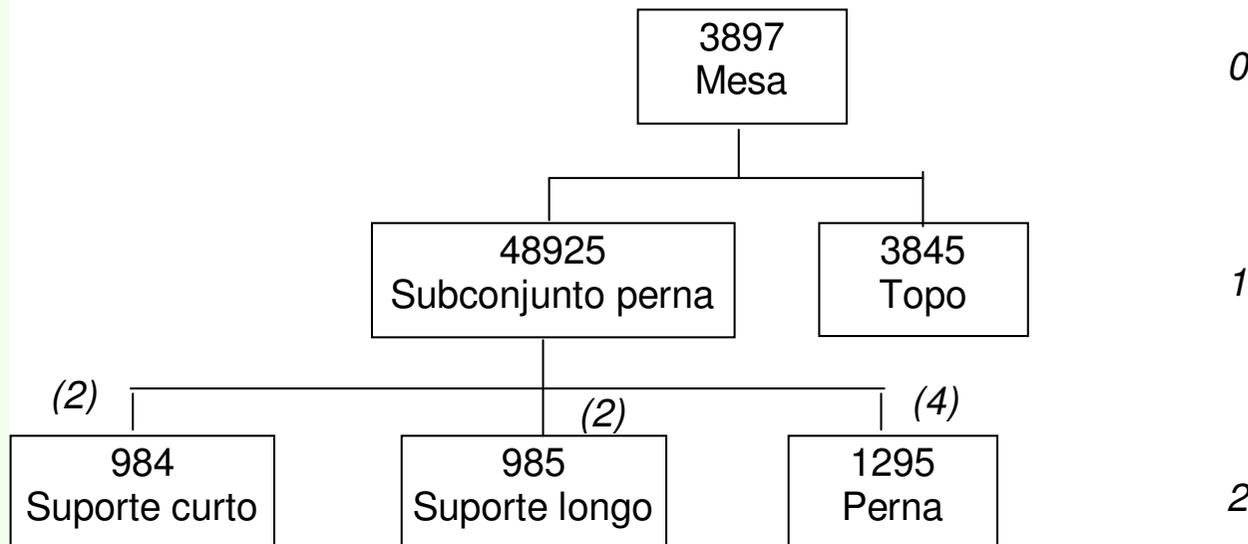
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Level	Part #	Revision	Quantity	Unit	Description	Make/buy
1	16844-23003	B	Parent	Ea	Field Adapter	Make
..2	15476-62009	J	1	Ea	Control	Buy
..2	16763-87001	C	1	Ea	Moisture Tester	Make
....3	18701-19302	B	4	Ea	Enclosure	Buy
....3	12000-14273	D	4	Ea	Machine Screw	Buy
....3	09000-16001	F	1	Ea	Encapsulant	Buy
..2	14644-38389	AA	2	Ea	Precipitator Assy.	Make
....3	52010-48007	E	2	Ea	Element	Buy
....3	57002-55100	E	2	Ea	Housing	Buy
....3	98002-66600	D	8	Ea	Machine Screw	Buy
....3	12000-14267	G	2	Ea	Precipitator	Buy

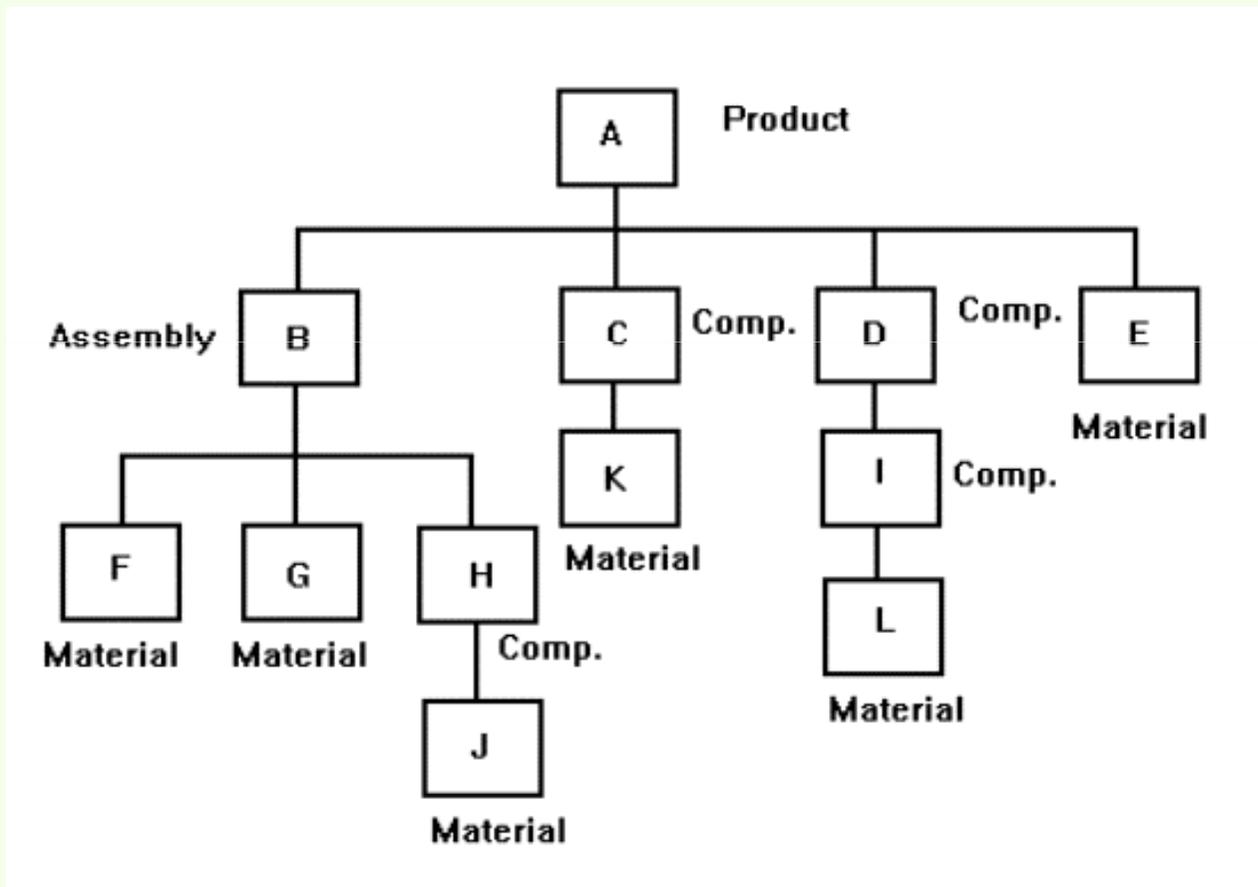
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Um outro exemplo de lista de materiais (BOM)

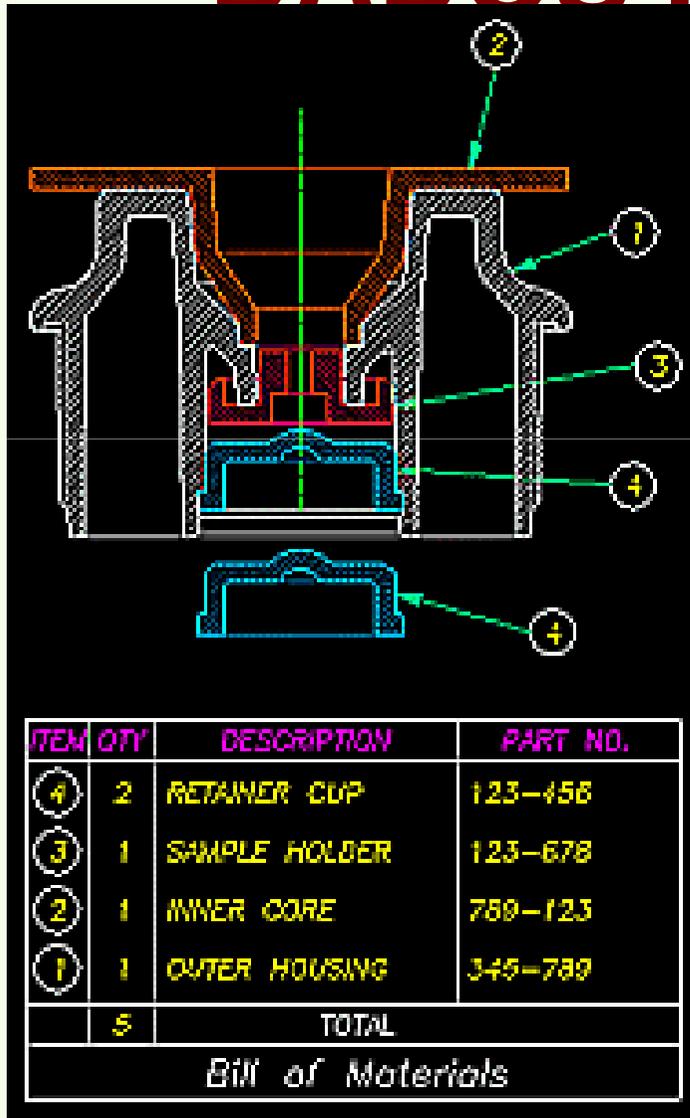


MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Um outro exemplo de lista de materiais (BOM)

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



*Outra lista de materiais
fornecida por um software
comercial*

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

ORDERS Plus 2KXP - BikeWorks, Inc.

File Process Explore Special Help

BikeWorks, Inc.

Select D to Delete Component
Select E to Edit Quantity/Description
Select Row for Sub-Assembly Details

Bill of Materials for: ALL TERRAIN 99

Component#	Description	Quantity	Sub		
SPECIAL WHEELS	Custom Racing Wheels for All Terrain	2	Y	E	D
LABOR	Labor for Custom Bike Manufacturing	5		E	D
HEAVY DUTY SEAT	Heavy Duty Seat for All Terrain	1		E	D
HANDLE BARS	Handle Bars for BackRoad or All Terrain	1		E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D
				E	D

4 Components are required for ALL TERRAIN 99

Lookup Add Component Create Work Order Explore Top Level Exit

NUM INS

Outra lista de materiais fornecida por um software comercial

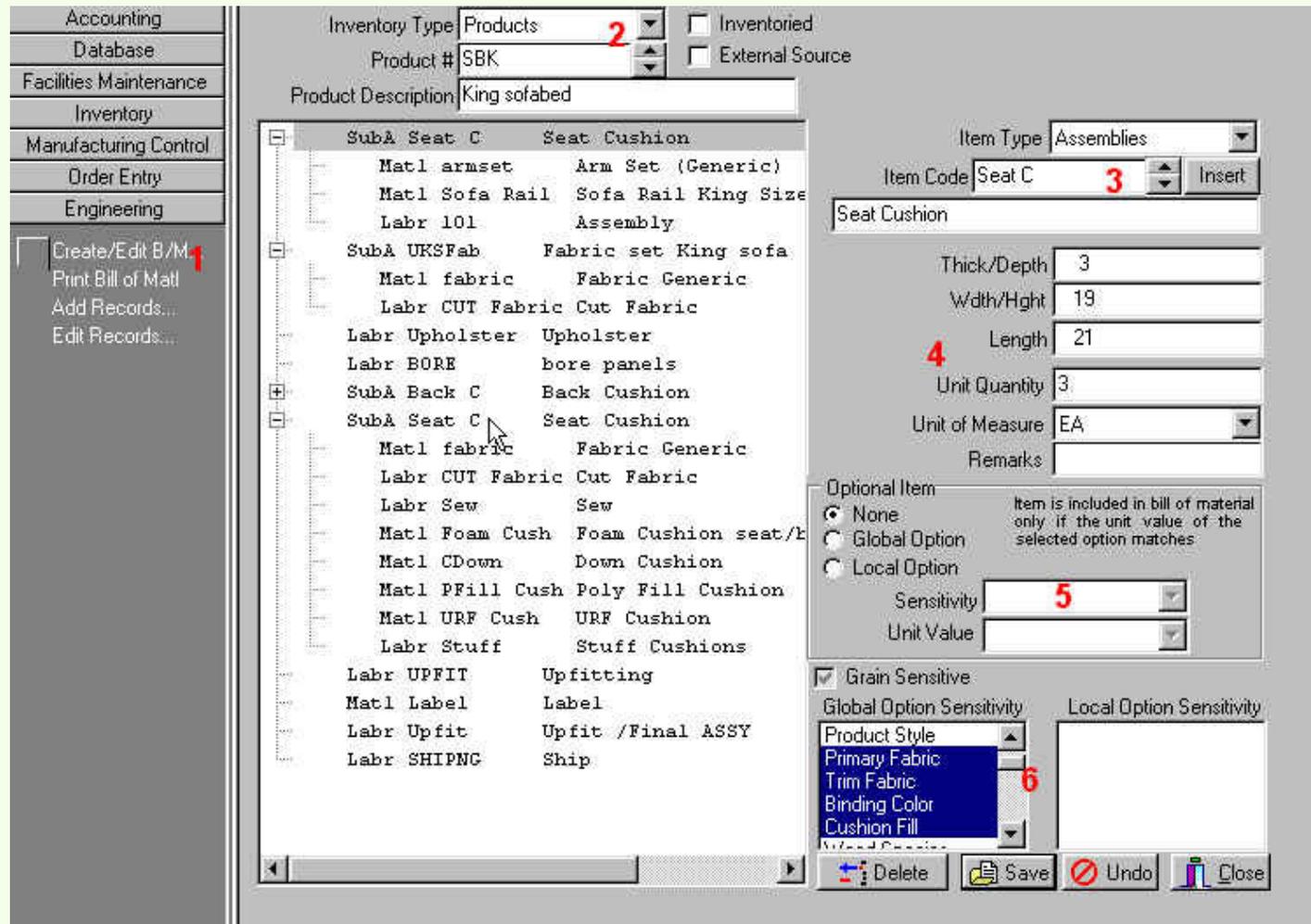
MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

The screenshot displays a software window titled "Bill of Material Structure (11.320.00)". The interface is divided into several sections:

- Header Section:** Contains fields for "BOM ID:" (ORETRO24), "Status:" (Active), "Site ID:" (200), and "Description:" (Premier Edition Retro-Bike (24' size)). There is also a "Component List" button and a "Stocking UOM:" field (EA).
- Tree View:** A hierarchical tree on the left shows the BOM structure. The root is ORETRO24, which branches into ORHANDBAR, ORFRAME24, ORFRONTWHEEL24, ORREARWHEEL24, and ORCRANK-ASSMBLY. The ORFRONTWHEEL24 folder is expanded, showing sub-components like ORFRONTHUB, ORRIM24, ORSPOKE24, and ORTIRE24.
- Component Info Panel:** This panel is active and shows details for the selected component, ORFRONTHUB. It includes:
 - Fields for ID (ORFRONTHUB), Description (Front Wheel Hub), Product Class ID (MMGWO), and Mfg. Class ID.
 - Checkboxes for "Stock Item" (checked) and "Kit" (unchecked), and "Verify Quantities" (checked) and "Custom Item" (unchecked).
 - Fields for Buyer (DB), ABC Code (B), Default Site ID (200), Stocking UOM (EA), Purchase UOM (EA), Sales UOM (EA), and Default Whse Loc (00).
 - Fields for Type (Component Part), Source (Purchased), Valuation Method (LIFO), Lot/Serial Tracked (None), Transaction Status (Active), Product Mgr ID, Material Type (HARD), and Tax Category (TAXABLE).
- Footer:** Shows user information: "0060", "SYSADMIN", and the date "3/20/2001".

Gestão de Lista de Materiais

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Gestão de Lista de Materiais

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

Product # WT3872 Products Program Cost

1 Wood Table 38"W X 72" long

General Order Options Product Options

WT3872
Wood Table 38"W X 72" long

Thickness 30
Width 38
Length 72
Quantity 1.0

020	TOP###OAK	1.000
021		0.000
022	Top###MAP	0.000
023		0.000
024		0.000
030	TBLLEG	4.000
040	railtboak	2.000
020	tbrailoak	239.286
300	CUTSZ	160.000
300	MOULD	200.000
042	railtboak	2.000
043	scr802	27.500
045	Upfit	100.000
050	INSPECT	100.000
100	Paper	0.000
110	Paperpack	0.000
200	Ctn	1.000
210	Ctnpack	100.000
300	SHIPNG	100.000

3 File DYNAMHT3.USR
Line Number 42 PCS-cut
Part # railtboak J1-000012
Table Rail Oak
Reason
Quantity 2.00
Thick/Depth 0-3/4 4
Width/H 3-1/2
Length 33
H1-000008
Remarks

5

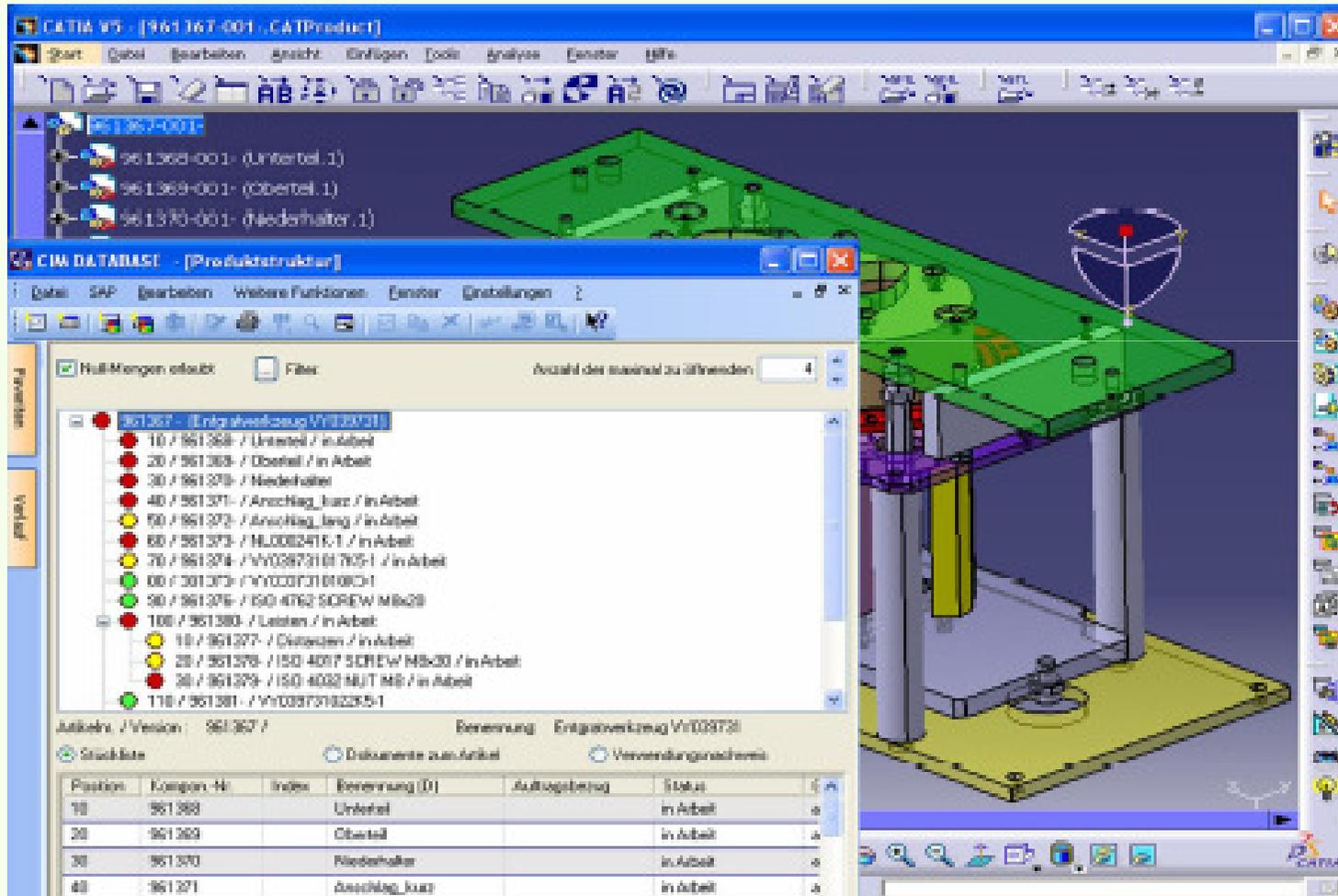
Grain OK
 External Source
 Inventoried
 Packing List
 Optimized
 Default Used
 Grain Sensitive

Include all lower levels

Generate Now Print Export Close

Gestão de Lista de Materiais

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD



Gestão de Lista de Materiais

MODELAGEM E BASE DE DADOS NO CAD

<i>Tipo de material usado</i>	<i>Ferramentas e matrizes usadas</i>
Nome da peça Produto pai Nº de classificação Unidades de medida Origem da peça Nº da versão Status da produção Nº do desenho Arquivo de descrição da peça	Nº de identificação da peça Quantidade necessária Tipo de peça padronizada Nº do plano de processos Peso da peça Valor da peça Formato do desenho

Informações típicas que podem ser encontradas numa lista de materiais

INTERFACES PADRONIZADAS PARA CAD/CAD/CAM

- Estudos realizados em 1998 na Alemanha → somente a indústria automobilística e seus 900 fornecedores utilizavam \approx 110 diferentes tipos de sistemas CAD.
- Ambiente diversificado de sistemas → altíssimo custo de retrabalho manual dos dados transferidos.
- Somente nas empresas automotivas alemãs → custos com retrabalho em 1993 \approx US\$ 43 milhões por ano.
- Custo da troca de dados do produto \approx US\$ 25,00 por veículo, o que equivaleria a US\$ 350 milhões anuais para a indústria automobilística dos Estados Unidos.

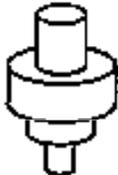
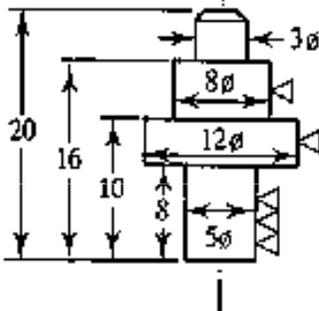
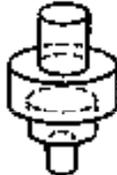
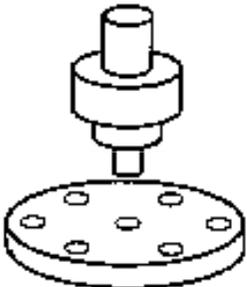
INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- Computador → problema de interligar os vários sistemas de software e hardware!
- 1^{os} sistemas de planejamento e controle computadorizados → projetados e configurados para aplicações dedicadas → extremamente difícil usar módulos de software e hardware desenvolvidos para uma fábrica e usá-los para a configuração de um sistema de planejamento e controle numa outra fábrica.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

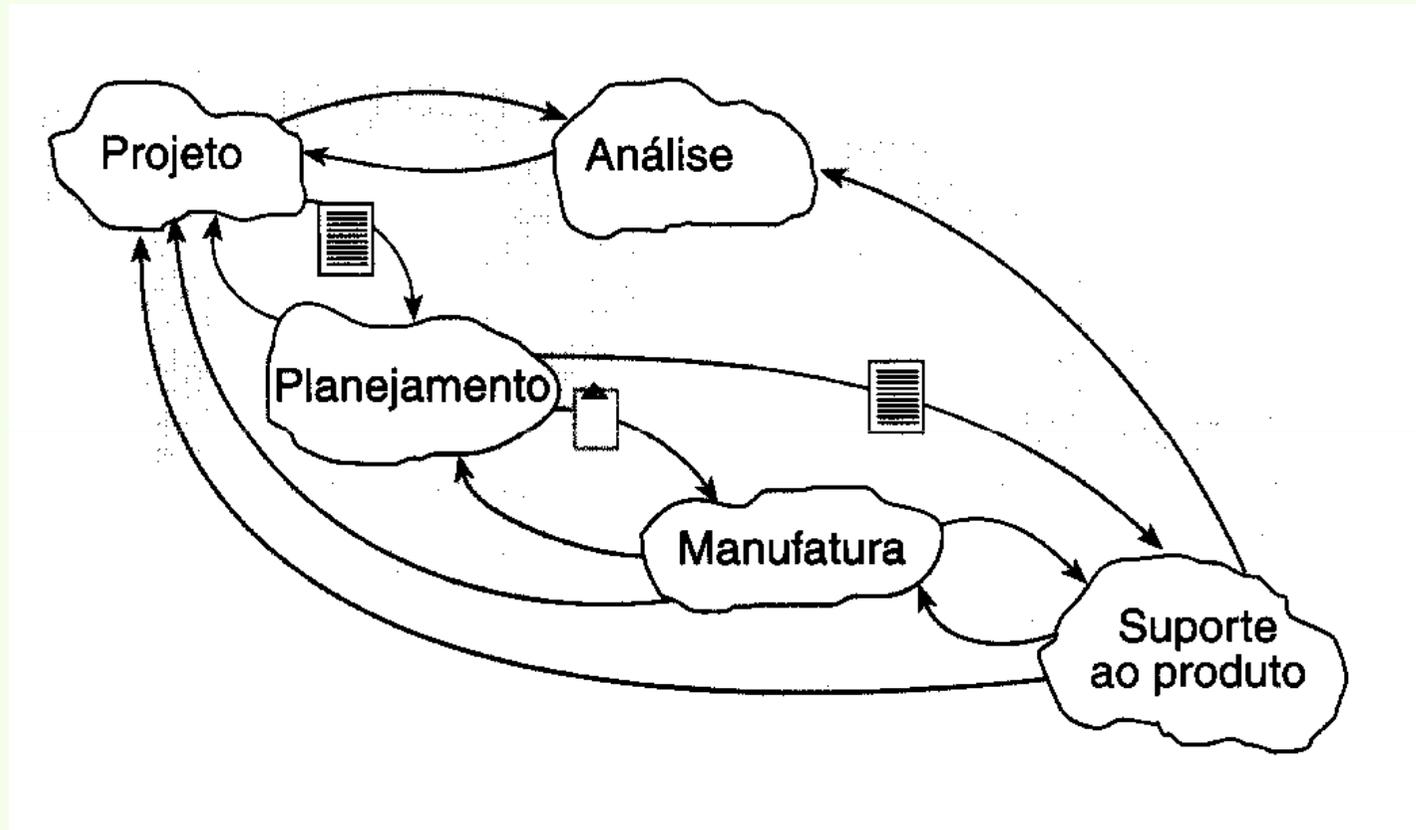
- Conseqüência → atividades de padronização em quase todos os países industrializados.
- Tentativa para produzir normas internacionais para conceber interfaces padrão para interligar sistemas CAD e CAM → transferir dados de projeto para as atividades de planejamento da manufatura.
- Informações comunicadas através das interfaces:
 - dados gráficos,
 - de desenho,
 - geométricos,
 - do produto.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

Dados Gráficos	Dados de Desenho	Dados Geométricos	Dados do Modelo do Prod.
		 p.ex. wireframe	
2-D/3-D vetorial 2-D/3-D raster	Geometria 2-D Dimensões Projeções	2-D/3-D wireframe Modelo de superfície 3-D Modelo volumétrico	Estrutura do produto Geometria "Features"

Informações do produto que são comunicadas entre atividades de CAD e CAM

INTERFACES PARA CAD/CAM



Troca de dados entre algumas atividades numa empresa

INTERFACES PARA CAD/CAM

- Dados usados para:
 - planejamento do processo,
 - agendamento (“scheduling”),
 - manufatura,
 - controle de qualidade.

INTERFACES PARA CAD/CAM

- Sistemas de troca de dados atuais → não oferecem suporte para a integração informatizada entre os diversos setores de uma empresa → torna-se cada vez mais complexo e gera consideráveis elevações de custos → exigências do mercado estão cada vez mais rigorosas com relação ao tempo de desenvolvimento de novos produtos.
- Quantidade de sistemas comerciais nos últimos anos ↑ → intuito de aumentar a eficiência dos sistemas produtivos.
- Entretanto → sistemas só conseguem aumentar a eficiência num setor da empresa isoladamente.

INTERFACES PARA CAD/CAM

- Mesmo com a utilização de todos estes sistemas CAx → vários problemas ocorrem com a troca de informações, porque são poucos os sistemas que se comunicam efetivamente e porque os arquivos são armazenados num formato próprio de cada software.
- Conversão de arquivos sem uma interface padronizada → gera custos e exige um número muito grande de processadores.
- Utilização de uma interface padronizada:
 - garante a qualidade dos dados exportados;
 - reduz o número de processadores → facilita a manutenção dos softwares.

INTERFACES PARA CAD/CAM

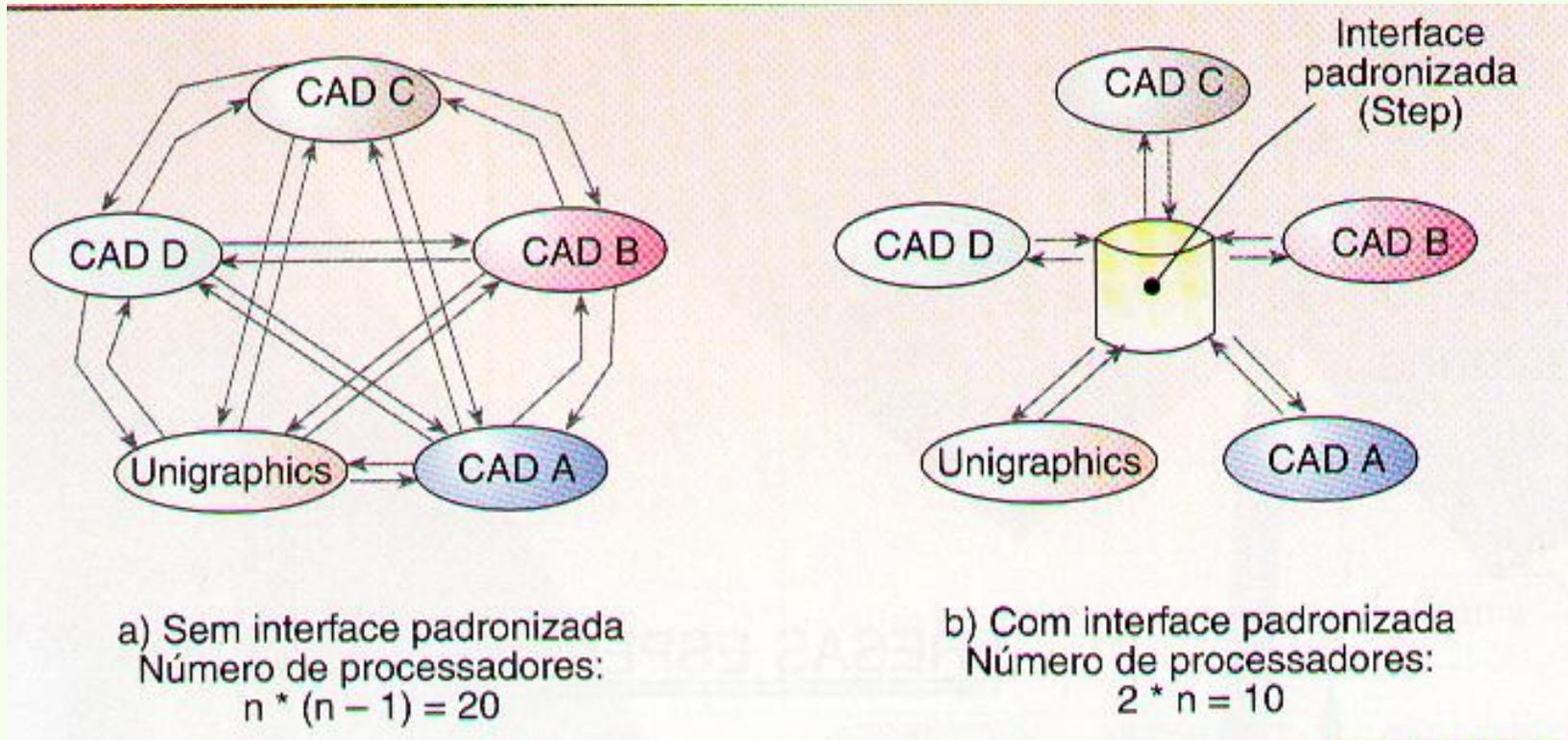
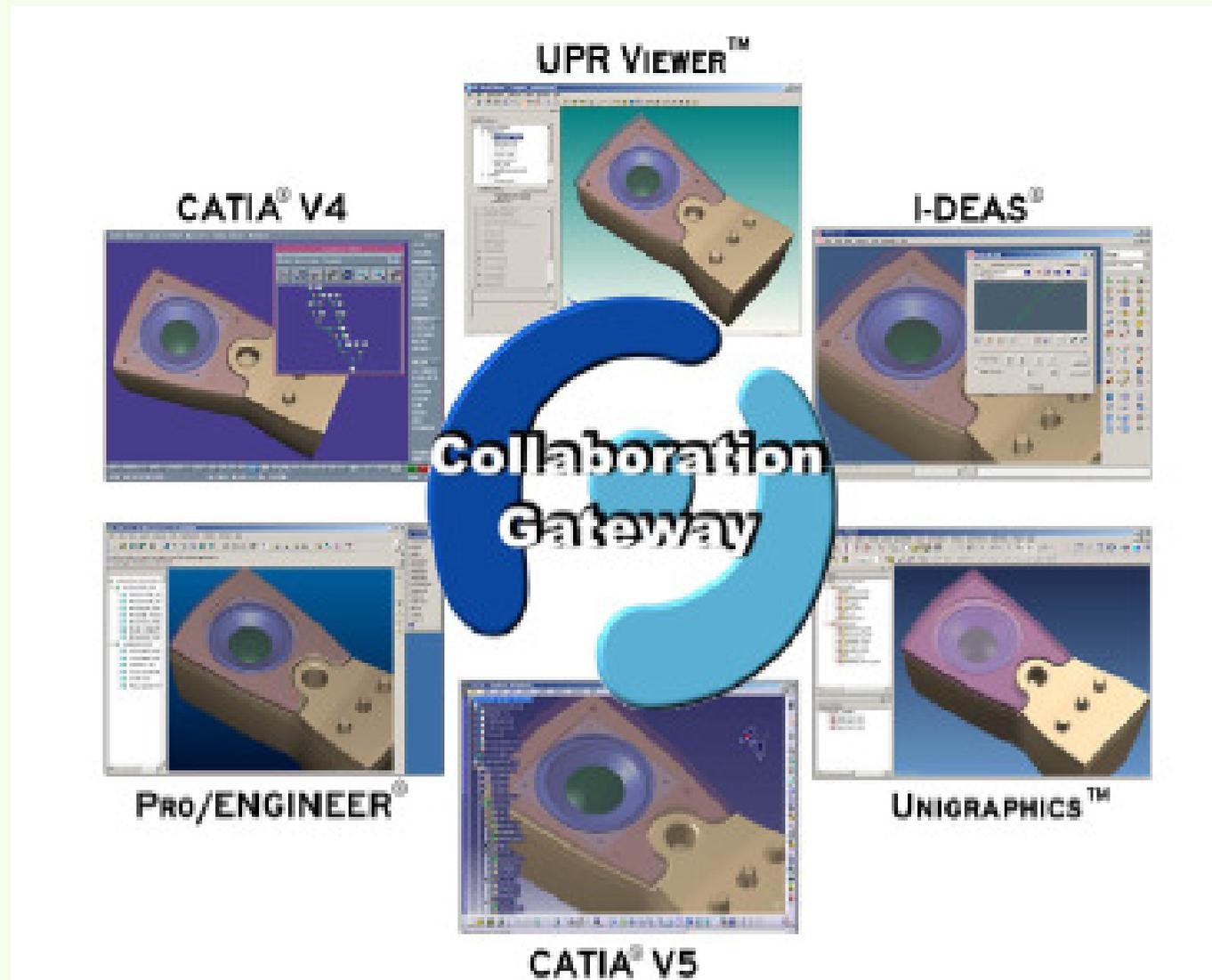


Ilustração da vantagem no desenvolvimento de uma interface padronizada para a troca de dados entre sistemas

INTERFACES PARA CAD/CAM

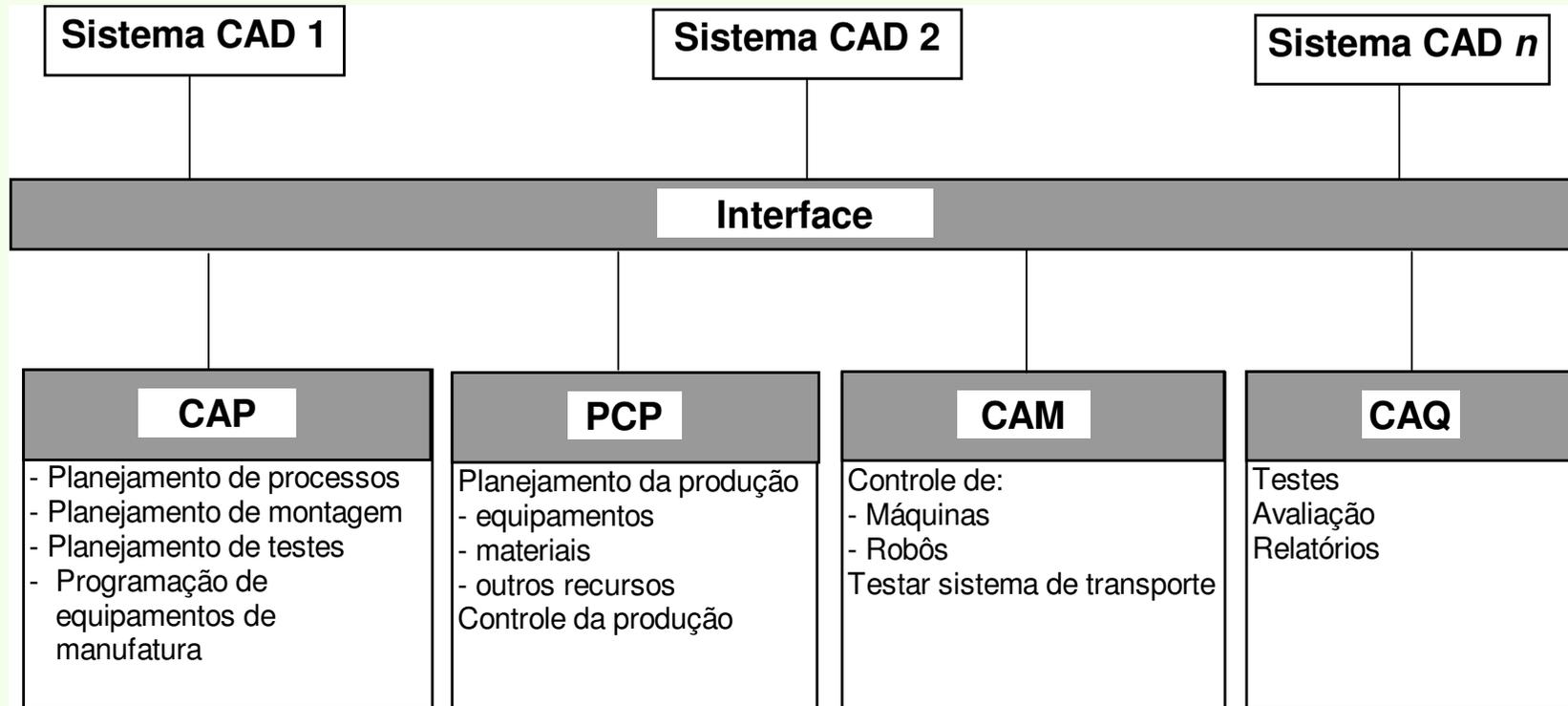


“Portal de Colaboração”

INTERFACES PARA CAD/CAM

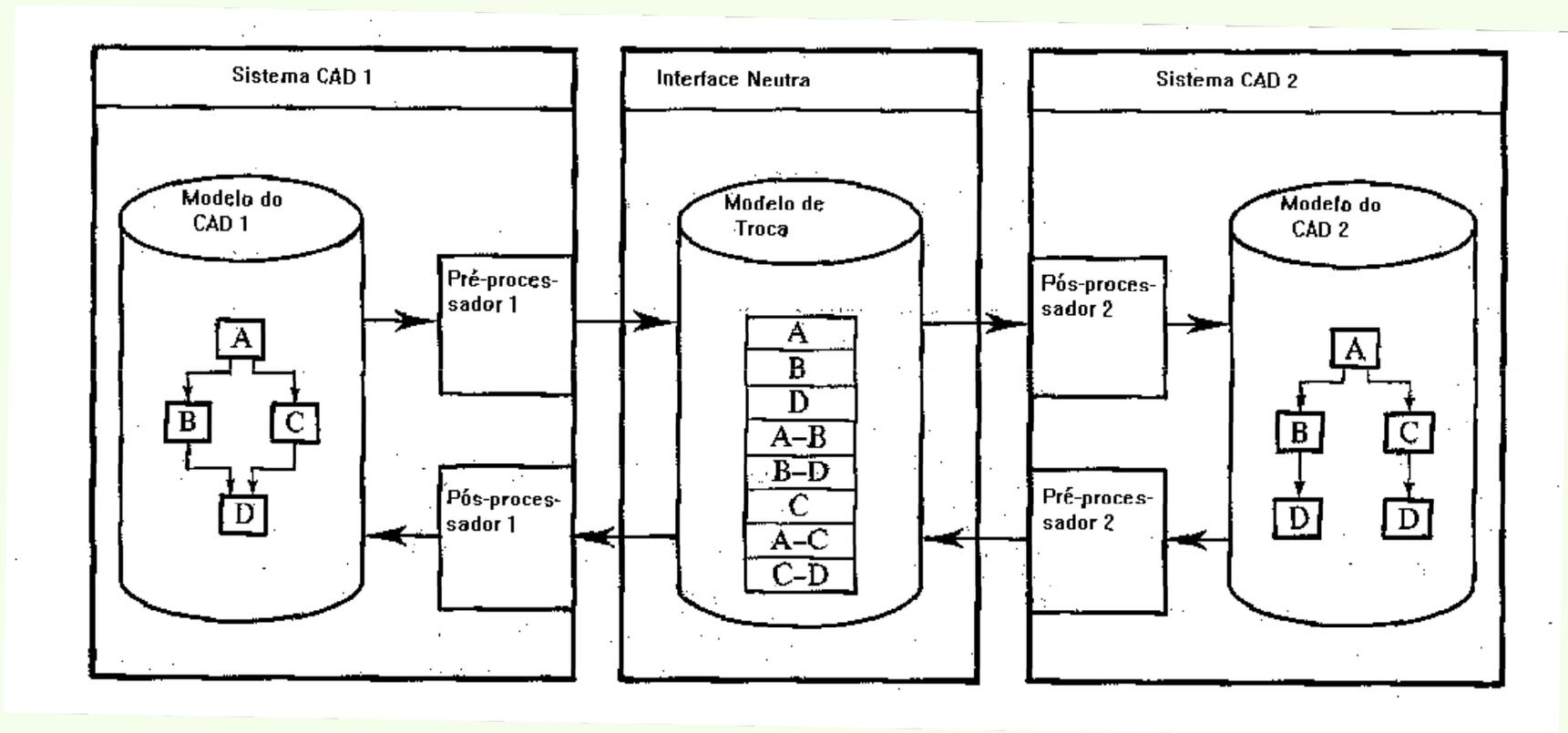
- Conceito de sistema universal de troca de dados:
 - Vários sistemas CAD comunicando-se com o sistema de planejamento e controle da produção.
 - Interface é responsável por:
 - adaptação de protocolos,
 - formatos de dados,
 - taxas de transmissão de dados,
 - fornecer compatibilidade elétrica e física,
 - manter a semântica das informações trocadas.
 - Conversão de dados → pode ser feita diretamente na interface com pré- ou pós-processadores.

INTERFACES PARA CAD/CAD e CAD/CAM



Interface universal para a interligação de atividades de planejamento e controle feitas pelo computador num sistema de manufatura

INTERFACES PARA CAD/CAM



Troca de modelos da CAD entre diferentes sistemas CAD

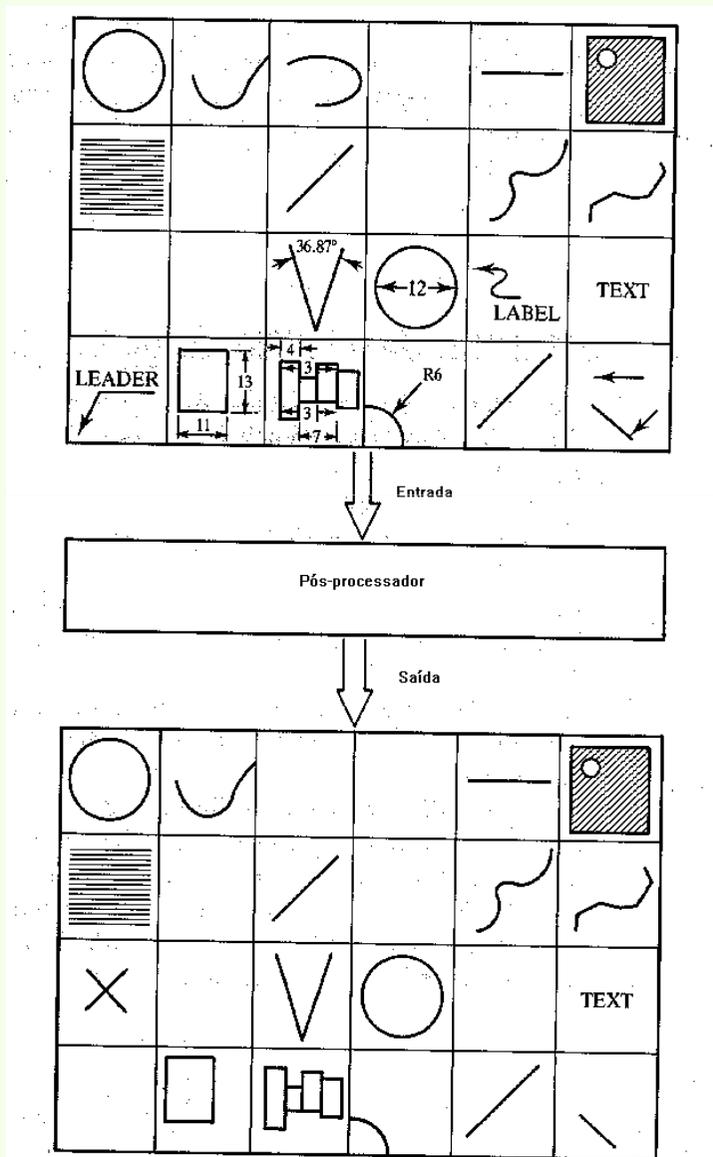
INTERFACES PARA CAD/CAM

- Pode-se através da interface:
 - usar módulos de software e hardware existentes para várias aplicações na fábrica;
 - os dados de manufatura de uma empresa podem ser facilmente combinados com aqueles de fornecedores;
 - construir sistemas de planejamento e controle da manufatura a partir de módulos heterogêneos desenvolvidos por diferentes fornecedores.

INTERFACES PARA CAD/CAM

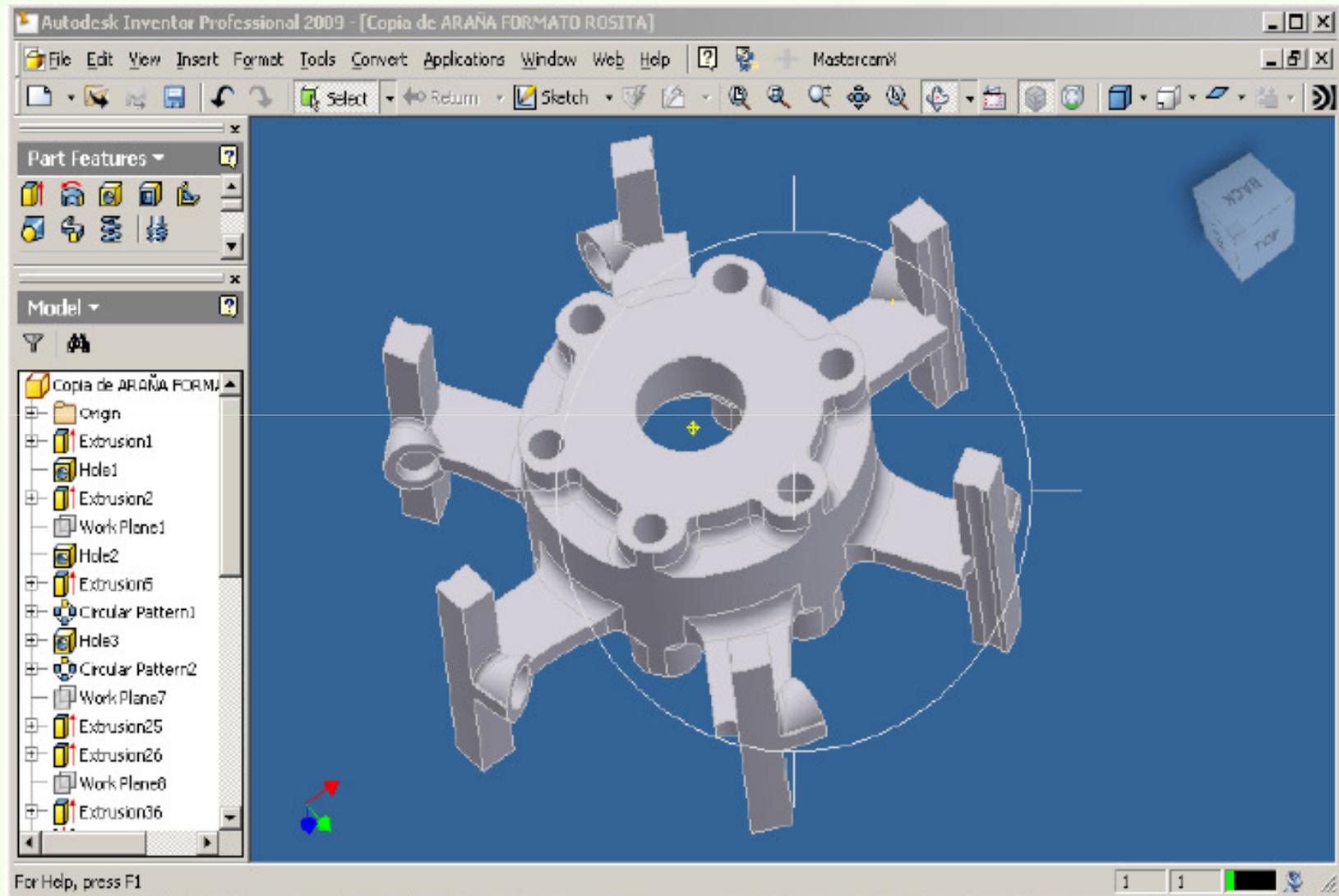
- Exigências de uma interface padronizada:
 - Deve ser capaz de manusear todos os dados de manufatura;
 - Não deve haver perda de informações quando os dados são transferidos entre sistemas heterogêneos;
 - Deve ser eficiente e capaz de satisfazer as exigências de tempo real de um sistema de manufatura;
 - Deve ser aberta para permitir extensões ou contrações;
 - Deve ser adaptável a diferentes padrões;
 - Deve ser independente do computador e arquitetura de comunicação utilizados;

INTERFACES PARA CAD/CAM



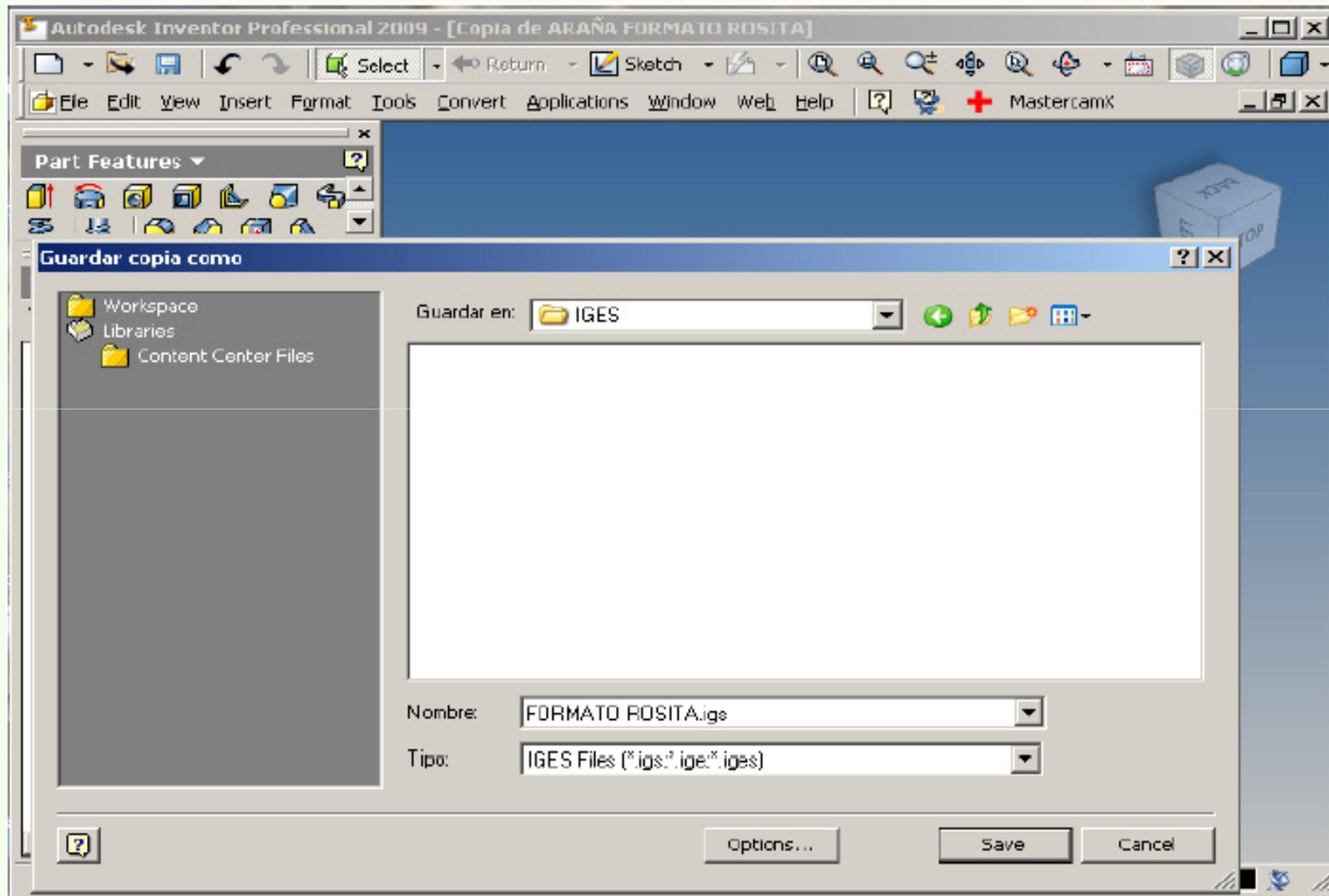
Avaliação de um pós-processador (houve problemas com dimensões e texto)

INTERFACES PARA CAD/CAM



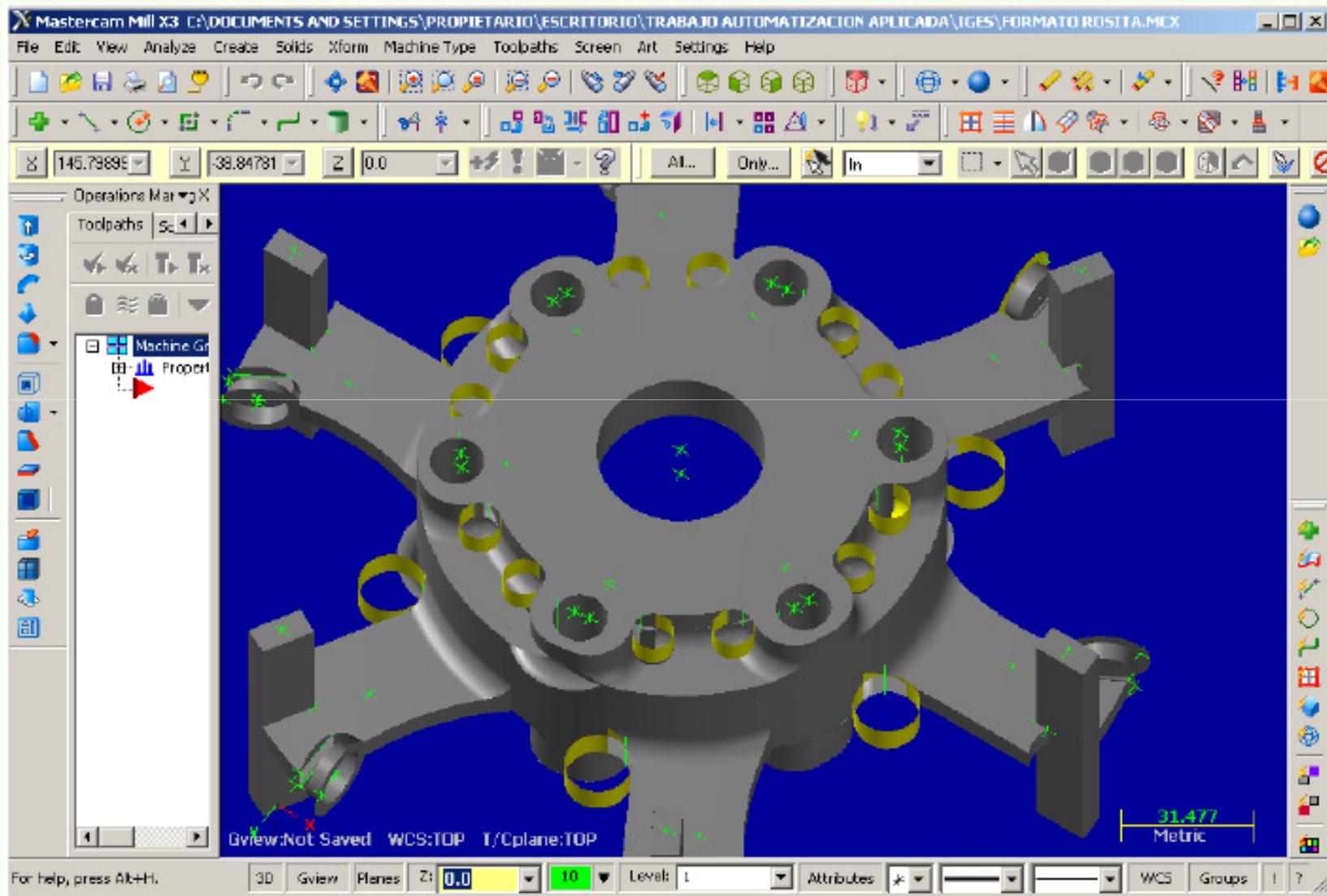
Peça modelada em um software comercial de CAD

INTERFACES PARA CAD/CAM



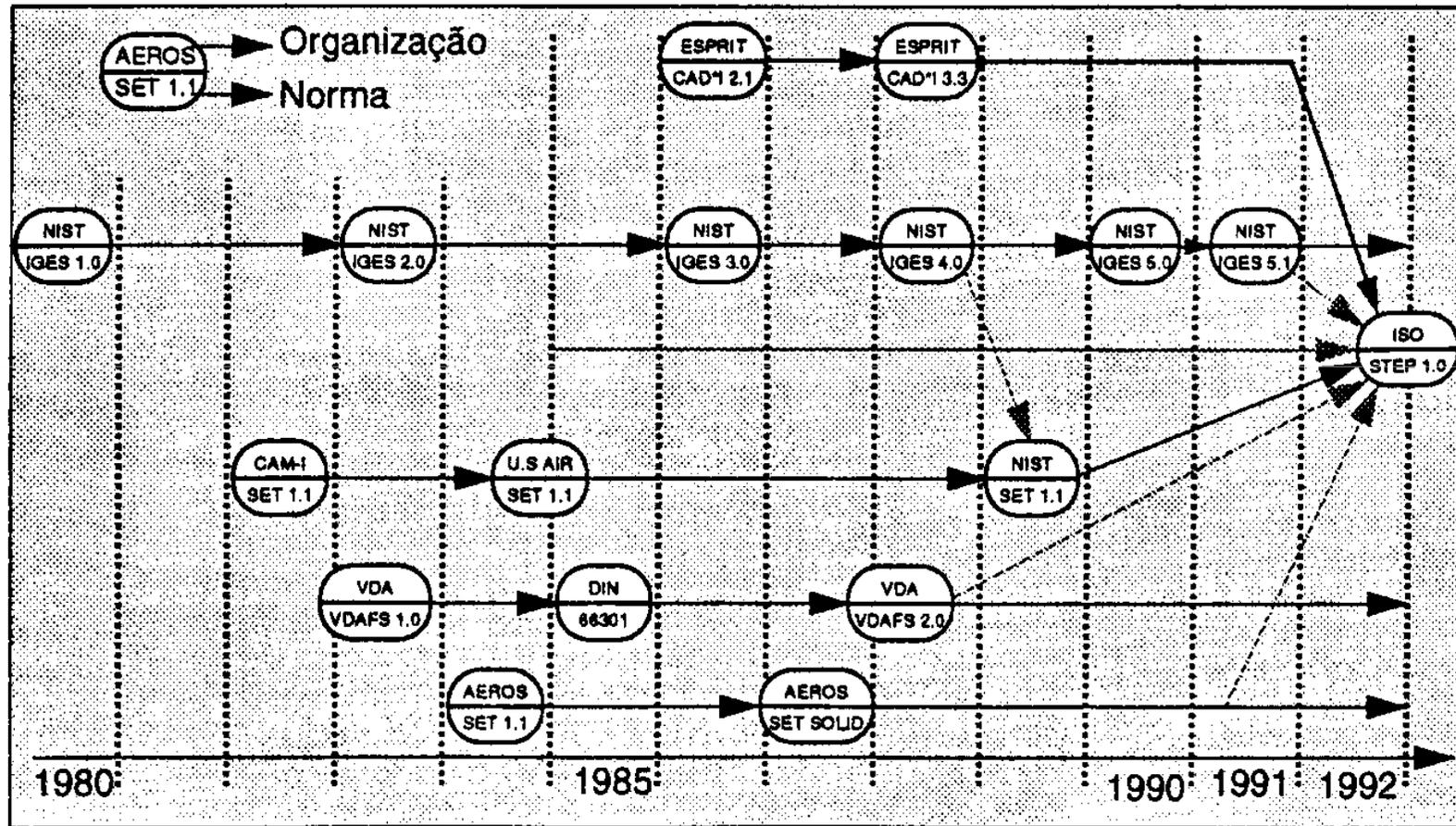
Exportação para um formato neutro

INTERFACES PARA CAD/CAM



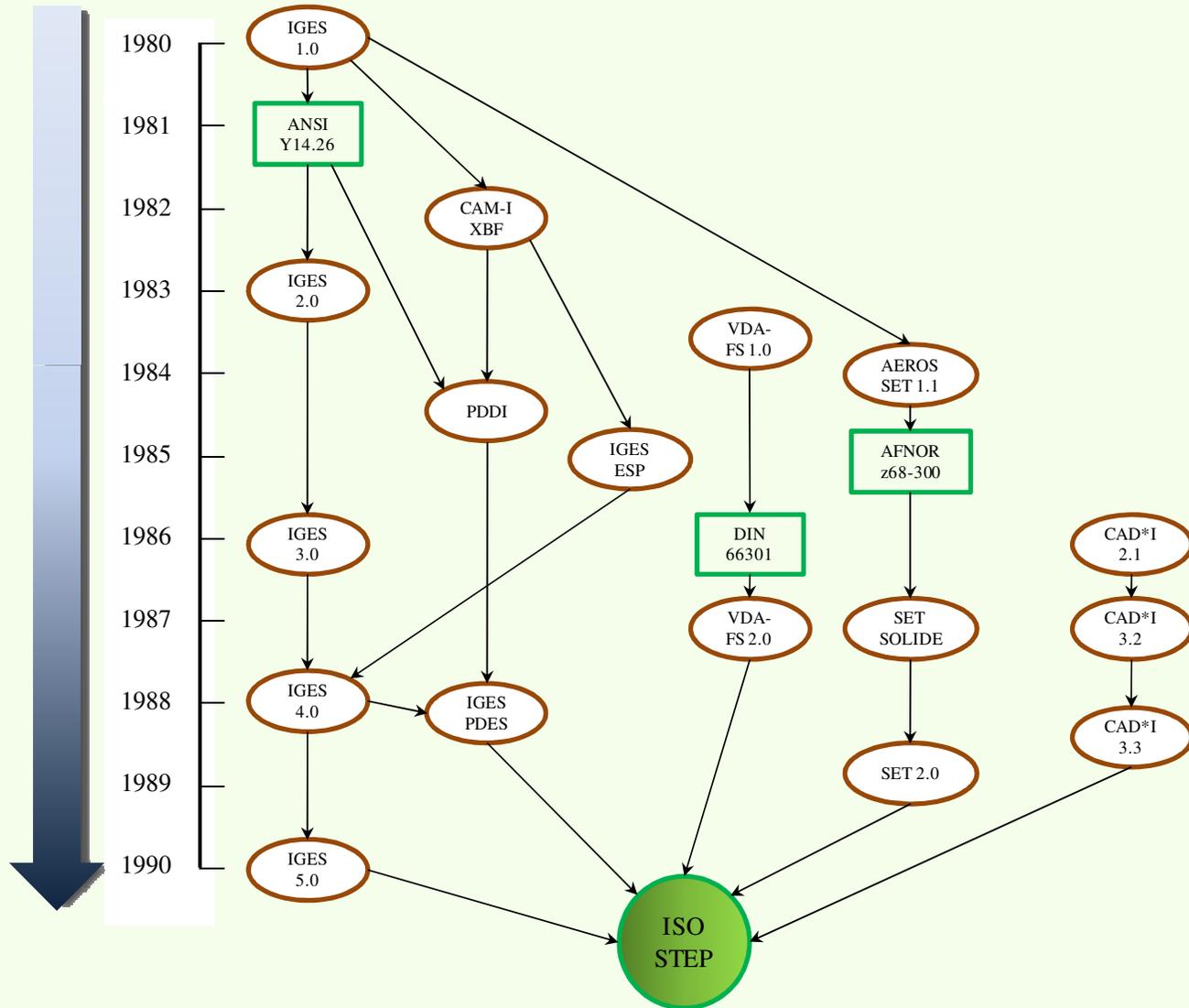
Pontos amarelos no software comercial de CAM indicando imperfeições na importação

INTERFACES PARA CAD/CAM



A evolução histórica do desenvolvimento de normas de padronização de interfaces

INTERFACES PARA CAD/CAM



A evolução histórica do desenvolvimento de normas de padronização de interfaces

INTERFACES PARA CAD/CAM

- **IGES (“Initial Graphics Exchange Specification”):**
 - Conceito básico → troca de dados contendo a descrição do produto de um sistema CAD para outro → através de um formato neutro (ver figura).
 - Informações a serem transferidas → convertidas através de um pré-processador para o formato neutro especificado pelo IGES → então convertidas através de um pós-processador para o formato próprio do outro sistema CAD.
 - Sistemas CAD devem estar equipados com os pré e pós-processadores correspondentes.
 - IGES tenta representar desenhos técnicos; modelos wireframe, de superfície e sólidos; modelos de elementos finitos; etc.

INTERFACES PARA CAD/CAM

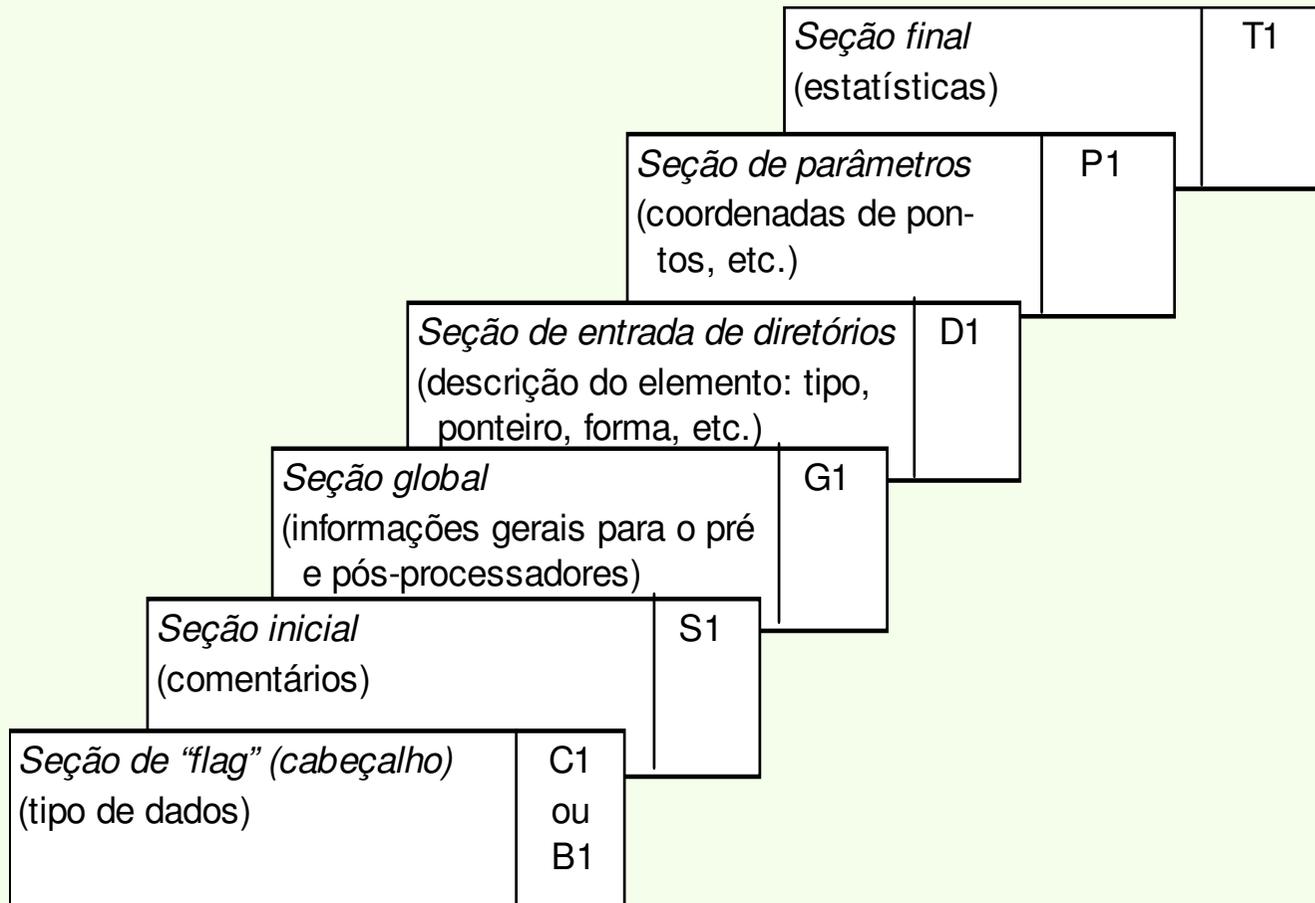
<i>Versão</i>	<i>Ano</i>
IGES - Versão 1.0	1981
IGES - Versão 2.0	1983
IGES - Versão 3.0	1984
IGES - Versão 4.0	1986
IGES - Versão 5.0	1988

As versões do formato IGES desenvolvidas até hoje foram as seguintes

INTERFACES PARA CAD/CAM

- Versão 1.0 → concebida para os sistemas CAD dos anos 70.
- Atualmente → maioria dos softwares incluem as versões 2.0 e 3.0.
- IGES → contém registros de 80 caracteres de comprimento que são apresentados através de 80 colunas num formato de cartão:
 - colunas 1-72 → informações em código ASCII;
 - colunas 73-80 → um caractere alfabético seguido de um número de série para indicar as seções.
- Arquivo IGES → 6 partes

INTERFACES PARA CAD/CAM



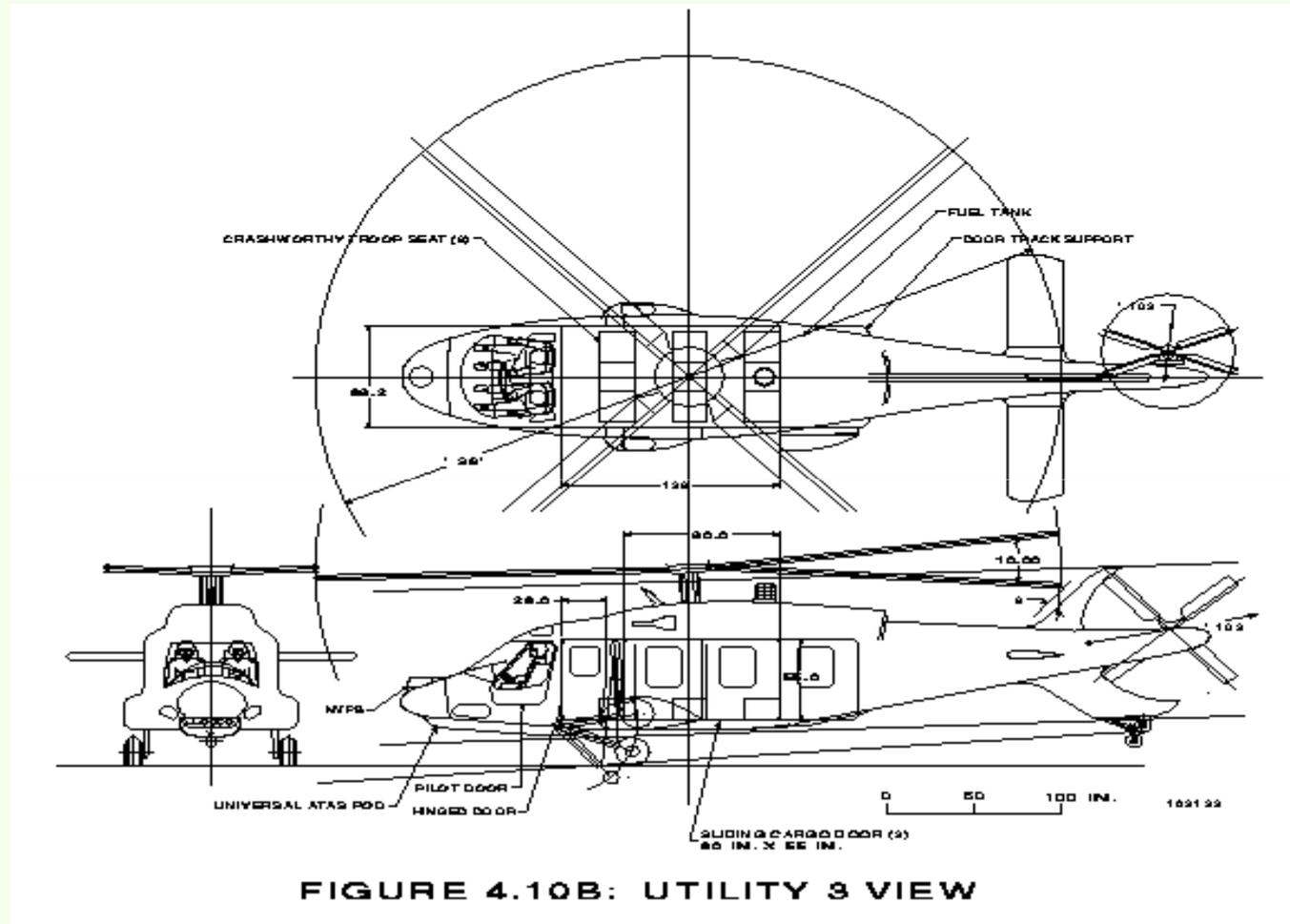
Seções de um arquivo IGES

INTERFACES PARA CAD/CAM

```
IGES file generated from an AutoCAD drawing by the IGES          S0000001
translator from Autodesk, Inc., translator version IGESOUT-3.04.  S0000002
,, 7HUNNAMED,29HD:\TXT\SIM\APOSTILA\FIG3_17.I,13HAutoCAD-12_c1,12HIGESOUTG0000001
-3.04,32,38,6,99,15,7HUNNAMED,1.0,1,4HINCH,32767,3.2767D1,13H980212.1614G0000002
22,9.0D-9,9.0,13HDENISE ANDREA,14H DENISE ANDREA,6,0;          G0000003
  110          1          1          1          00000000D0000001
  110          1          1          1          D0000002
  124          2          1          1          00000000D0000003
  124          1          1          0          D0000004
  110          3          1          1          00010000D0000005
  110          1          1          1          D0000006
  110          4          1          1          00010000D0000007
  110          1          1          1          D0000008
  110          5          1          1          00010000D0000009
  110          1          1          1          D0000010
  110          6          1          1          00010000D0000011
  110          1          1          1          D0000012
  102          7          1          1          0          00000001D0000013
  102          1          1          1          D0000014
110,4.0,7.0,0.0,9.0,6.0,0.0;          1P0000001
124,1.0,0.0,0.0,0.0,0.0,-1.0,0.0,0.0,0.0,0.0,-1.0,0.0;      3P0000002
110,5.0,5.0,0.0,5.0,2.0,0.0;          5P0000003
110,5.0,2.0,0.0,8.0,2.0,0.0;          7P0000004
110,8.0,2.0,0.0,8.0,5.0,0.0;          9P0000005
110,8.0,5.0,0.0,5.0,5.0,0.0;          11P0000006
102,4,5,7,9,11;          13P0000007
S0000002G0000003D00000014P0000007          T0000001
```

Arquivo IGES que inclui uma reta de (4,0;7,0) a (9,0;6,0), e um quadrado de lados = 3,0

INTERFACES PARA CAD/CAM



Desenho de um helicóptero que pôde ser representado no formato IGES

INTERFACES PARA CAD/CAM

- IGES suporta as seguintes entidades (CSG):
 - Paralelepípedo
 - Cunha reta
 - Cilindro reto
 - Tronco de cone reto
 - Esfera
 - Torus
 - Elipsóide
 - Sólido de revolução
 - Sólido decorrente de extrusão linear
 - Árvore booleana
 - Montagem

INTERFACES PARA CAD/CAM

- Algumas das curvas que podem ser modeladas no IGES são:
 - Arco circular
 - Arco cônico
 - Linha
 - B-Spline
 - Curva composta

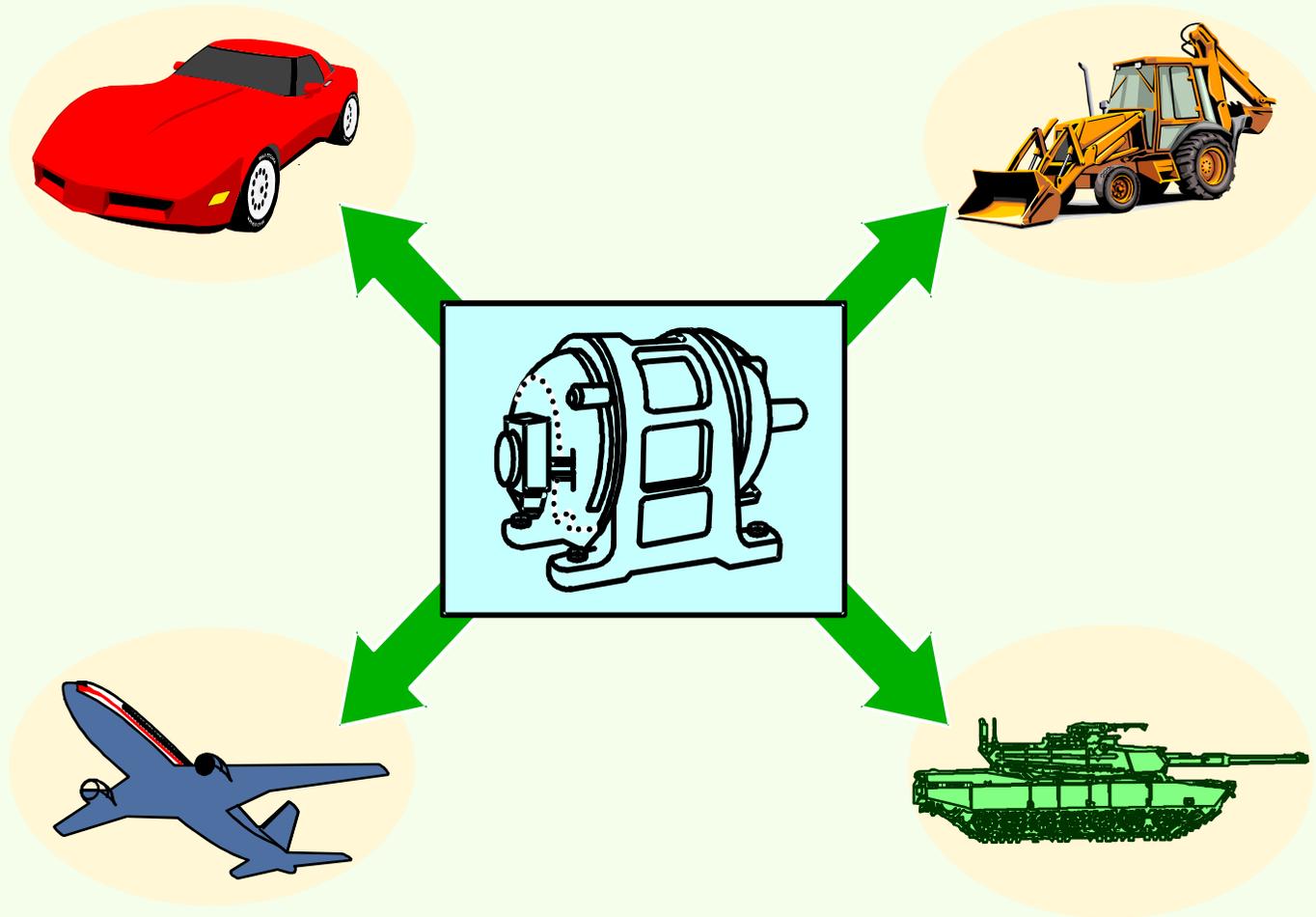
INTERFACES PARA CAD/CAM

- Problemas do IGES:
 - Versão 1.0 foi criticada devido ao seu tamanho e redundância enormes → problema parcialmente solucionado na versão 2.0 através da introdução do formato binário.
 - Definições repetidas entre a seção de entrada de dados e a seção de dados sobre parâmetros;
 - Arquivos não são muito legíveis.
 - Pré- e pós-processadores são freqüentemente de qualidade insuficiente → empresas que os fornecem procuram manter direitos de propriedade → combinação funcional de um-para-um entre as informações transferidas entre dois sistemas CAD não é freqüentemente obtida.
 - Versões mais recentes do IGES também têm problemas. Por exemplo, versão 3.0 não inclui sólidos.

INTERFACES PARA CAD/CAM

- **STEP (“Standard for External Representation of Product Data”)**
 - Esforço internacional para desenvolver:
 - um padrão para representar um produto;
 - um formato de troca de todas as informações sobre o ciclo de vida do produto.
 - Série de padrões com o objetivo de fornecer um mecanismo comum para representar dados de um produto independente de qualquer software de aplicação que possa vir a ser usado.
 - Princípios básicos do STEP estão ilustrados na próxima figura → nela vê-se um S.M.I.C. onde dados de CAD são ligados através de uma interface do STEP às atividades principais de produção tais como CAP, PCP, CAM e CAQ.

INTERFACES PARA CAD/CAM



Já existem mais de um milhão de estações de CAD habilitadas com STEP em todo o mundo

INTERFACES PARA CAD/CAM

Enterprises

Aerospacial
Boeing
British Aerospace
EDF
ESA
Ford
General Dynamics
General Electric
General Motors
Hitachi Zosen
IBM
Lockheed Martin
NASA
Newport News
Peugot
Raytheon
Samsung
Toyota

CAD Vendors

SGI Alias, Bentley, Unigraphics,
CADKEY, Cimatron, HZS, Entity
Systems (Alibre), Intergraph

CAE Vendors

Tecnomatix, Delmia

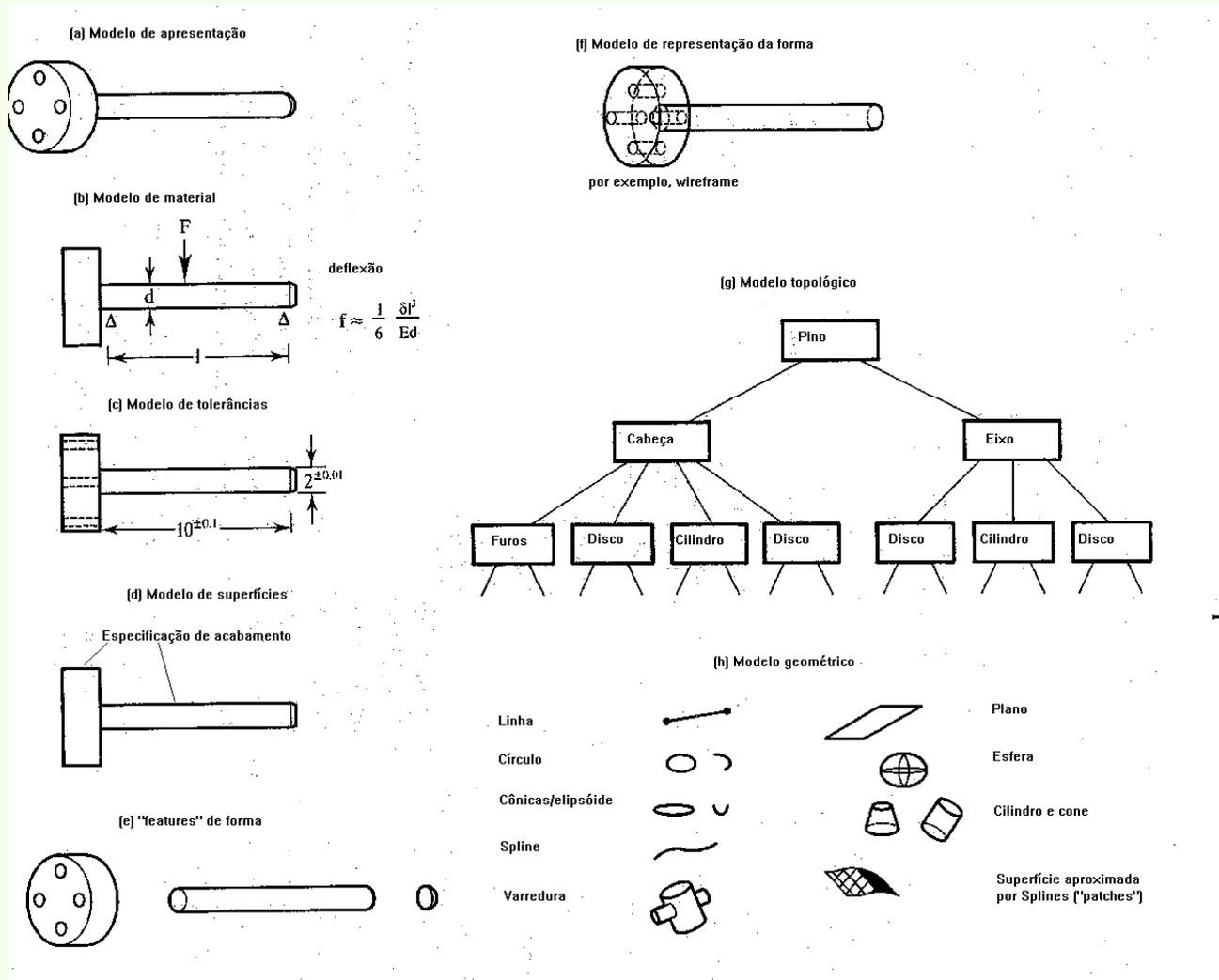
PDM Vendors

IMAN, Boeing DCAC/MRM
(Metaphase)

CAM Vendors

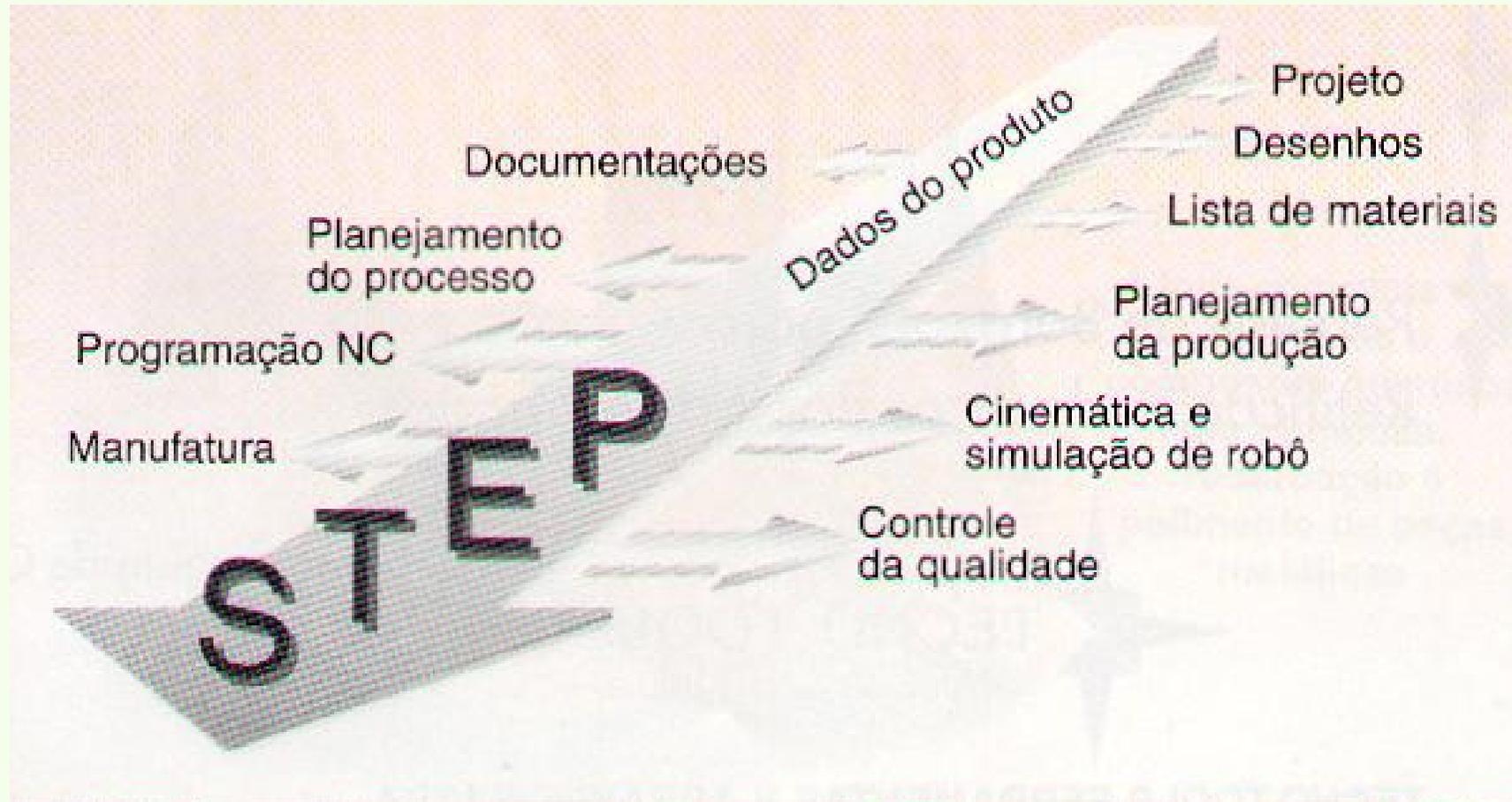
Bridgeport Controls, DelCAM, Licom,
Fanuc Robotics

INTERFACES PARA CAD/CAM



*Modelos no
STEP*

INTERFACES PARA CAD/CAM



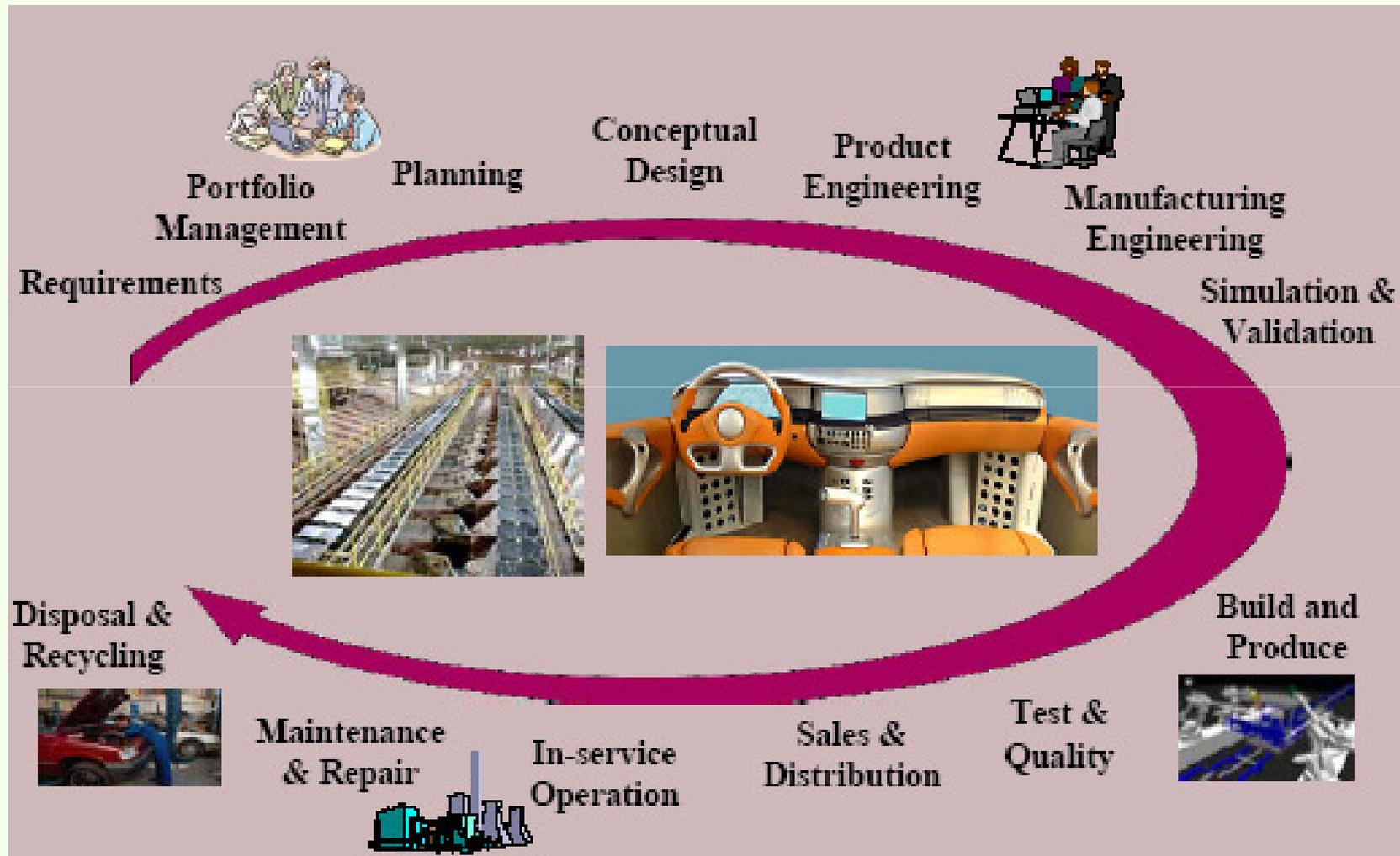
Integração das atividades de uma empresa promovida pelo formato padrão STEP

INTERFACES PARA CAD/CAM



Integração das atividades de uma empresa promovida pelo formato padrão STEP

INTERFACES PARA CAD/CAM



Ciclo de Vida de um produto

ISO TC184 SC4	STEP on a Page	ISO 10303
APPLICATION PROTOCOLS AND ASSOCIATED ABSTRACT-TEST SUITES		
<p>I 201 Explicit draughting (ATS 301 = W) I 202 Associative draughting (C) I 203 Configuration-controlled design (e2 = I) (C) C 204 Mechanical design using boundary rep (C) X 205 Mechanical design using surface rep (W) X 206 Mechanical design using wireframe (X) I 207 Sheet metal die planning and design (I) C 208 Life-cycle product change process (W) C 209 Composite & metal structural anal & related design (W) E 210 Electronic assy, interconnection & packaging design (W) X 211 Electronic P-C assy: test, diag, & remanuf (X) E 212 Electro-mechanical design and installation (W) I 213 Num. control (NC) process plans for mach'd parts (W) E 214 Core data for automotive mech design processes (W) W 215 Ship arrangement (W) W 216 Ship moulded forms (W) W 217 Ship piping (W) W 218 Ship structures (W) X 219 Dimension inspection (X) O 220 Proc. plg, mfg, assy of layered electrical products. (X)</p>	<p>C 221 Functional data & their schem rep for process plant (W) X 222 Design-manuf for composite structures (W) W 223 Exch of design & mfg product info for cast parts (W) I 224 Mech parts def for p. plg using mach'n g feat (I) (e2=W) I 225 Building elements using explicit shape rep (W) W 226 Ship mechanical systems (W) E 227 Plant spatial configuration (W) X 228 Building services: HVAC (X) X 229 Design & mfg product info for forged parts (X) W 230 Building structural frame: steelwork (W) C 231 Process-engineering data (W) C 232 Technical data packaging: core info & exch (W) W 233 Systems engineering data representation (A) W 234 Ship operational logs, records, and messages (A) W 235 Materials info for des and verif of products (A) W 236 Furniture product and project data A Systems engineering data: pres. O Neutral optical-data-interchange format (O) O Hi-level info plg model for prod l-c spt (O) O Integ of l-c data for oil/gas production facility</p>	
INTEGRATED-INFORMATION RESOURCES		
APPLICATION MODULES (Technical specifications)		
<p>A 1001 Appearance assignment A 1002 Colour A 1003 Curve appearance A 1004 Elemental shape A 1005 Elemental topological shape</p>	<p>A 1006 Foundation representation A 1007 General surface appearance A 1008 Layer assignment A 1009 Shape appearance and layers</p>	<p>TS Legend O=prop-->apvl for ballot A=NP blt circ-->NP apvl D=DTS dev-->reg as TS T=TS Published</p>
INTEGRATED-APPLICATION RESOURCES		
<p>I 101 Draughting (c1=I) X 102 Ship structures X 103 E/E connectivity E 104 Finite element analysis</p>	<p>I 105 Kinematics W 106 Building core model W 107 Engineering analysis Core ARM W 108 Parametric: Constructs for expl geom prod mdl</p>	
INTEGRATED-GENERIC RESOURCES		
<p>I 41 Fund of prod descr & spt (e2=E,c1=I) I 42 Geom & top rep (a1=W,e2=C,c2=I) I 43 Repres specialization (e2=E,c1=I) I 44 Product struct config (e2=E,c1=I) I 45 Materials (c1=I)</p>	<p>I 46 Visual presentation (c1=I) I 47 Tolerances X 48 Form features I 49 Process structure & properties W 50 Mathematical constructs</p>	
APPLICATION-INTERPRETED CONSTRUCTS		
<p>E 501 Edge-based wireframe E 502 Shell-based wireframe E 503 Geom-bounded 2D wire frame E 504 Draughting annotation E 505 Drawing structure & admin. E 506 Draughting elements E 507 Geom-bounded surface E 508 Non-manifold surface E 509 Manifold surface E 510 Geom-bounded wireframe</p>	<p>E 511 Topological-bounded surface I 512 Faceted B-representation E 513 Elementary B-rep I 514 Advanced B-rep F 515 Constructive solid geometry X 516 Mechanical-design context F 517 Mech-design geom presentation C 518 Mech-design shaded presentation F 519 Geometric tolerances I 520 Assoc draughting elements</p>	
IMPLEMENTATION METHODS		
<p>I 21 Clear-text encoding exch str (c1=I,e2=O) I 22 Standard data access interface E 23 C++ language binding (to #22) C 24 C language binding (to #22)</p>	<p>X 25 FORTRAN language binding (to #22) W 26 IDL language binding (to #22) C 27 JAVA language binding (to #22) W 28 XML rep for EXPRESS-driven data O 29 Litwt Java binding (to #22)</p>	
<p>Legend: Part Status (E, F, I safe to implement) 0=O=Preliminary Stage (Proposal-->appr for NP ballot) 10=A=Proposal Stage (NP ballot circ-->NP approval) 20=W=Preparatory Stage (Wkg Draft devel.-->CD regis)</p>		
<p>30=C=Committee Stage (CD circulation-->DIS regis) 40=E=Enquiry Stage (DIS circ.-->FDIS registration) 50=F=Approval Stage (FDIS circ.-->Int'l Std regis) 60=I=Publication Stage (Int'l Std approved & published) 98=X=Project withdrawn</p>		

Ijgnell, 89-O ct 23; rev. 00-02-08. Origin: ISO 10303 Editing Committee. On-line: <http://www.nist.gov/soc5/isoap/>

DESCRIPTION HEADS
 I 1 Overview and fundamental principles (Amend I=O)
 I 11 EXPRESS language reference manual (I, F, E, I, W, X)
 I 12 EXPRESS and its use in technical report; not a 10303 part)
 W 13 Architecture and methodology manual
 W 14 EXPRESS X Language reference manual

CONFORMANCE TESTING METHODOLOGY & FRAMEWORK
 I 31 General concepts
 I 32 Requirements on testing labs and clients
 X 33 Structure and use of abstract test suites
 E 34 Abstract test methods for Part 21: Intl
 W 35 Abstract test methods for Part 22: Intl (Approved for new scope)

INTERFACES PARA CAD/CAM STEP ON A PAGE

APPLICATION PROTOCOLS AND ASSOCIATED ABSTRACT-TEST SUITES

I 201 Explicit draughting (ATS 301 = W)	C 221 Functional data & their schem rep for process plant (W)
I 202 Associative draughting (C)	X 222 Design-manuf for composite structures (W)
I 203 Configuration-controlled design (c2 = I) (C)	W 223 Exch of design & mfg product info for cast parts (W)
C 204 Mechanical design using boundary rep (C)	I 224 Mech parts def for p. plg using mach'n'g feat (I) (s2=W)
C 205 Mechanical design using surface rep (W)	I 225 Building elements using explicit shape rep (W)
X 206 Mechanical design using wireframe (X)	W 226 Ship mechanical systems (W)
I 207 Sheet metal die planning and design (I)	E 227 Plant spatial configuration (W)
C 208 Life-cycle product change process (W)	X 228 Building services: HVAC (X)
E 209 Composite & metal structural anal & related design (W)	X 229 Design & mfg product info for forged parts (X)
E 210 Electronic assy, interconnection & packaging design (W)	W 230 Building structural frame: steelwork (W)
X 211 Electronic P-C assy, test, diag, & remanuf (X)	C 231 Process-engineering data (W)
E 212 Electrotechnical design and installation (W)	C 232 Technical data packaging: core info & exch (W)
E 213 Num control (NC) process plans for mach'd parts (W)	W 233 Systems engineering data representation (A)
E 214 Core data for automotive mech design processes (W)	W 234 Ship operational logs, records, and messages (A)
W 215 Ship arrangement (W)	W 235 Materials info for des and verif of products (A)
W 216 Ship moulded forms (W)	W 236 Furniture product and project data
W 217 Ship piping (W)	A Systems engineering data repres.
W 218 Ship structures (W)	O Neutral optical-data-interchange format (O)
X 219 Dimension inspection (X)	O Hi-level info plg model for prod l-c spt (O)
O 220 Proc. plg, mfg, assy of layered electrical products. (X)	O Integ of l-c data for oil/gas production facility

DESCRIPTION METHODS		INTEGRATED-INFORMATION RESOURCES		TS legend O=prop->apvl for ballot A=NP bit circ->NP apvl D=DTS dev->reg as TS T=TS Published
I 1 Overview and fundamental principles (Amend. 1=O) I 11 EXPRESS language ref man. (e2=W, c1=I, e2=C, a1=I) I 12 EXPRESS-1 language ref man. (Type 2 tech report, not a 10303 part) W 13 Architecture and methodology reference manual W 14 EXPRESS X Language reference manual		APPLICATION MODULES (Technical specifications) A 1001 Appearance assignment A 1002 Colour A 1003 Curve appearance A 1004 Elemental shape A 1005 Elemental topological shape A 1006 Foundation representation A 1007 General surface appearance A 1008 Layer assignment A 1009 Shape appearance and layers		
		INTEGRATED APPLICATION RESOURCES I 101 Draughting (c1=I) X 102 Ship structures X 103 E/E connectivity F 104 Finite element analysis I 105 Kinematics W 106 Building core model W 107 Engineering analysis Core ARM W 108 Parametric: Constructs for expl geom prod mdl		CONFORMANCE TESTING METHODOLOGY & FRAMEWORK I 31 General concepts I 32 Requirements on testing labor and clients X 33 Structure and use of abstract test suites I 34 Abstract test methods for Part 21 impl. W 35 Abstract test methods for Part 22 impl. (Approved for new scope)
		INTEGRATED-GENERIC RESOURCES I 41 Fund of prodct descr & opt (e2=E, c1=I) I 42 Geom & top rep (a1=W, e2=C, c2=I) I 43 Regress specialization (e2=E, c1=I) I 44 Product struct confg (e2=E, c1=I) I 45 Materials (c1=I) I 46 Visual presentation (c1=I) I 47 Tolerances X 48 Form features I 49 Process structure & properties W 50 Mathematical constructs		
		APPLICATION-INTERPRETED CONSTRUCTS F 501 Edge-based wireframe F 502 Shell-based wireframe F 503 Geom-bounded 2D wireframe F 504 Draughting annotation F 505 Drawing structure & admin. F 506 Draughting elements F 507 Geom-bounded surface F 508 Non-manifold surface F 509 Manifold surface F 510 Geom-bounded wireframe E 511 Topological-bounded surface I 512 Faceted B-representation E 513 Elementary B-rep I 514 Advanced B-rep F 515 Constructive solid geometry X 516 Mechanical-design context F 517 Mech-design geom presentation C 518 Mech-design shaded presentation F 519 Geometric tolerances I 520 Assoc draughting elements		
		IMPLEMENTATION METHODS I 21 Clear-text encoding exch str (c1=L, e2=O) F 22 Standard data access interface E 23 C++ language binding (to #22) C 24 C language binding (to #22) X 25 FORTRAN language binding (to #22) W 26 IDL language binding (to #22) C 27 JAVA language binding (to #22) W 28 XML rep for EXPRESS-driven data O 29 Lhat Java binding (to #22)		
Legend: Part Status (E, F, I safe to implement) 0=O=Preliminary Stage (Proposal->appr for NP ballot) 10=A=Proposal Stage (NP ballot circ->NP approval) 20=W=Preparatory Stage (Wkg Draft devel->CD regis)		30=C=Committee Stage (CD circulation->DIS regis) 40=E=Enquiry Stage (DIS circ->FDIS registration) 50=F=Approval Stage (FDIS circ->Int'l Std regis) 60=I=Publication Stage (Int'l Std approved & published) 98=X=Project withdrawn		

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- Norma STEP → descrita por um grande número de documentos ISO → documentos são organizados em séries, onde cada série representa uma seção funcional da norma.
- Métodos e princípios utilizados para o desenvolvimento da norma STEP → 5 categorias:
 - Métodos de descrição;
 - Métodos de implementação;
 - Metodologia de teste de conformidade e estrutura de trabalho;
 - Recursos para a integração da informação;
 - Protocolos de Aplicação e grupos associados de testes abstratos.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- **Métodos de Descrição**
 - Linguagem Express → método de descrição da norma STEP, e está normalizada como ISO 10303-11.
 - Express → ferramenta fundamental utilizada para descrever os modelos de informações e os Protocolos de Aplicação que compõem a norma.
 - similaridade sintática com Pascal e contém características de orientação a objetos.
 - Um dos elementos mais importantes no EXPRESS é a entidade, a qual possui atributos que podem constituir uma entidade ou podem se derivar dela.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- Exemplo do uso de EXPRESS:

*)

```
ENTITY cilindro_reto
```

```
SUBTYPE OF (primitiva_com_um_eixo);
```

```
raio :real;
```

```
posicao :axis 1_localizar;
```

```
altura :real;
```

```
WHERE
```

```
WR1 : raio > 0;
```

```
WR2 : altura > 0;
```

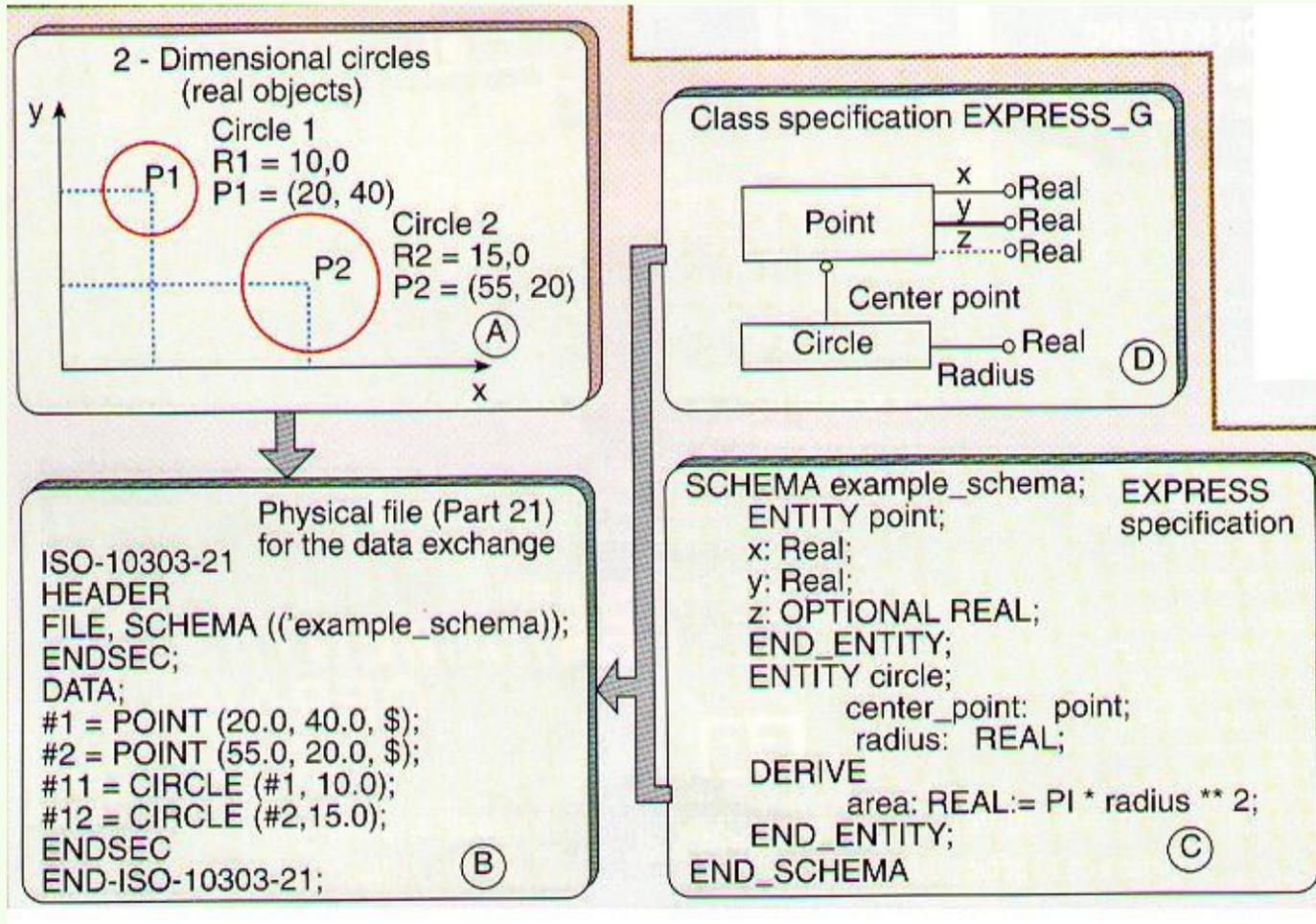
```
END_ENTITY;
```

(*

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- Uma das características da norma STEP é a extensibilidade.
- Com a utilização desta linguagem, o modelo do produto em STEP apresenta-se de forma consistente, sem contradições e ambigüidades.
- Para auxiliar a interpretação humana e na definição do modelo, foi desenvolvido o Express-G, que é uma representação gráfica da linguagem Express → grupo dos métodos de descrição compreende as séries 1 a 19.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM



*Descrição de
 círculos em
 Express e
 representação
 do arquivo
 físico*

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- **Método de Implementação**
 - Grupo de métodos de implementação, que corresponde à série 20 das normas STEP → utilizado para transferir os dados de uma aplicação definida em Express para outros aplicativos como, p.ex. o arquivo físico (para a troca de dados entre diferentes sistemas CAD).
 - Interface de acesso de dados normalizada (SDAI, de *Standard Data Access Interface*) é outro método de implementação que os desenvolvedores de software utilizam para manipular os dados definidos em Express. As linguagens de programação especificadas para o desenvolvimento de aplicações são: C, C++, Fortran, IDL, Java e XML.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- *Metodologia de ensaio para conformidade e estrutura*
 - Grupo de metodologias de ensaio para conformidade e estrutura (série 30) → providencia métodos e princípios básicos para testar a conformidade de implementações de qualquer Protocolo de Aplicação ou combinação de APs da STEP.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- **Recurso para a integração da informação**
 - Contém os modelos de dados genéricos da norma STEP e podem ser considerados os blocos construtores da norma STEP.
 - Auxiliam a integração dos APs, o que facilita a operação interna, uma vez que cada entidade pertencente a este grupo é partilhada entre os Protocolos de Aplicação que necessitam delas.
 - Dividido em 4 outros grupos.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- *Recursos para integração genérica*
 - Composto por informações do modelo, que descreve os dados do produto que não depende de uma aplicação específica → responsável pela definição da geometria e topologia, apresentação visual, tolerância, material e configuração da estrutura de dados entre outras entidades genéricas que são necessariamente usadas pelos Protocolos de Aplicação.
 - Este grupo inicia a série 40 e vai até a 60.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- *Recursos para integração da aplicação*
 - Compreende a série 100 → especifica extensões para os arquivos genéricos → a entidade nele definida possui um pouco mais de contexto do que as definidas no grupo de integração genérica.
 - P.ex. ISO 10303-101 (Desenho) especifica os elementos geométricos na ISO 10303-42 (Representação geométrica e topológica) no contexto de desenhos técnicos.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- **Protocolos de Aplicação**
 - Norma STEP → possui a capacidade de ser customizada e expandida de acordo com as necessidades de uma aplicação específica, enquanto conserva consistente a parte central da norma.
 - Esta característica deve-se ao fato de que a STEP está organizada em Protocolos de Aplicação - grupo de entidades únicas escolhido para um produto, processo ou indústria específica.
 - P.ex. existem APs voltados para a indústria automobilística, aeroespacial e naval, assim como para o desenho e planejamento de chapas.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- A especificação de um modelo de dados de uma aplicação específica não precisa conter todos os dados que realmente existem no modelo.
- P.ex: produto mecânico → certos objetos não seriam tão relevantes para a descrição do produto, quando comparados com a necessidade para descrição de um produto eletrônico como, por exemplo, uma placa de circuito impresso.

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- Part 201 Explicit Drafting
- Part 202 Associative Drafting
- Part 203 Configuration Controlled Design
- Part 204 Mechanical Design Using Boundary Representation
- Part 205 Mechanical Design Using Surface Representation
- Part 206 Mechanical Design Using Wireframe Representation
- Part 207 Sheet Metal Dies and Blocks
- Part 208 Life Cycle Product Change Process
- Part 209 Design Through Analysis of Composite and Metallic Structures
- Part 210 Electronic Printed Circuit Assembly, Design and Manufacturing
- Part 211 Electronics Test Diagnostics and Remanufacture
- Part 212 Electrotechnical Plants
- Part 213 Numerical Control Process Plans for Machined Parts
- Part 214 Core Data for Automotive Mechanical Design Processes
- Part 215 Ship Arrangement
- Part 216 Ship Molded Forms
- Part 217 Ship Piping
- Part 218 Ship Structures
- Part 219 Dimensional Inspection Process Planning for CMMs

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

- Part 220 Printed Circuit Assembly Manufacturing Planning
- Part 221 Functional Data and Schematic Representation for Process Plans
- Part 222 Design Engineering to Manufacturing for Composite Structures
- Part 223 Exchange of Design and Manufacturing DPD for Composites
- Part 224 Mechanical Product Definition for Process Planning
- Part 225 Structural Building Elements Using Explicit Shape Rep
- Part 226 Shipbuilding Mechanical Systems
- Part 227 Plant Spatial Configuration
- Part 228 Building Services
- Part 229 Design and Manufacturing Information for Forged Parts
- Part 230 Building Structure frame steelwork
- Part 231 Process Engineering Data
- Part 232 Technical Data Packaging
- Part 233 Systems Engineering Data Representation
- Part 234 Ship Operational logs, records and messages
- Part 235 Materials Information for products
- Part 236 Furniture product and project
- Part 237 Computational Fluid Dynamics
- Part 238 Integrated CNC Machining
- Part 239 Product Life Cycle Support
- Part 240 Process Planning

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

<http://www.iso.ch/>

The screenshot shows the ISO website interface. At the top, there is the ISO logo and the text 'International Organization for Standardization' and 'International Standards for Business, Government and Society'. A search bar is located in the top right corner. Below the header, there are navigation tabs for 'Home', 'Products', 'Standards development', 'News and media', and 'About ISO'. A shopping cart icon and 'ISO Store' link are also visible.

The main content area shows search results for 'iso 10303'. The search bar contains 'iso 10303' and the text 'Advanced Search'. The results are sorted by 'Relevance'. There are three tabs: 'Standards (19)', 'Publications & e-products (0)', and 'Site (4)'. Below the search bar, there are checkboxes for 'Published standards', 'Withdrawn standards', 'Standards under development', and 'Projects deleted (last 12 months)'. The search results show 1 - 10 of 19 items.

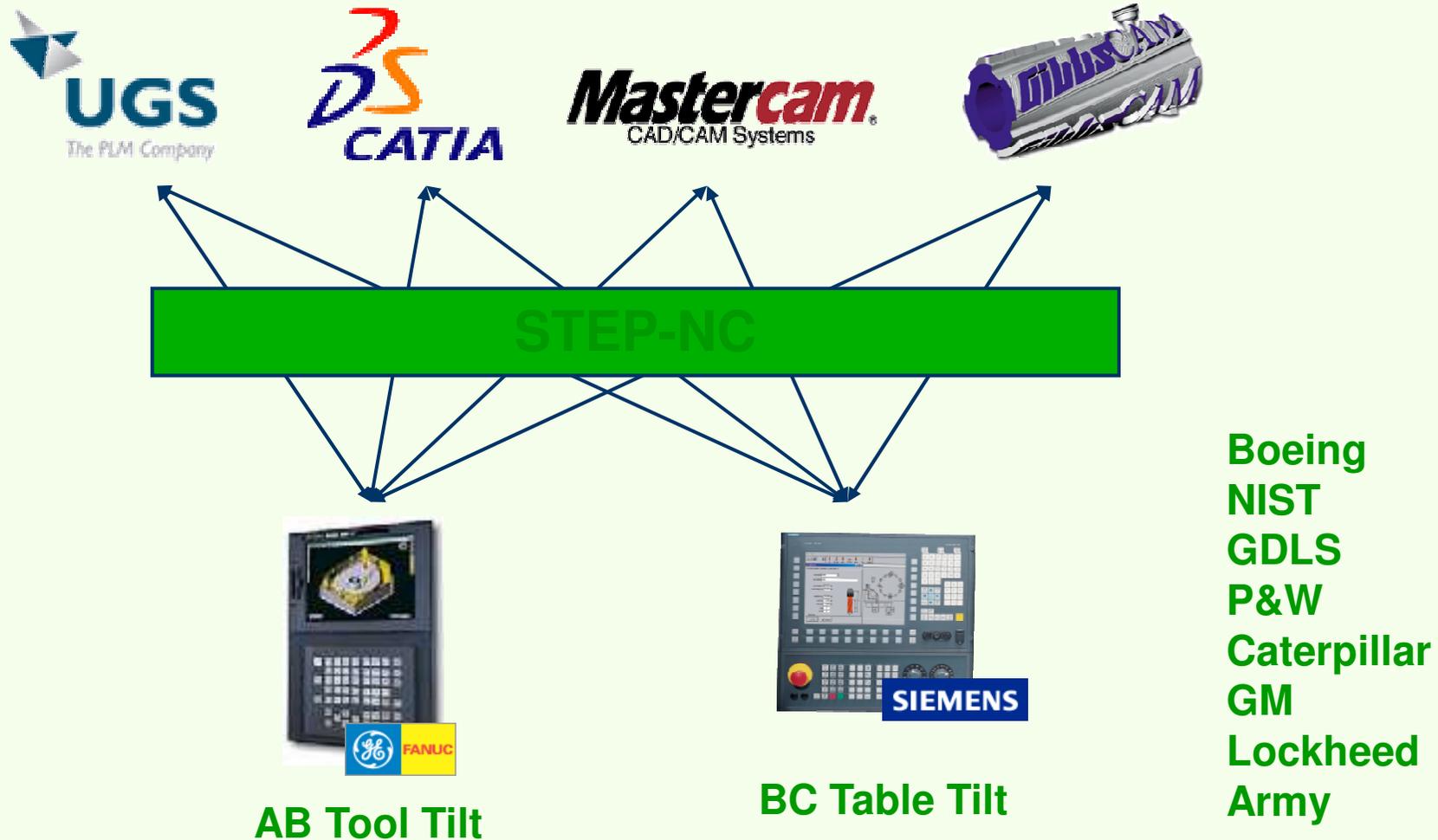
The search results table is as follows:

Standards	Language	Format	Add to basket
<input checked="" type="checkbox"/> ISO 13584-102:2006 Industrial automation systems and integration -- Parts library -- Part 102: View exchange protocol by ISO 10303 conforming specification Edition: 1 Stage: 60.60 TC 184/SC 4 ICS: 25.040.40 Document available as of: 2006-11-08	English	Paper	CHF 108,00
<input checked="" type="checkbox"/> ISO 10303-232:2002 Industrial automation systems and integration -- Product data	English	PDF	CHF 286,00

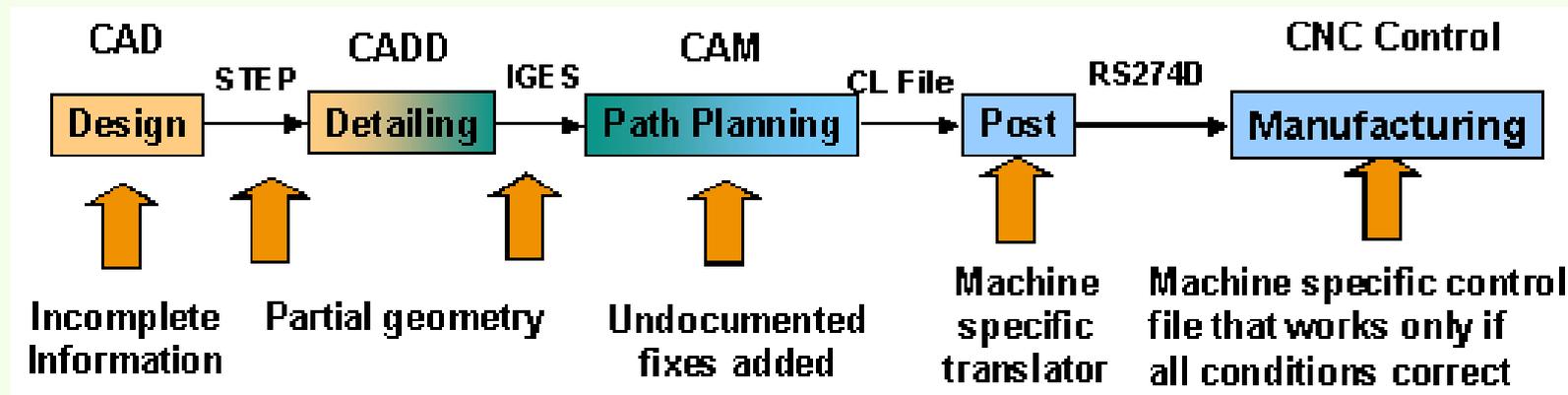
On the right side of the page, there are sections for 'Related information', 'Predefined searches' (including 'Standards published this week', 'Standards published last week', etc.), and 'ISO Catalogue' (including 'Browse by ICS' and 'Browse by TC').

INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

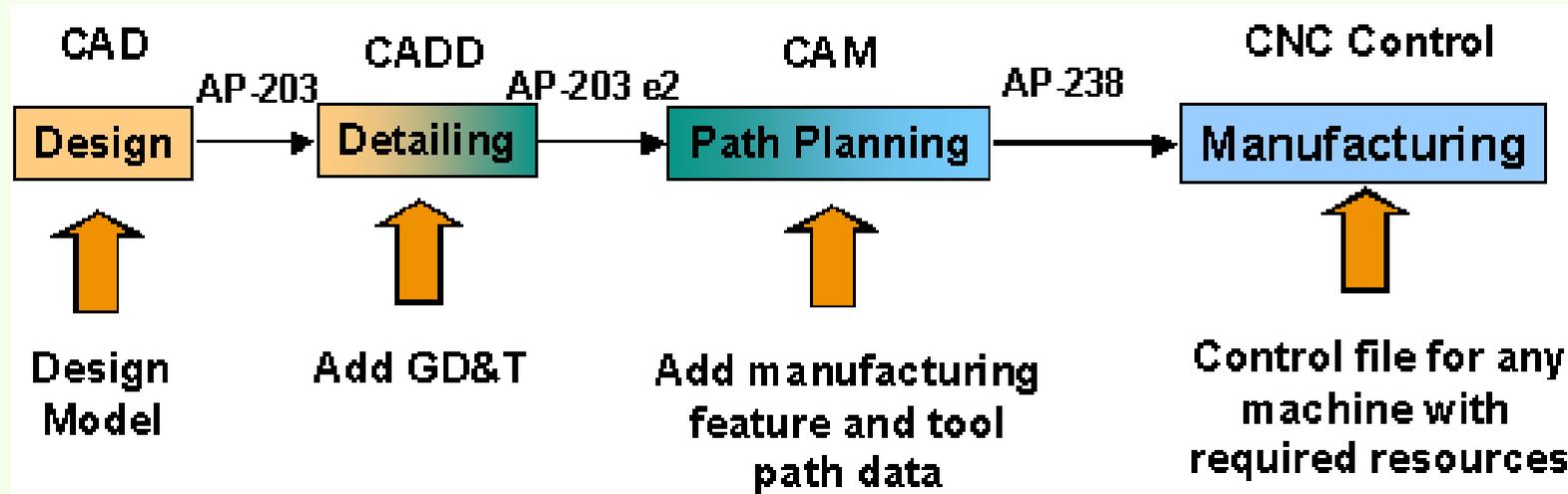
“4 CAM’s – 2 Controls – 0 Postprocessors”



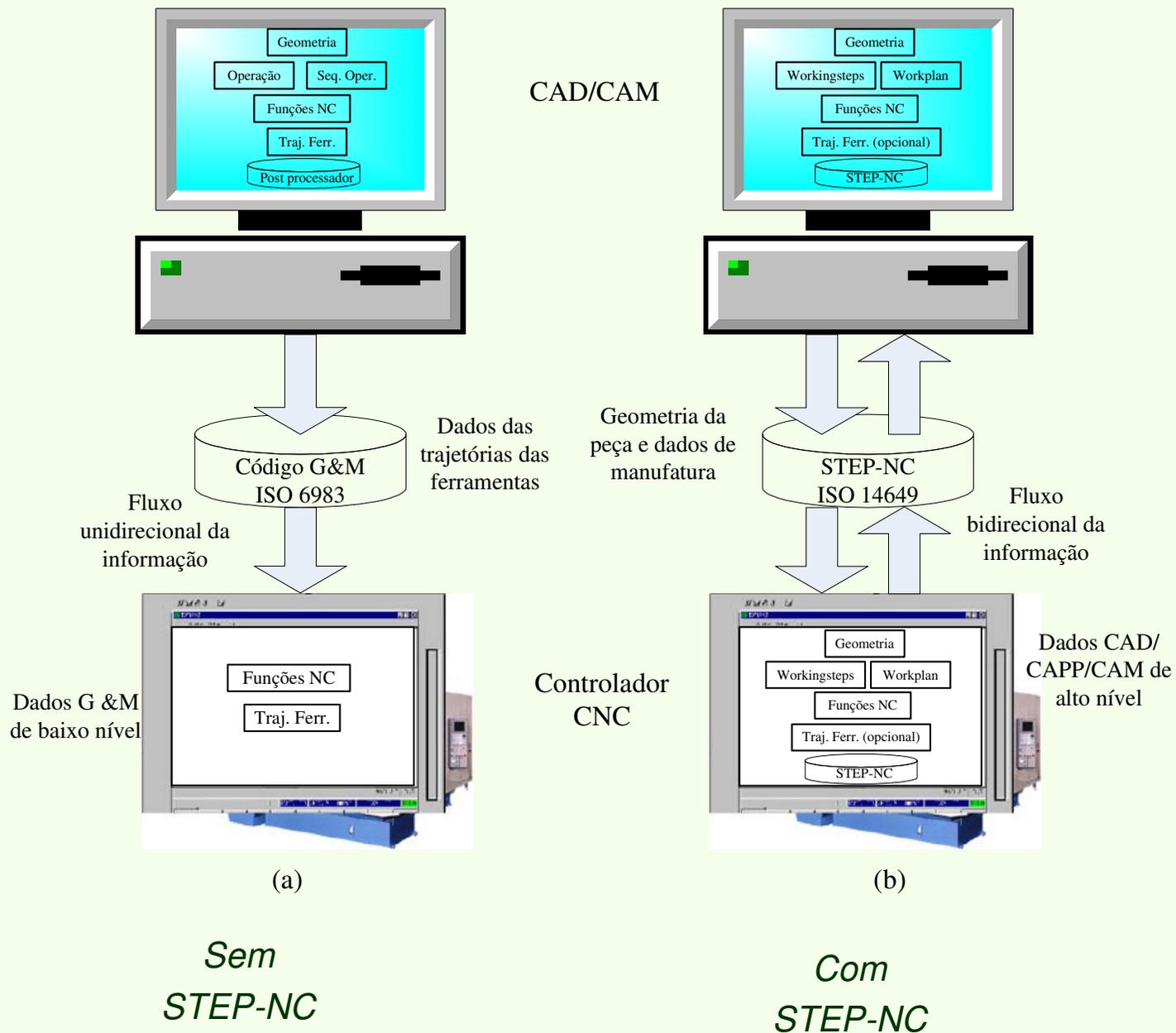
INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM

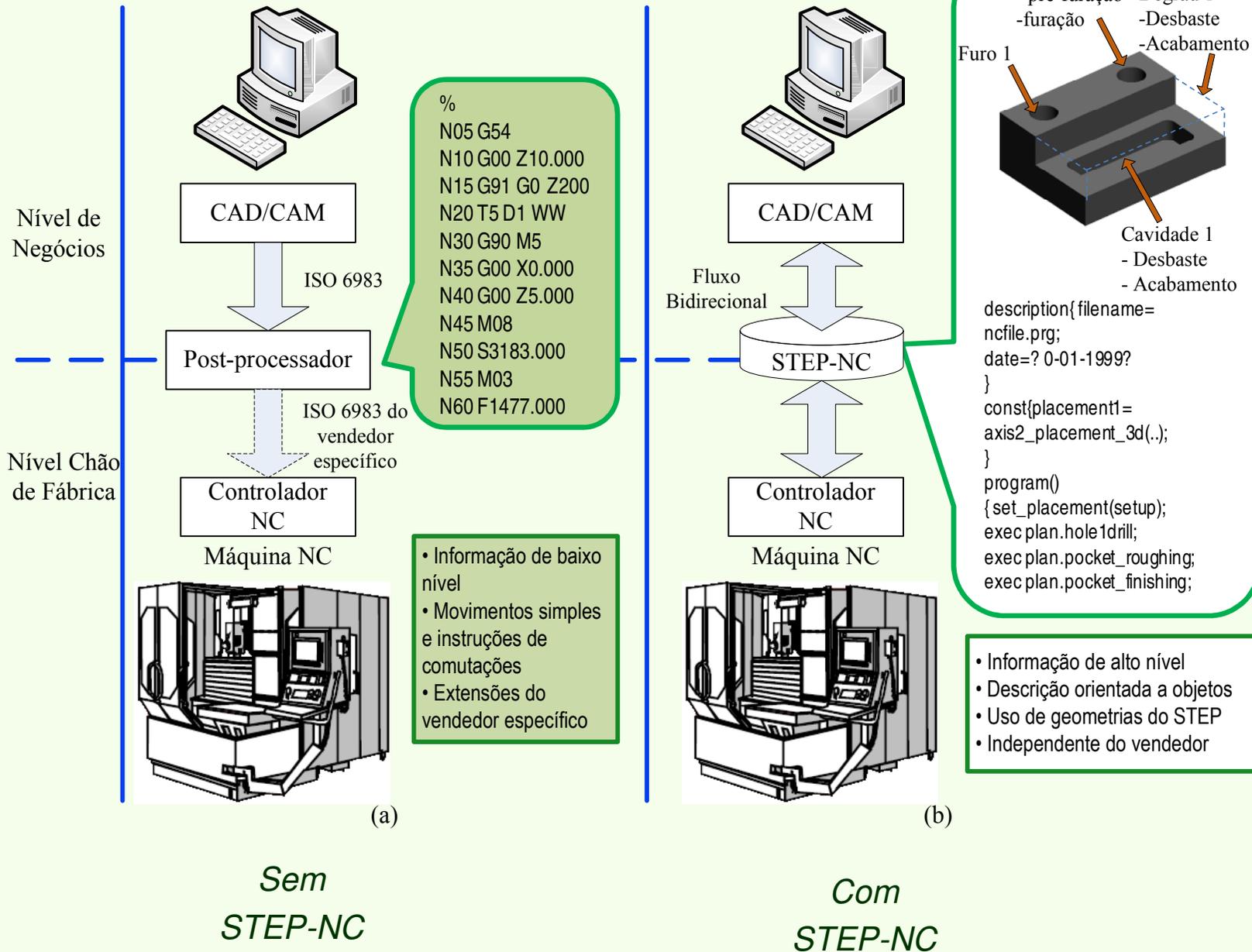


*Sem
 STEP-NC*

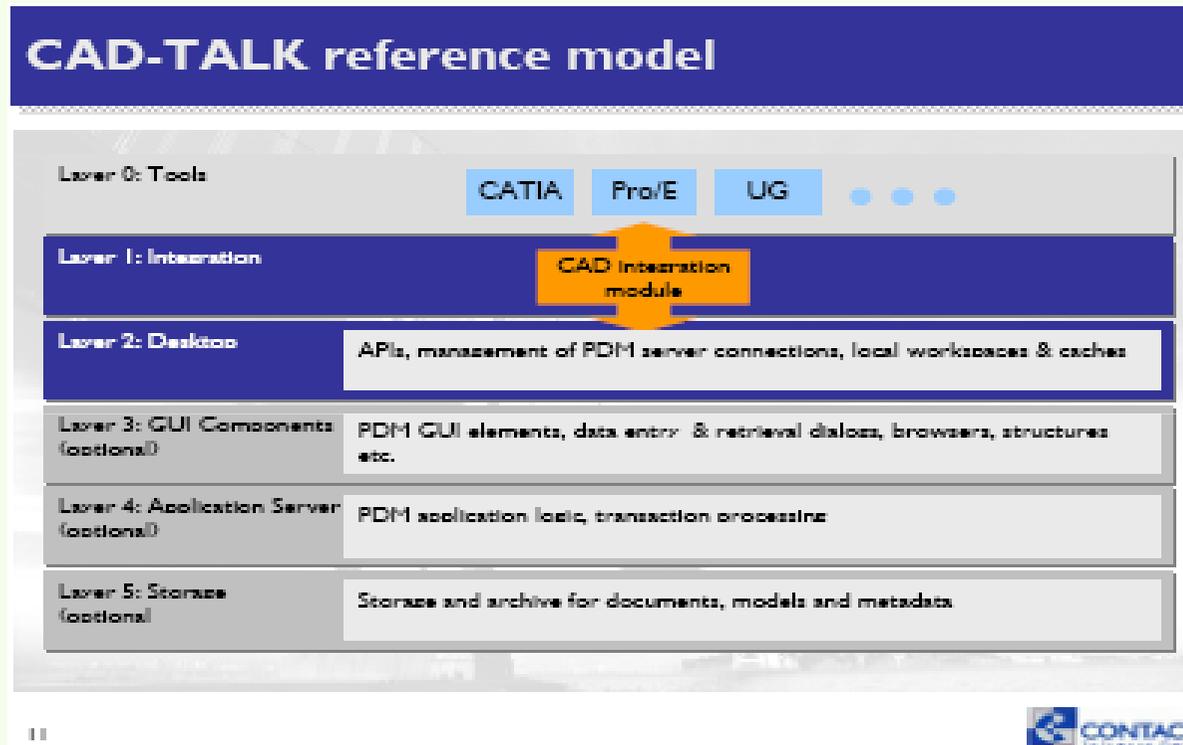


*Com
 STEP-NC*





INTERFACES PARA CAD/CAD/CAM



CAD-Talk middleware:

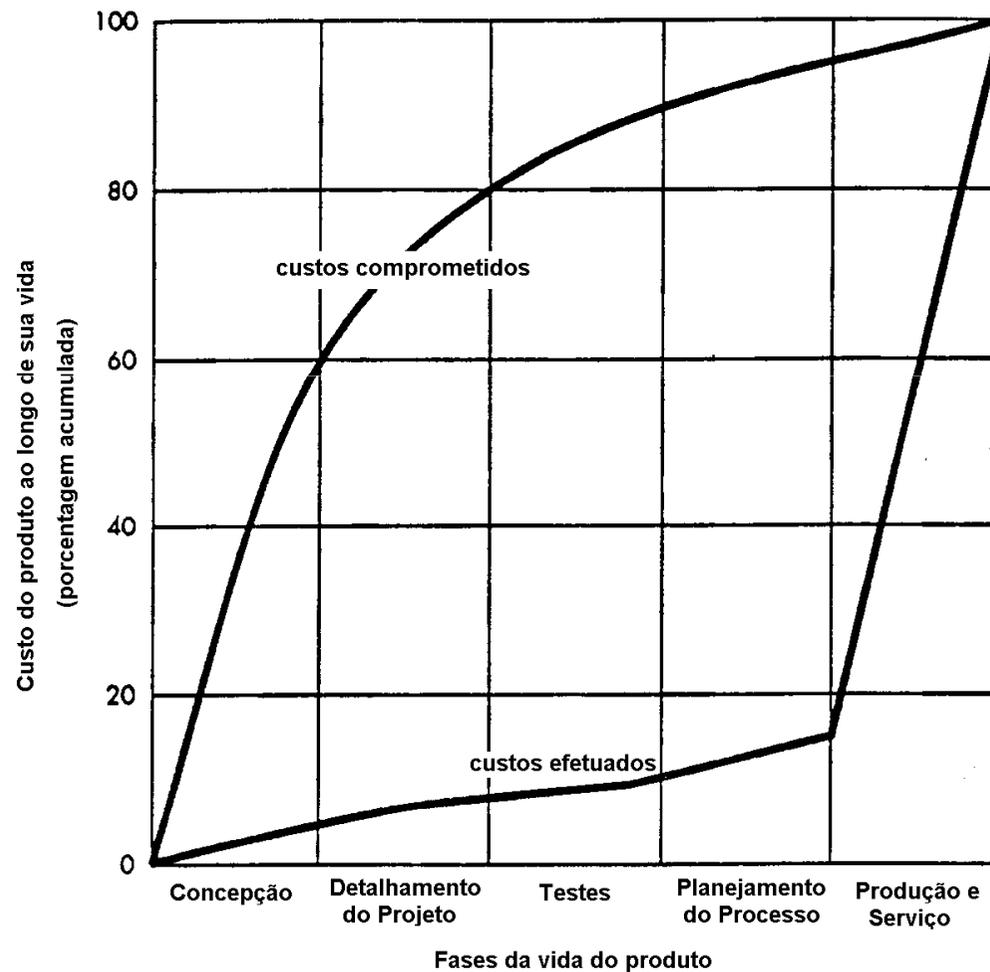
*SolidWorks; Solid Edge; AutoCAD; CATIA V4 and V5; CADAM; Inventor; Medusa;
Unigraphics; Pro/Engineer and Pro/Engineer Wildfire; I-DEAS; ICEM; ME10;
MicroStation; Solid Designer; Mentor Graphics; Technovision*

EXIGÊNCIAS DE UM MODELO DE PRODUTO

- Durante a fase de projeto → estabelece-se 70% ou mais do custo associado ao
 - marketing do produto;
 - modo como o produto se comporta ao longo do seu ciclo de vida.
- Questões do ciclo de vida incluem:

–projeto,	–montagem,
–planejamento do processo,	–inspeção,
–manufatura,	–uso,
–agendamento,	–manutenção,
–compra de peças,	–modernização;
	–refugo.

EXIGÊNCIAS DE UM MODELO DE PRODUTO



Influência do custo do produto nos custos do seu ciclo de vida

EXIGÊNCIAS DE UM MODELO DE PRODUTO

- Um dos problemas → configuração do produto para manufatura e montagem → projetista deve considerar métodos de fabricação durante o projeto.
- Sistema ideal de desenvolvimento do produto → deve ser capaz de fornecer todas as informações necessárias para o projeto, fabricação e manutenção do produto.

EXIGÊNCIAS DE UM MODELO DE PRODUTO

- Se não considerar a manufaturabilidade cedo → não será fácil incorporá-la ao projeto mais tarde.
- Com o objetivo de tornar um projeto manufaturável, deve ser necessário fazer mudanças no projeto → custo de mudança sobe drasticamente com a progressão do produto na direção da produção (ver tabela).

EXIGÊNCIAS DE UM MODELO DE PRODUTO

<i>Tempo de Alteração do Projeto</i>	<i>Custo (US\$)</i>
Durante o projeto:	1.000,00
Durante os testes de projeto:	10.000,00
Durante o planejamento do processo:	100.000,00
Durante os testes de produção:	1.000.000,00
Durante a produção final:	10.000.000,00

Custo das mudanças de engenharia para o desenvolvimento de um importante produto eletrônico

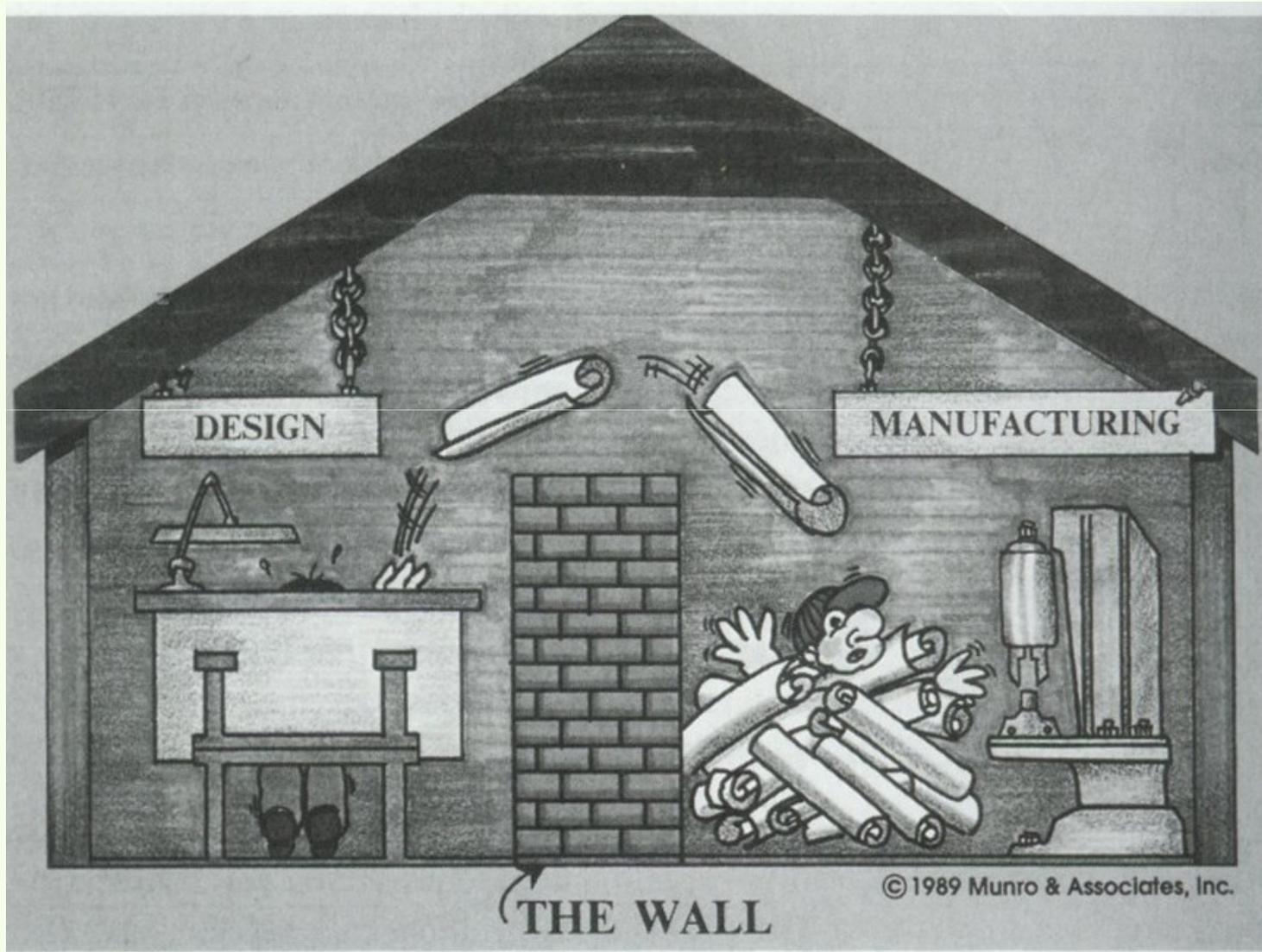
ENGENHARIA SIMULTÂNEA

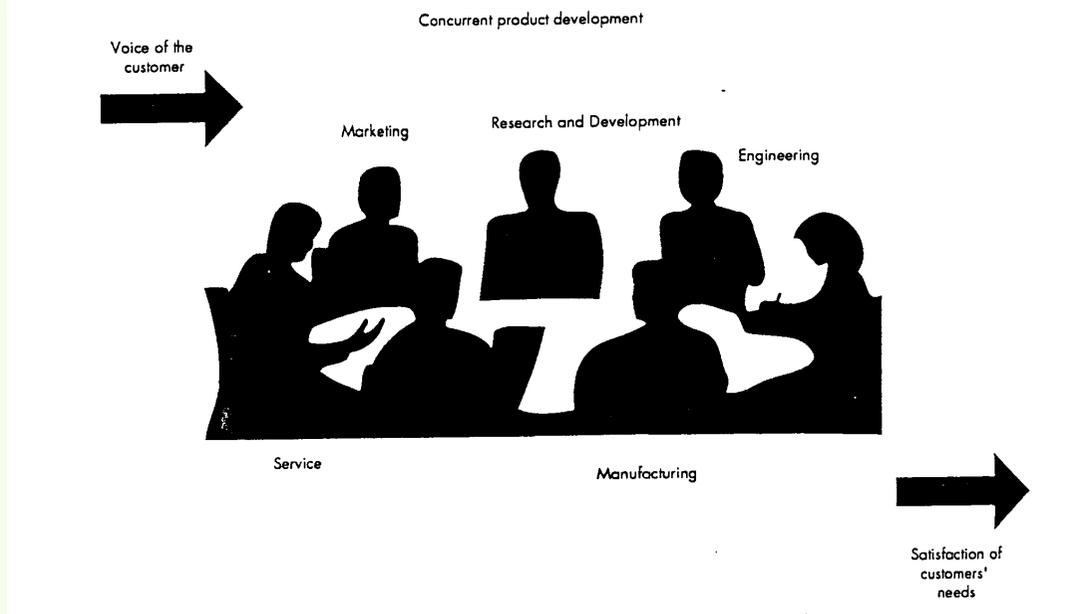
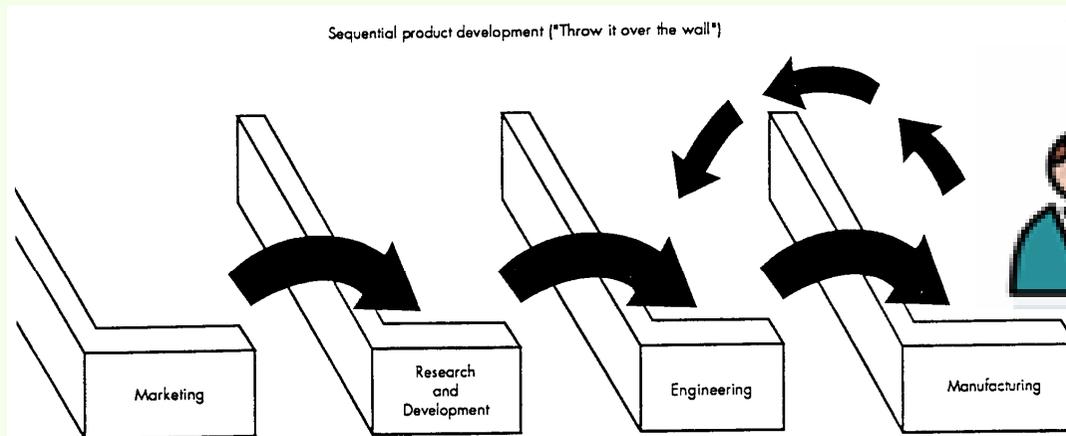
- Esforços há vários anos na indústria e laboratórios de pesquisa nos EUA, Europa e Japão → têm tentado integrar o projeto com outras atividades no ciclo de vida do produto, como a manutenibilidade, manufaturabilidade, inspecionabilidade, etc → projeto de um produto e do sistema de manufatura são executados simultaneamente.
- Abordagem tradicional do projeto do produto → atividades são executadas seqüencialmente.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

- Relação tradicional entre o projetista e o pessoal da manufatura → iniciador & implementador, respectivamente.
- Projetista → prescreve o que deve ser feito, via de regra sem levar em consideração se isto pode ser atingido.
- Portanto → projetos são criados e é a responsabilidade do engenheiro de manufatura (ou processista) determinar se e como o produto pode ser manufaturado.
- Se o produto viola regras de manufatura → ambiente de manufatura é reprojetoado para acomodar o novo produto, ou reprojeta-se o produto.

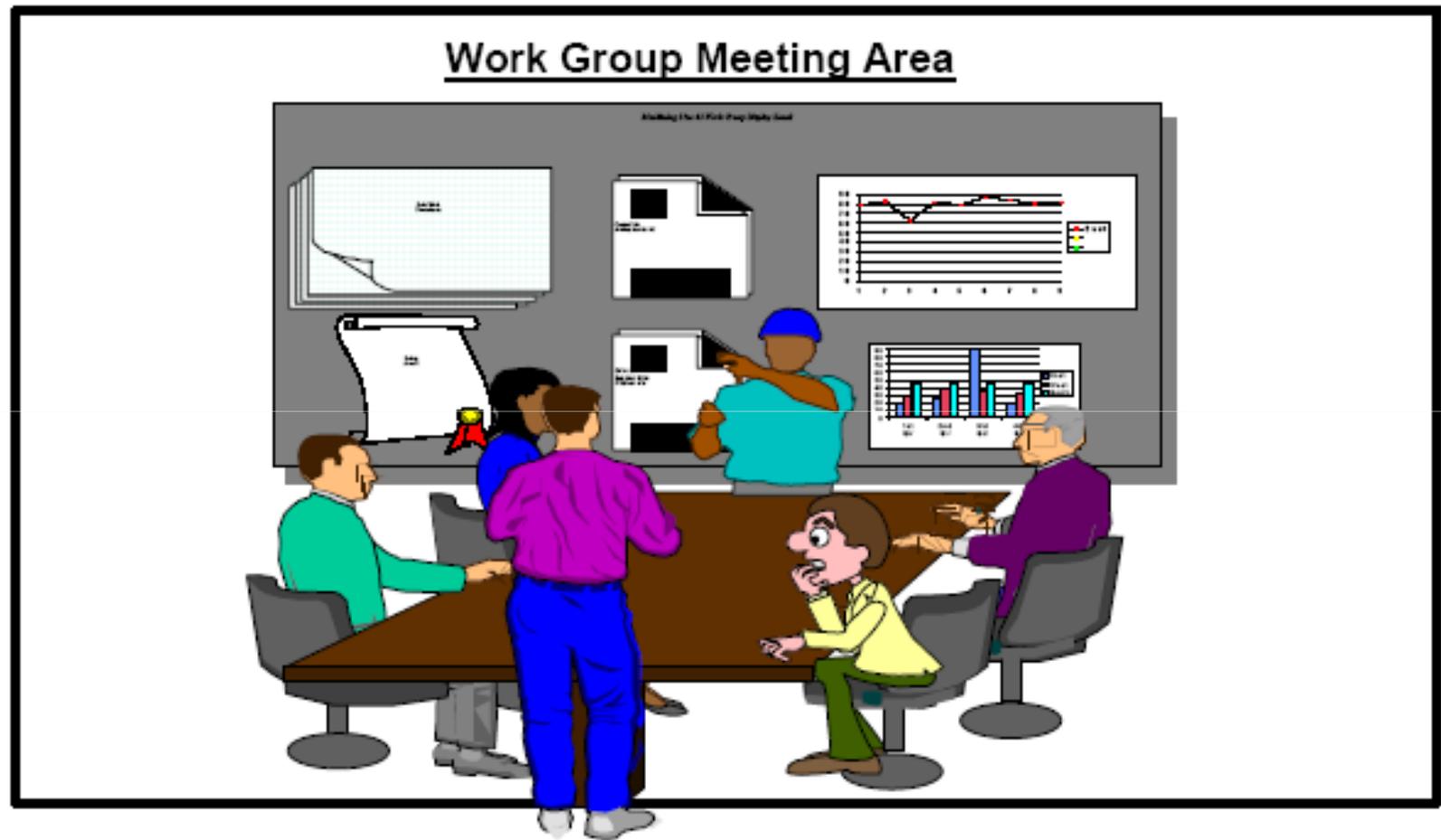
ENGENHARIA SIMULTÂNEA





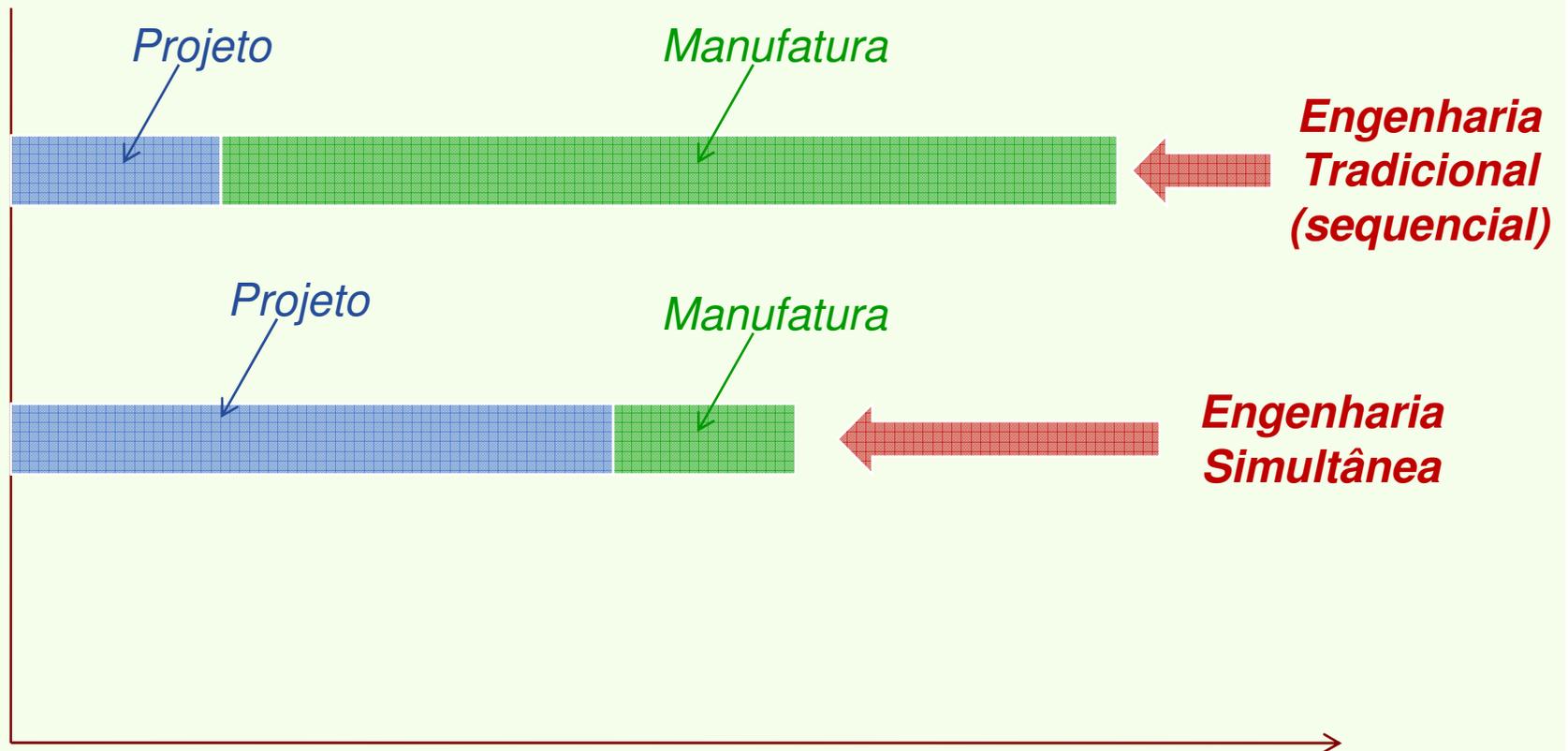
(a) Atividades de projeto e manufatura feitas seqüencialmente ("sobre as divisórias"), e
(b) reunião de uma equipe multi-funcional

ENGENHARIA SIMULTÂNEA



Team Approach – Trabalho em equipe

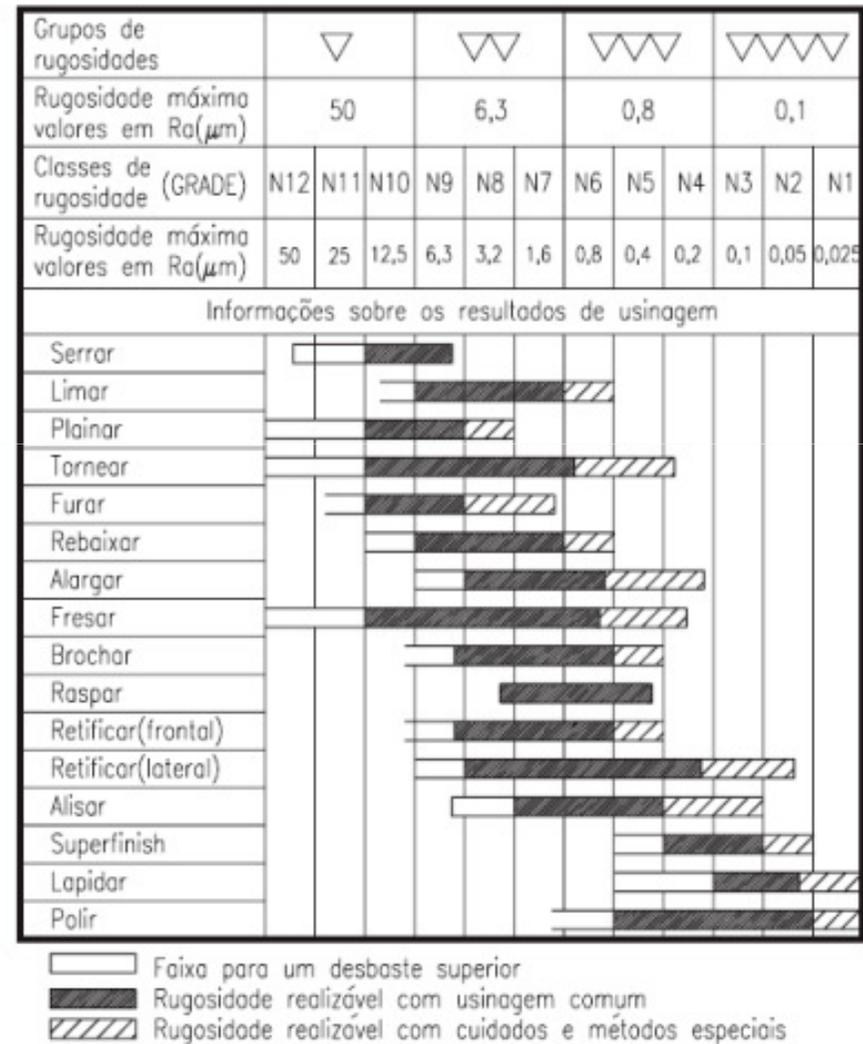
ENGENHARIA SIMULTÂNEA



Comparação entre tempos da Engenharia Tradicional (sequencial) e a Engenharia Simultânea

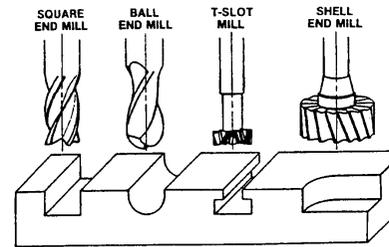
ENGENHARIA SIMULTÂNEA

- Exemplos de violações:
 - equipamentos e ferramentas disponíveis podem ser incapazes de fabricar o produto conforme as tolerâncias exigidas.

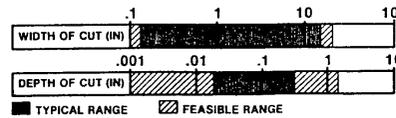


ENGENHARIA SIMULTÂNEA

FRESAMENTO DE TOPO



END MILLING CAPABILITIES



TOLERANCES

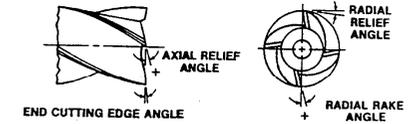
	TYPICAL	FEASIBLE
END MILLING		
DEPTH	± 0.001	± 0.0005

SURFACE FINISH

PROCESS	MICROINCHES (A.A.)						
END MILLING	2	4	8	16	32	63	125 250 500

MATERIAL	END MILLING MACHINABILITY RATINGS			
	POOR	FAIR	GOOD	EXCEL
ALUMINUM			██████████	██████████
BRASS			██████████	██████████
CAST IRON			██████████	██████████
MILD STEEL			██████████	██████████
STAINLESS STEEL	██████████	██████████	██████████	██████████
PLASTICS			██████████	██████████

Tool materials	Applications
High speed steel	<ul style="list-style-type: none"> Special tool shapes Low production
Carbides (inserts)	<ul style="list-style-type: none"> Most commonly used cutters High production
Ceramics (inserts)	<ul style="list-style-type: none"> High speed machining High production Uninterrupted cuts
Diamonds (inserts)	<ul style="list-style-type: none"> High surface qualities, fine tolerances Nonferrous or nonmetallic material



Workpiece material	Radial rake angle (°)	Cutting edge angle (°)	Axial relief angle (°)	Radial relief angle (°)
Aluminum	20 to 35	7 to 12	3 to 5	10 to 12
Brass	10 to 12	7 to 12	3 to 5	5 to 10
Cast iron	-5 to -10	5 to 10	4 to 7	4 to 7
Mild steel	10 to 15	5 to 10	5 to 7	3 to 7
Stainless steel	5 to 12	5	8 to 10	8 to 10
Plastics	18	15	6	6

Typical speeds and feeds

Workpiece material	Cutting speed (sfpm)	Feed rate (ipt)
Aluminum	700 to 1300	0.006 to 0.010
Brass	450 to 900	0.005 to 0.010
Cast iron	200 to 300	0.003 to 0.010
Mild steel	350 to 550	0.005 to 0.008
Stainless steel	200 to 350	0.004 to 0.007
Plastics*	400 to 1000	0.005 to 0.016

*High speed tool steel.

Work material	Cutting fluid	Application
Aluminum	None, mineral oil, fatty oil	Spray, flood
Brass	Mineral oil, specialty fluid	Spray, flood
Cast iron	Soluble oil, chemical and synthetic oil, none	Spray, flood
Mild steel	Chemical and synthetic oil, soluble oil	Spray, flood
Stainless steel	Sulfurized mineral oil, fatty soluble oil, chemical and synthetic oil	Spray, flood
Plastics	Mineral oil, soluble oil, cold air, none	Spray, flood, air jet

Machine hp = unit power × removal rate (in.³/min)

Material	Hardness (HB)	Unit power*
Aluminum	30 to 150	0.3
Brass	50 to 145	0.6
	145 to 240	1.0
Cast iron	110 to 190	0.6
	190 to 320	1.1
Mild steel	85 to 200	1.1
	330 to 370	1.5
	485 to 560	2.1
Stainless steel	135 to 275	1.4
	275 to 430	1.5
Plastics	N/A	0.05 est.

*Unit power based on: • HSS and carbide tools • feed of 0.005 to 0.012 ipt • 80% efficiency.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

- Exemplos de violações:
 - custo geral para fabricar o produto pode estar acima do orçamento da empresa.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

- Método de efetuar essa cooperação pode variar de empresa para empresa → em geral o engenheiro de manufatura forneceria algumas regras de manufatura que tornar-se-iam restrições de projeto para ao projetista.
- Projeto para a Manufatura (DFM) → requer a combinação das intenções do projetista com as exigências do engenheiro de manufatura para fabricar o produto.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

- Regras básicas no DFM:
 - usar peças padronizadas sempre que possível;
 - tirar vantagem da forma geométrica do material a ser trabalhado para projetar as peças;
 - usar projetos anteriores sempre que possível;
 - minimizar a quantidade de usinagem sempre que possível;
 - durante o projeto da forma geométrica, considerar a facilidade de manuseio de material, fixação, usinagem e montagem;
 - Utilizar tolerâncias e acabamentos adequados para o processo de manufatura e montagem;
 - considerar os princípios cinemáticos durante os passos iniciais do projeto.

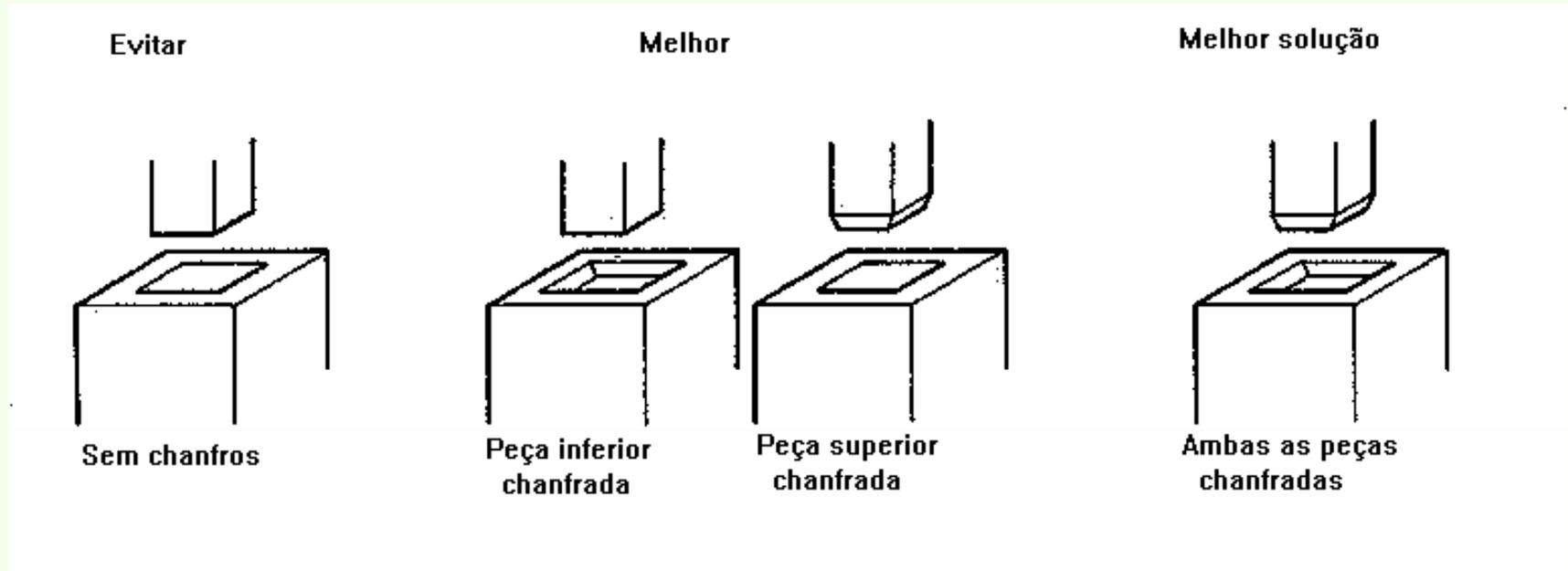
ENGENHARIA SIMULTÂNEA

- Aplicação de montagem → projetar produtos que:
 - sejam montáveis,
 - resultem em custos mais baixos,
 - devem ser facilmente desmontáveis.
- Se um produto não for projetado para acomodar as variações nas linhas de produto → custos vão aumentar devido à inflexibilidade.
- Freqüentes paradas e recomeços na produção devido a novas peças → custo ↑ & tempo de produção ↑ → variabilidade de peças deve ser menor → similaridade de peças & minimização no número de peças necessárias para um produto.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

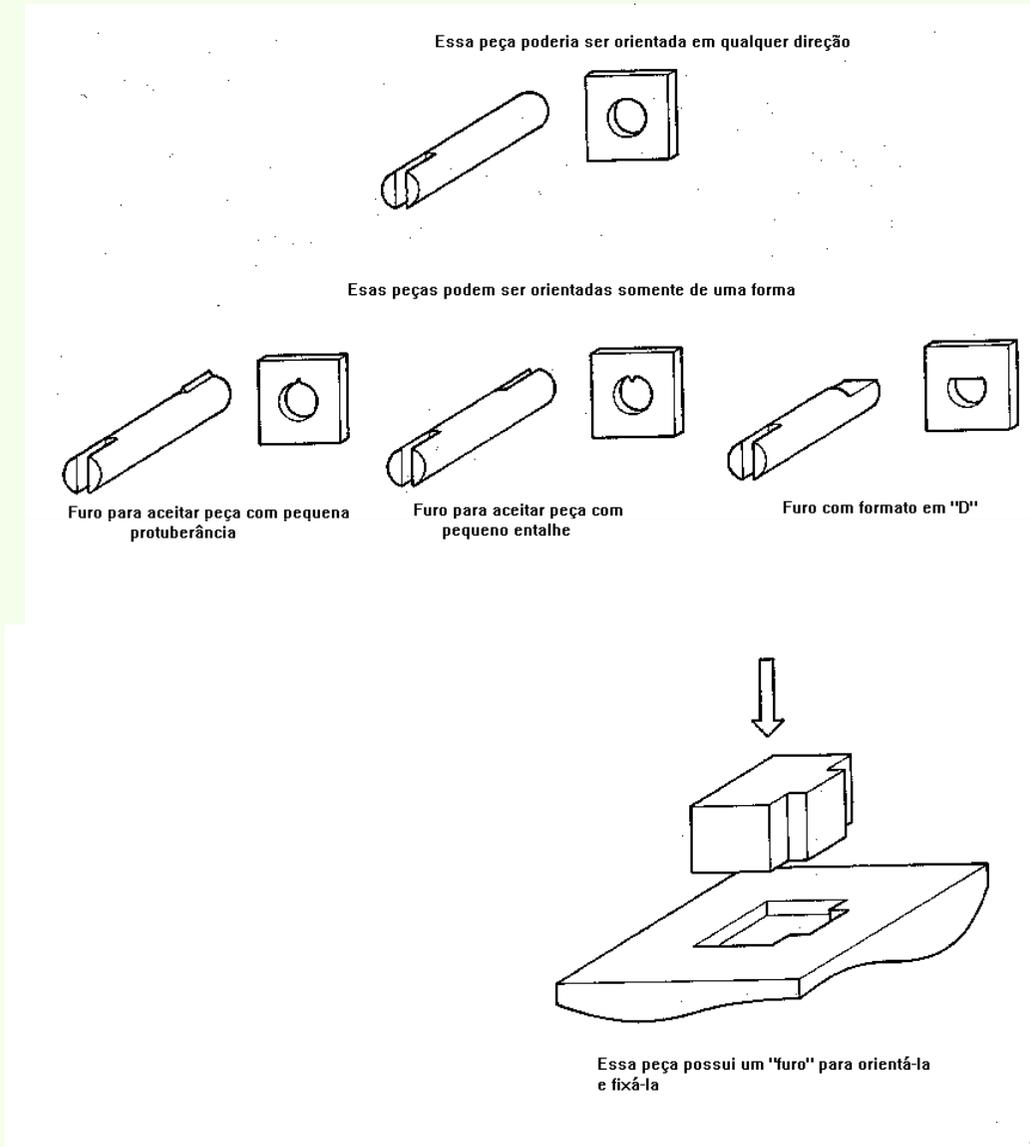
- No projeto para montagem, 4 estágios importantes devem ser identificados:
 - alimentação de peças;
 - orientação de peças;
 - apresentação de peças;
 - custo do sistema de manuseio.

ENGENHARIA SIMULTÂNEA



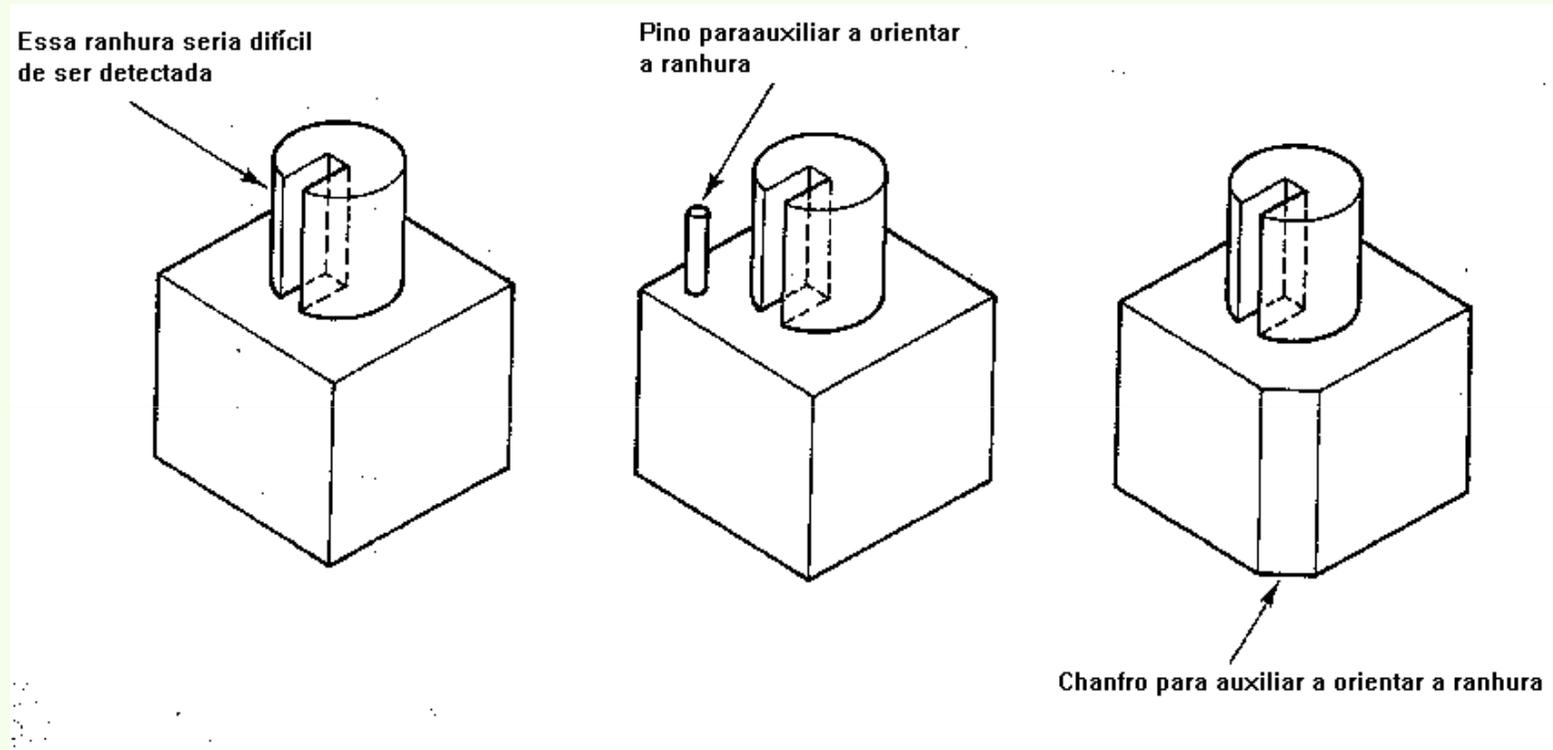
Concordância

ENGENHARIA SIMULTÂNEA



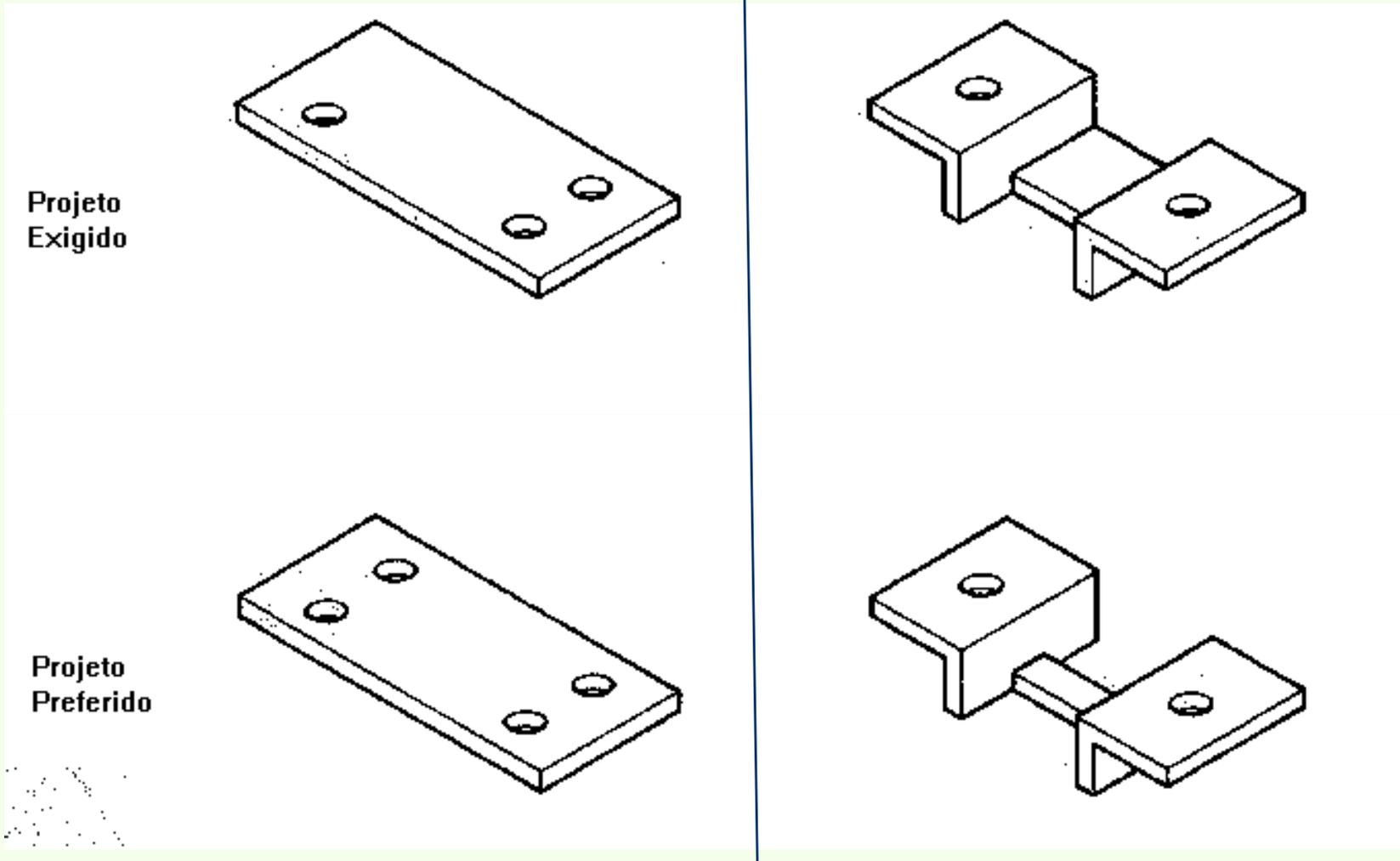
*Auto-
alinhamento
de peças*

ENGENHARIA SIMULTÂNEA



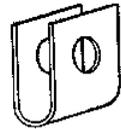
Features não-funcionais para ajudar a orientar uma peça

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

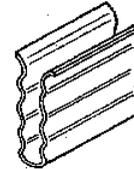
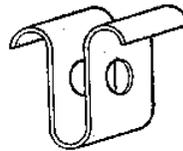
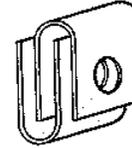
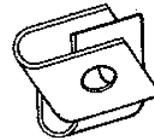


Exemplos de simetria

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

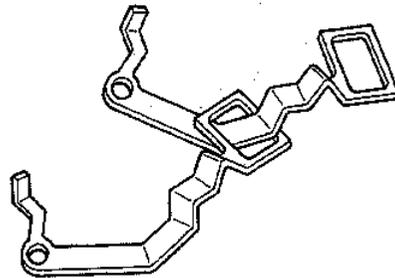


Essa peça pode emaranhar-se facilmente

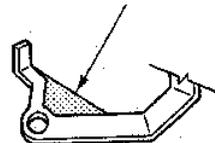


A mesma peça reprojeta não vai se emaranhar

Peças interconectadas (não serão alimentadas)



Uma pequena lâmina evita que as peças se interconectem



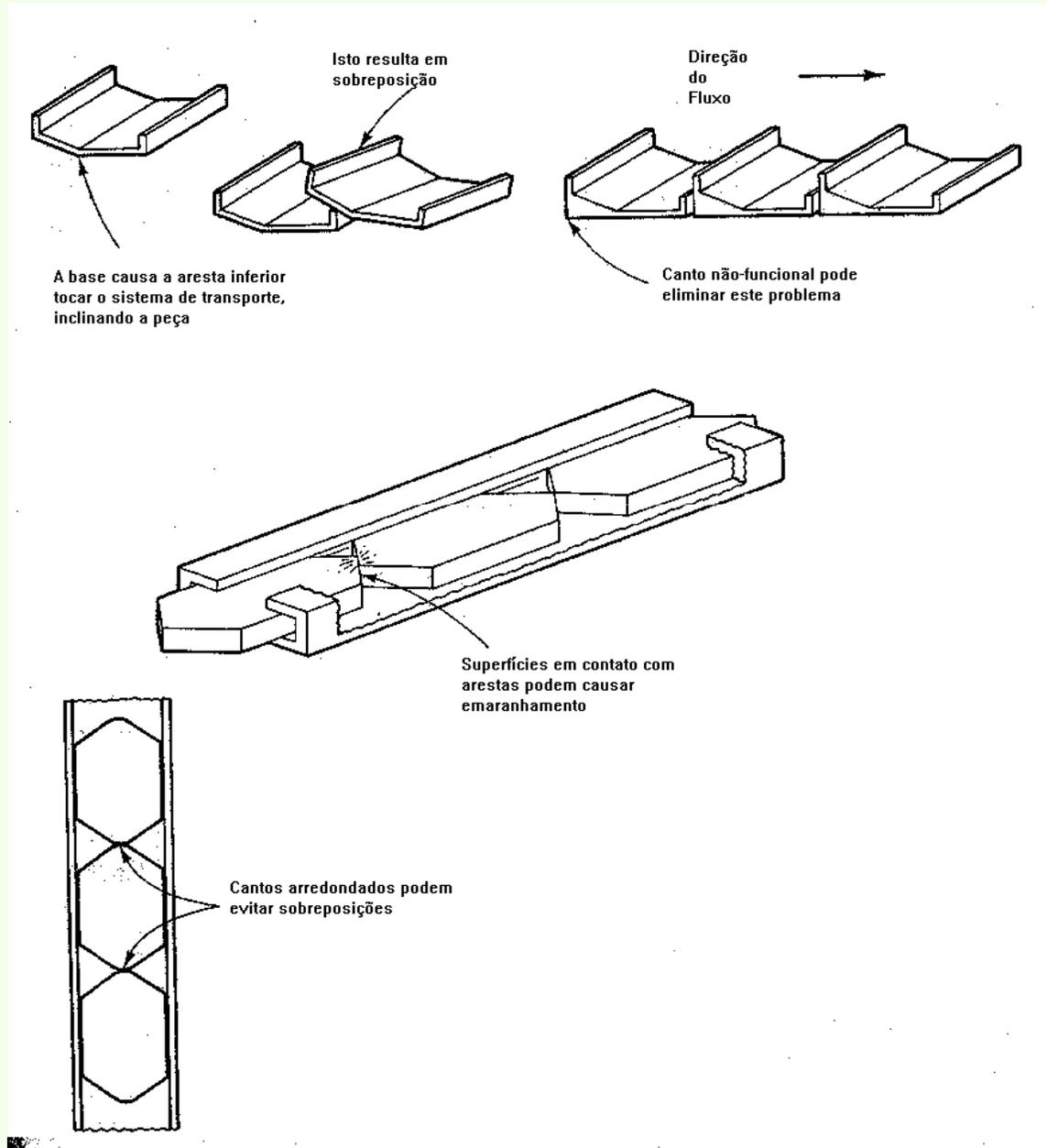
Molas com anéis abertos serão emaranhados



Molas com anéis fechados não serão emaranhados

Emaranhado de peças

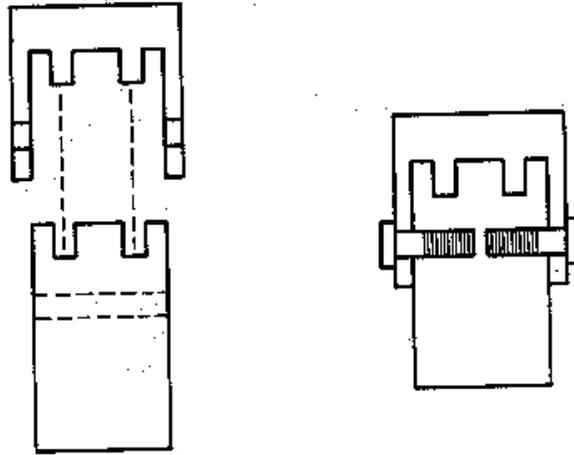
ENGENHARIA SIMULTÂNEA



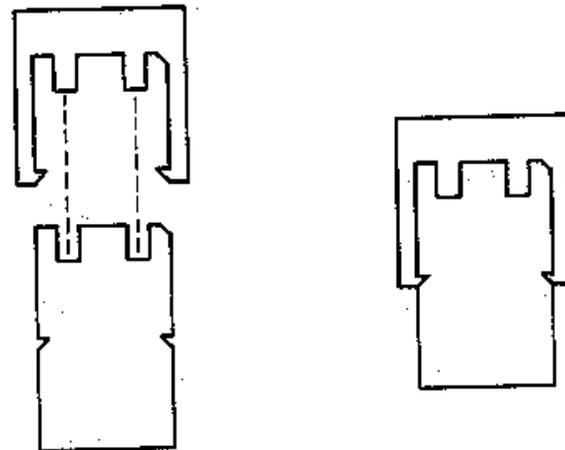
Método para evitar o bloqueio de peças

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

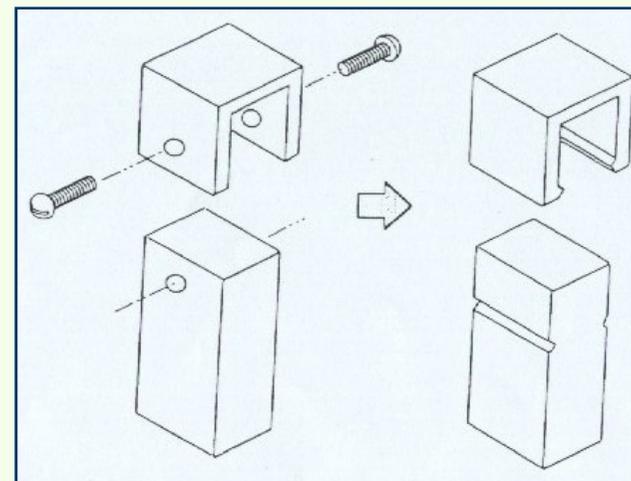
Evitar projetos que requerem fixadores



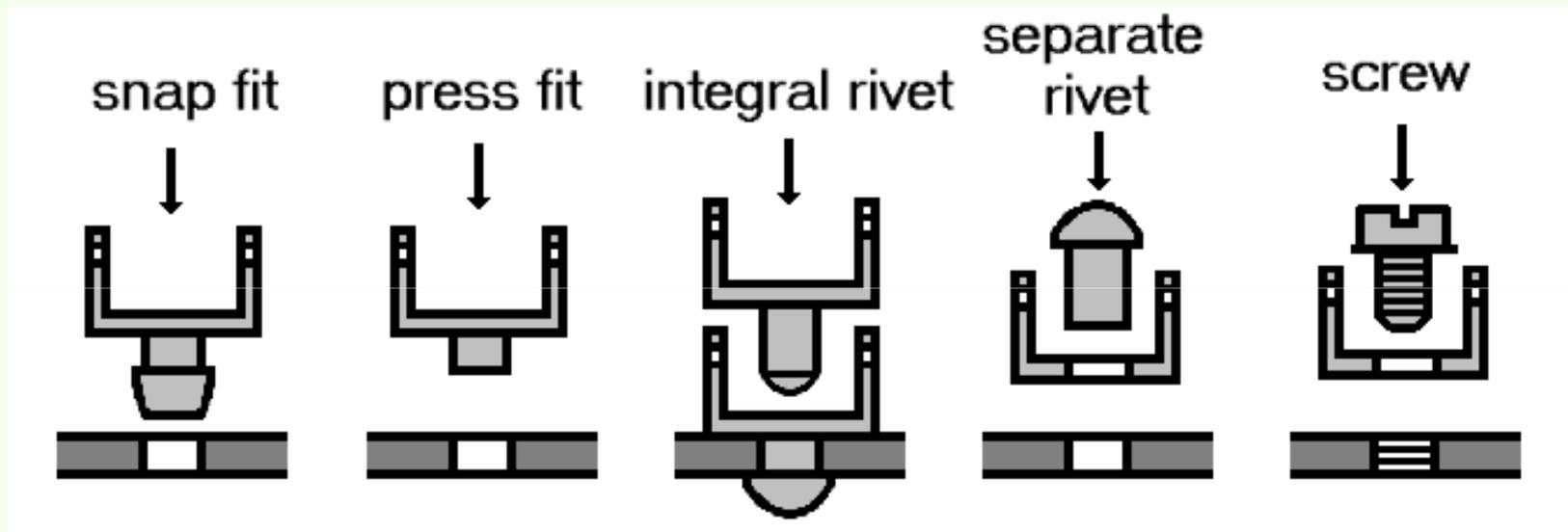
Projetar peças que se montem por "estalo"
['snap']



*Substitutos de
componentes
de fixação*

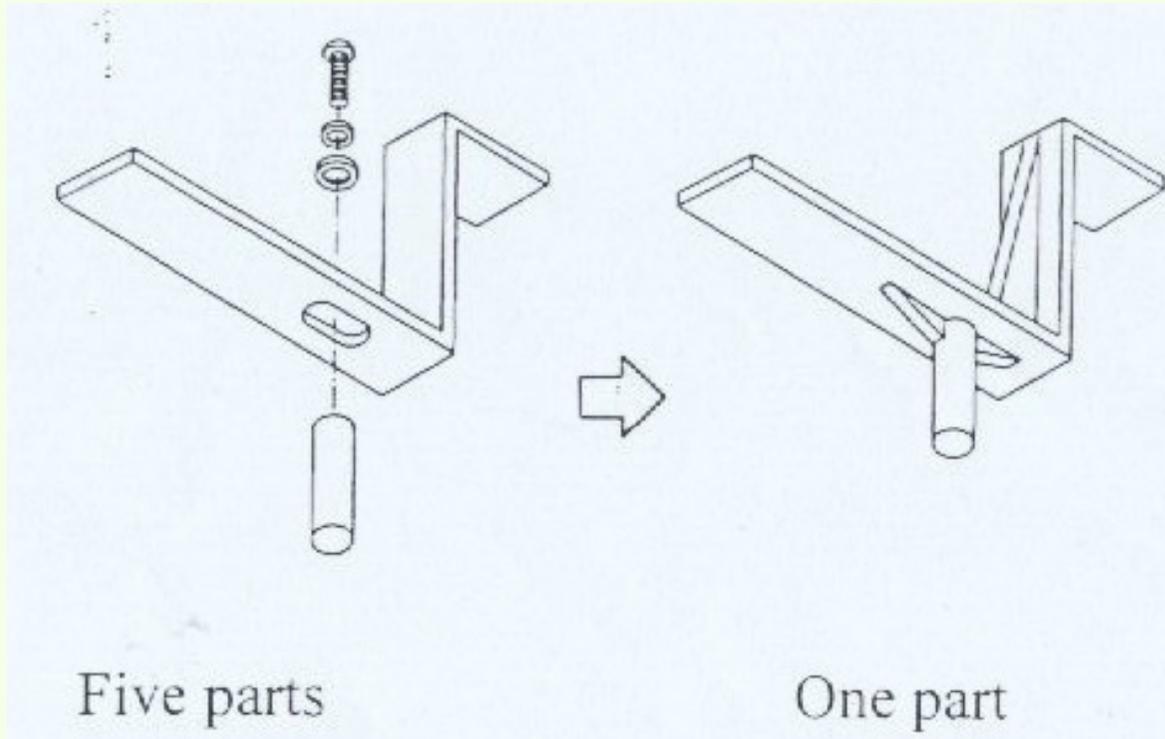


ENGENHARIA SIMULTÂNEA



Da esquerda para a direita, a montagem fica mais difícil

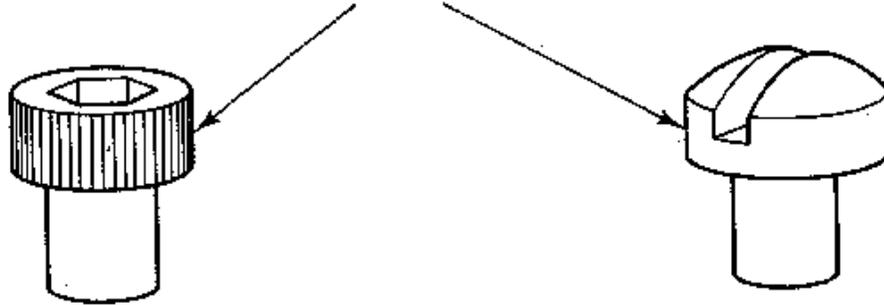
ENGENHARIA SIMULTÂNEA



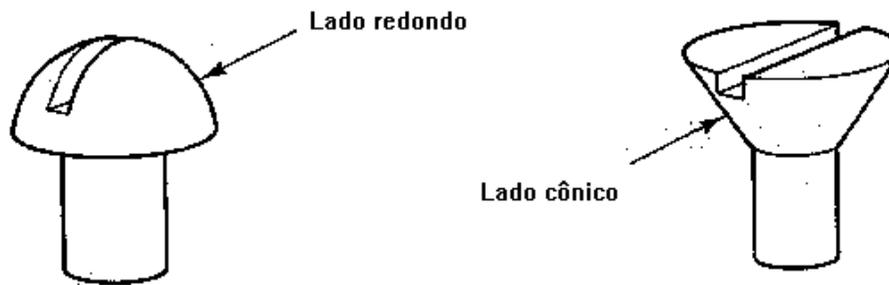
*Reduzir ao
mínimo a
quantidade e a
variedade de
fixadores*

ENGENHARIA SIMULTÂNEA

Preferido: lados verticais planos para movimentação por vácuo

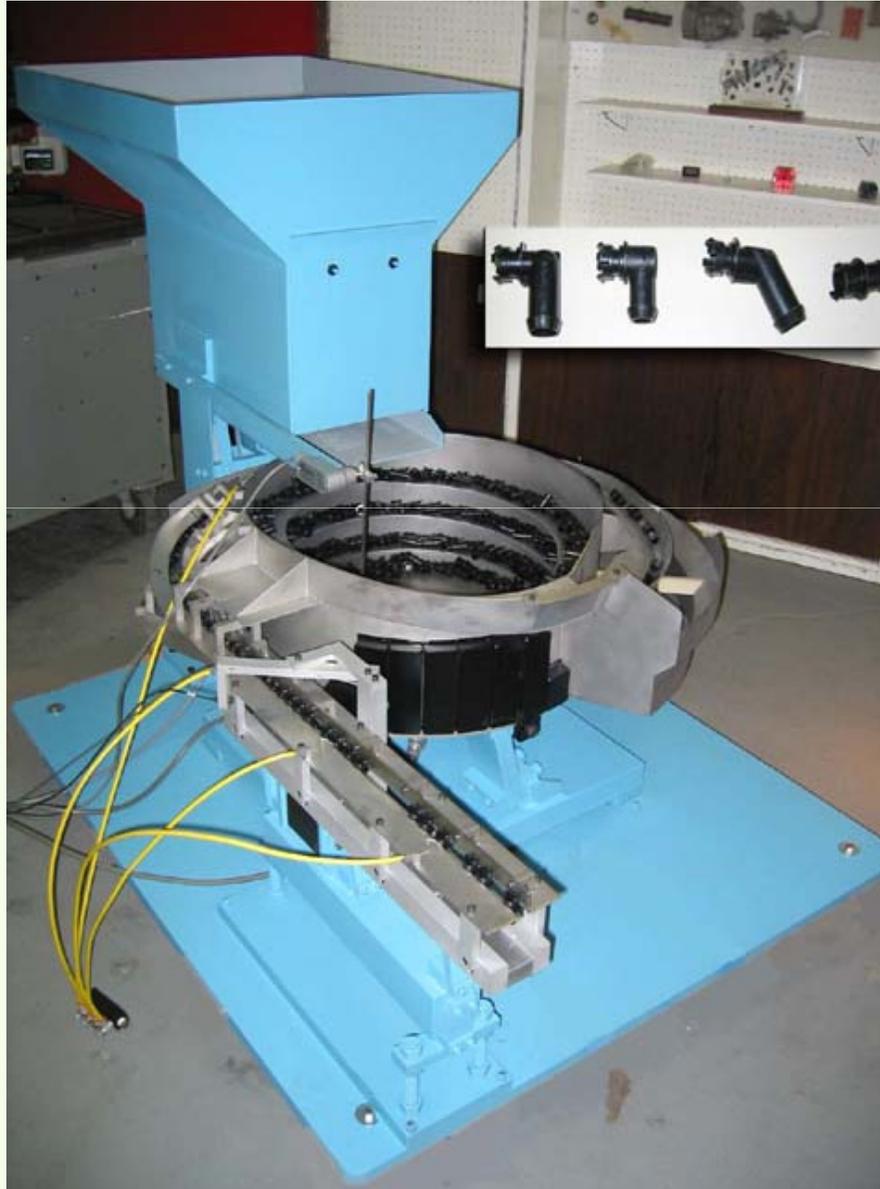


Evitar:



Elementos de fixação

ENGENHARIA SIMULTÂNEA



*Alimentador
vibratório de
peças*

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

- DFMA → procedimento passo-a-passo em que o projetista é questionado sobre a função da peça, limitações de materiais, e acessibilidade à peça durante a montagem.
- Há softwares DFMA → calculam:
 - tempo de montagem,
 - custo do produto,
 - o número mínimo teórico de peças,
 - opções de materiais (p.ex. aço x plástico),
 - processos de manufatura (fundição x usinagem).

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

- Alguns usuários do software:
 - Ford Motor Company, General Motors, GE Automotive, Xerox, IBM, Whirlpool, Texas Instruments, Boeing, Ingersoll Rand, Motorola



- Motor assembly
 - motor base
 - widget
 - bushing
 - motor
 - sensor
 - set screw
 - end plate
 - end plate screw
 - grommet
 - feed wire/cable (push and pull)
 - adjustment of item with tool
 - route wire/cable
 - reorientation of assembly
 - cover
 - cover screws

Definition

Name: motor base

Part number: 5678

Repeat count: 1

Item type: part sub-assembly

Minimum part criteria

Item theoretically must be separate because of:

material movement assembly

Item is a candidate for elimination:

fastener connector other

Envelope dimensions, mm

56.007 1.000 100.990

Labor time

Item fetching distance: within easy reach

Item handling and fetching time, s: 24.00

Insertion/operation time, s: 2.30

Symmetry

one way either way any way

one way either way any way

Handling difficulties

nest tangle severe tangle flexible

difficult grasp tweezers grasp tools

bulky two hands two persons

swing crane mobile crane gantry crane

Time for additional securing, s: 0.00

Insertion difficulties

view access align

resist severe holding down

regrasp support weight large depth

Securing method

secured later thread snap

push/press rivet self-stick

crimp stake electric

Manufacturing data

	Item	Product
Piece part cost, £	9.01	20.36
Item cost per item, £	9.01	20.64
Tooling investment	0	275
Weight per item, kg	0.19	1.85
Material	aluminum	
Process	machined	

Notes

We select the motor base for the first assembled part. Because it is the base part, it is theoretically necessary.



Visit tracking

not visited partially visited fully visited

Motor original Motor redesign

Results	Entry totals	Product
Count	1	21
Minimum count	1	4
Labor time, s	26.30	258.51
Labor cost, £	0.16	1.58
Other op. cost, £	0.00	0.00
Assy. tool/fixture, £	0.00	0.00
Item costs, £	9.01	20.64
Total cost, £	9.17	22.22
DFA Index		6.6

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

Benefícios do software DFMA:

1. Estimar a dificuldade da montagem.
2. Suporte à tomada de decisões.
3. Benchmark produtos existentes.
4. Aumentar o foco nas revisões de projeto.
5. Melhorar as habilidades de projeto
6. Integrar o projeto e a manufatura
7. Ver resultados rápidos desde o começo

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

1. Estimar a dificuldade da montagem:

Estabelecer um ranqueamento do projeto do produto em termos de sua dificuldade de montagem. O software DFA ranqueia cada peça considerando como ela é manuseada, orientada e movimentada para inserção e como ela é inserida e/ou fixada no produto.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

2. Suporte à tomada de decisões:

O software DFA fornece informações objetivas, visando o consenso da equipe, que pode examinar todas as soluções potenciais de projeto, e selecionar a abordagem mais efetiva. Incorpora com facilidade a entrada de dados de produto de outros grupos de projeto, tais como serviço no campo e marketing.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

3. Benchmark produtos existentes:

O índice DFA, uma medida da eficiência de montagem, serve como base para comparar quantitativamente alternativas de projeto, internamente ou com produtos concorrentes. O software fornece uma medida objetiva independente do tamanho ou complexidade do produto.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

4. Aumentar o foco nas revisões de projeto:

A análise do software DFA pode direcionar o progresso de um projeto, verificando melhorias ao longo de sua evolução. Com a eliminação de peças ou operações redundantes, e dificuldades de montagem são removidas, a eficiência da montagem melhora sensivelmente.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

5. Melhorar as habilidades de projeto:

O software ajuda os projetistas a estabelecer o mínimo teórico de peças em um produto. No processo, engenheiros identificam conceitos de projeto que reduzem a complexidade e custos desnecessários.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

6. Integrar o projeto e a manufatura:

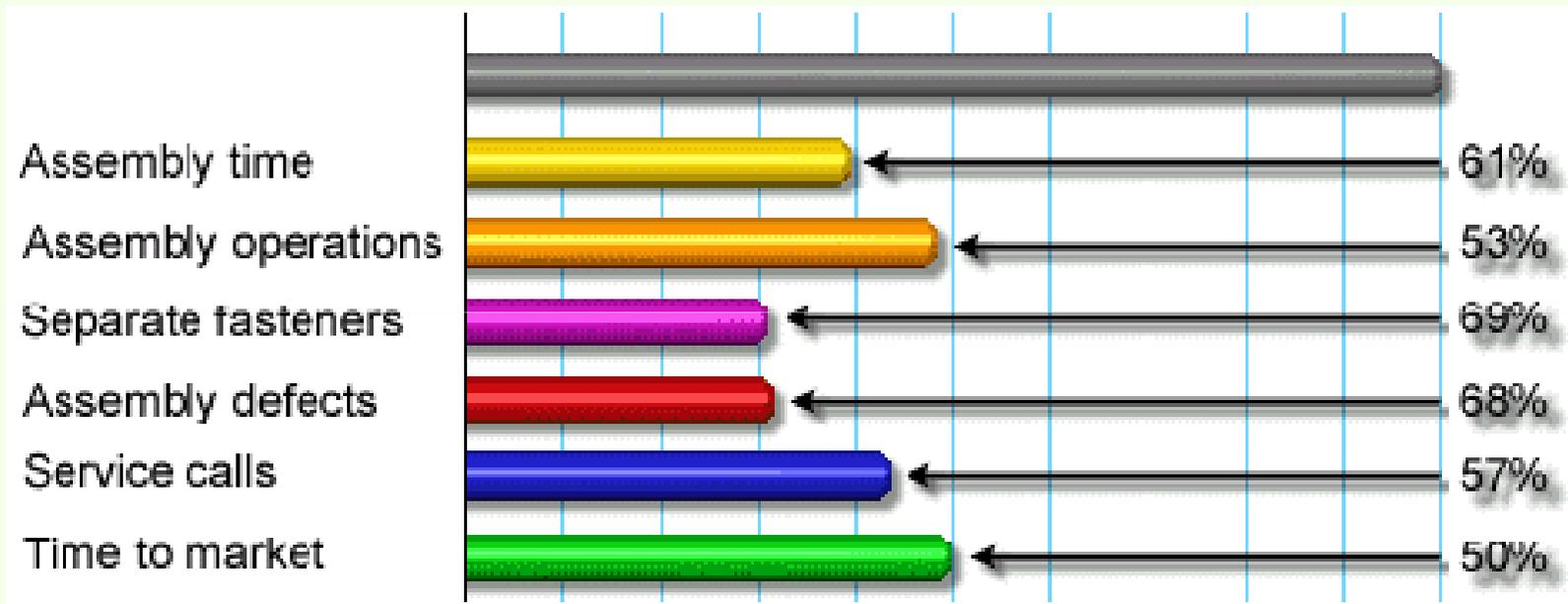
A abordagem DFA fornece uma estrutura global para efetuar mudanças no projeto considerando-se custos relacionados a materiais e fabricação. Usado em conjunto, DFA e DFM possibilitam engenheiros selecionar processos e peças apropriados e a custos reduzidos.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

7. Ver resultados rápidos desde o começo:

O software DFA promove um pensamento sistemático sobre cada peça em uma montagem.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



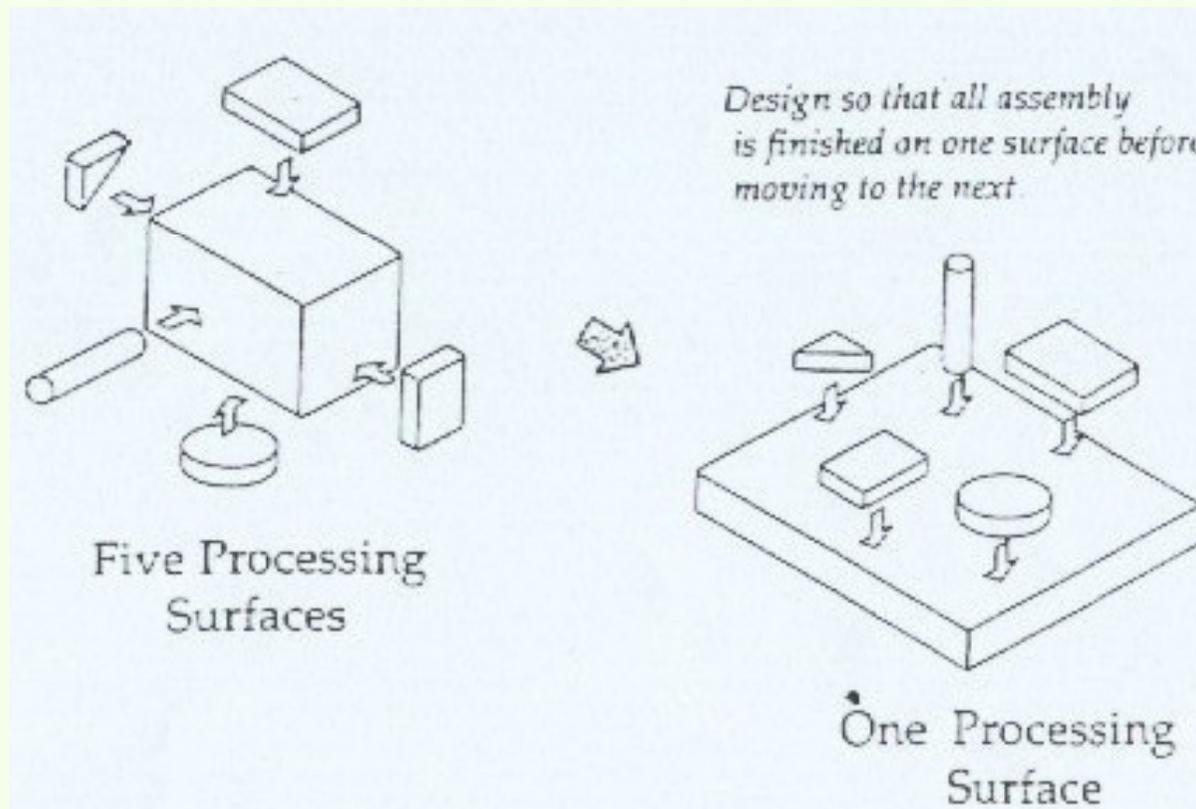
PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

10 regras (ou recomendações):

1. Minimizar o número de peças;
2. Minimizar as superfícies montadas: redução do processamento de superfícies;
3. Projetar para montagem de cima para baixo: gravidade;
4. Melhorar acesso para montagem;
5. Maximizar a concordância entre as peças: ranhuras adequadas e superfícies guia;
6. Maximizar a simetria das peças: mais fáceis de orientar;
7. Otimizar o manuseio das peças: superfícies adequadas para aperto mecânico + obstáculos para evitar emaranhamento;
8. Evitar fixadores separados: *snap-fit*, número ↓, padroniz.
9. Fornecer peças com características de auto-fixação: dentes ou projeções → manter a orientação até a montagem final.
10. Focalizar em projeto modular: peças com função comum → peça ou módulo padrão; peças intercambiáveis → interface padrão.

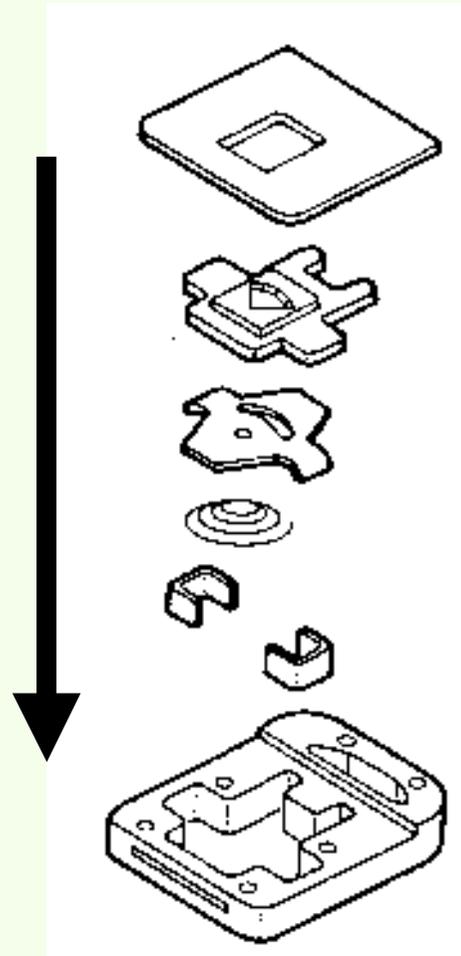
PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

2. Minimizar as superfícies montadas: redução do processamento de superfícies



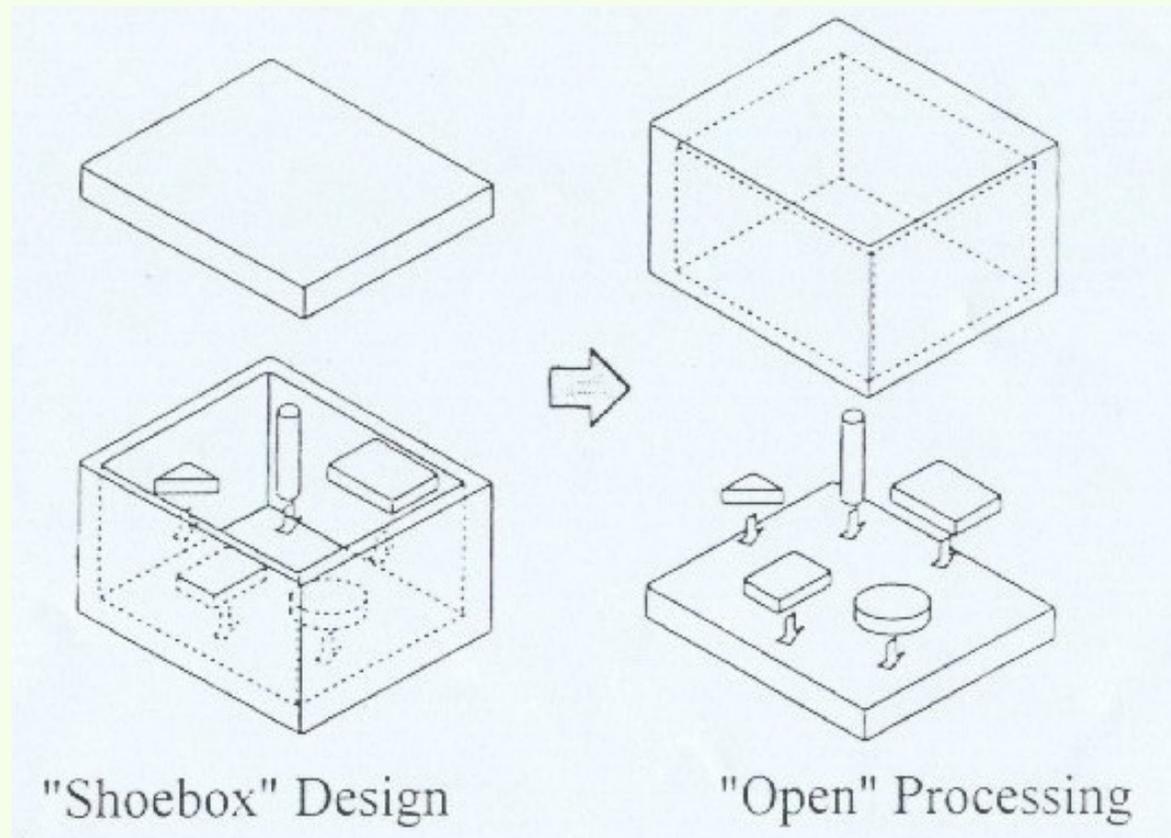
PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

3. Projetar para montagem de cima para baixo: gravidade



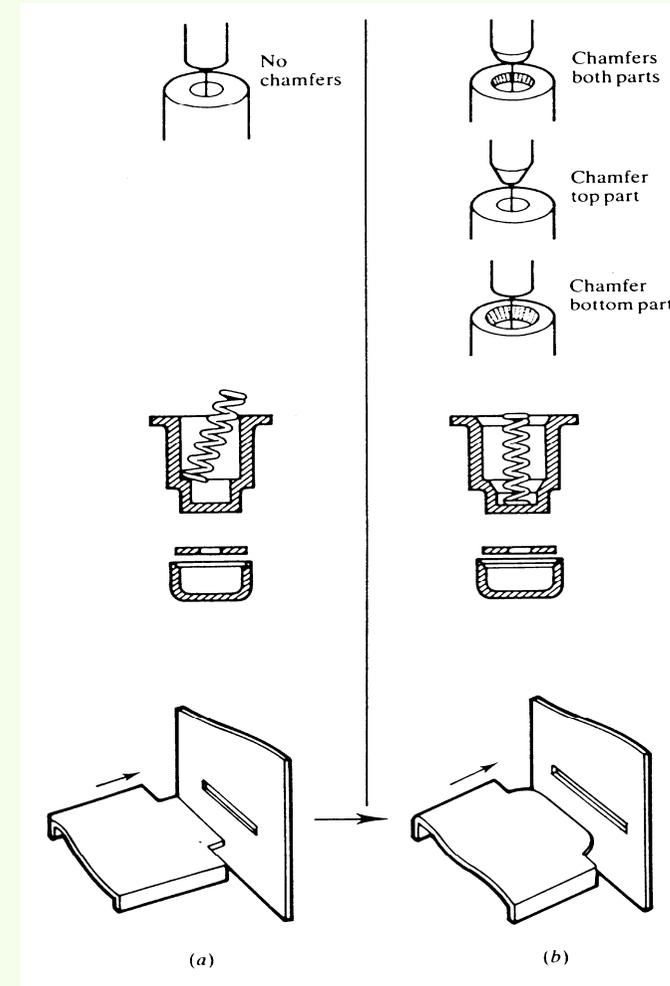
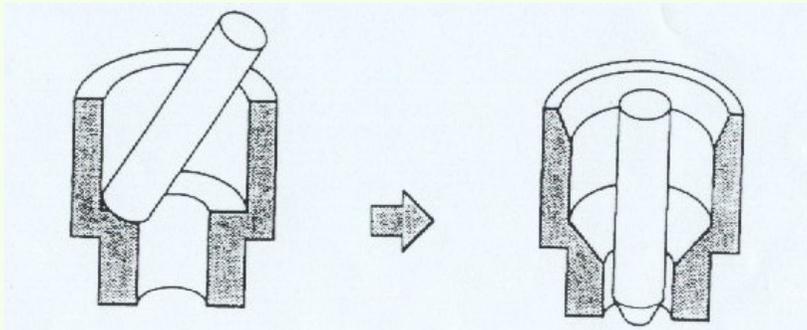
PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

4. Melhorar acesso para a montagem



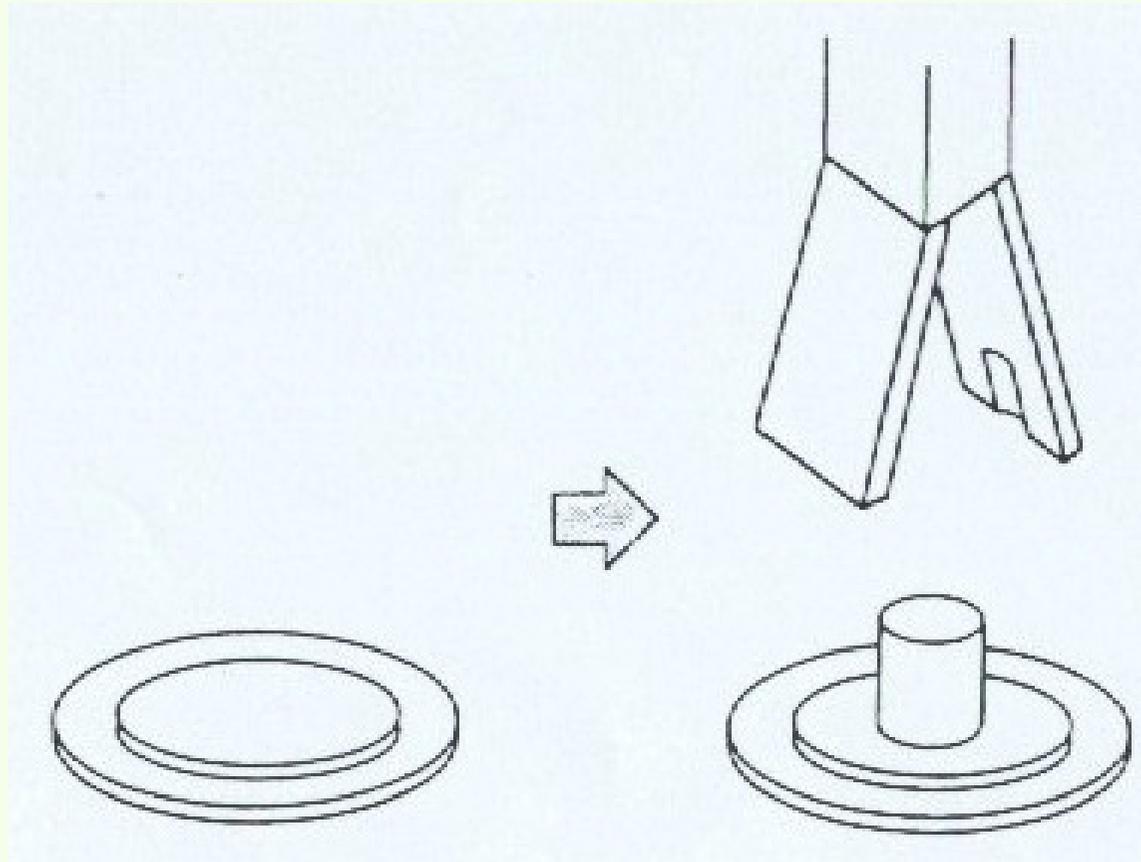
PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

5. Facilitar a concordância entre as peças



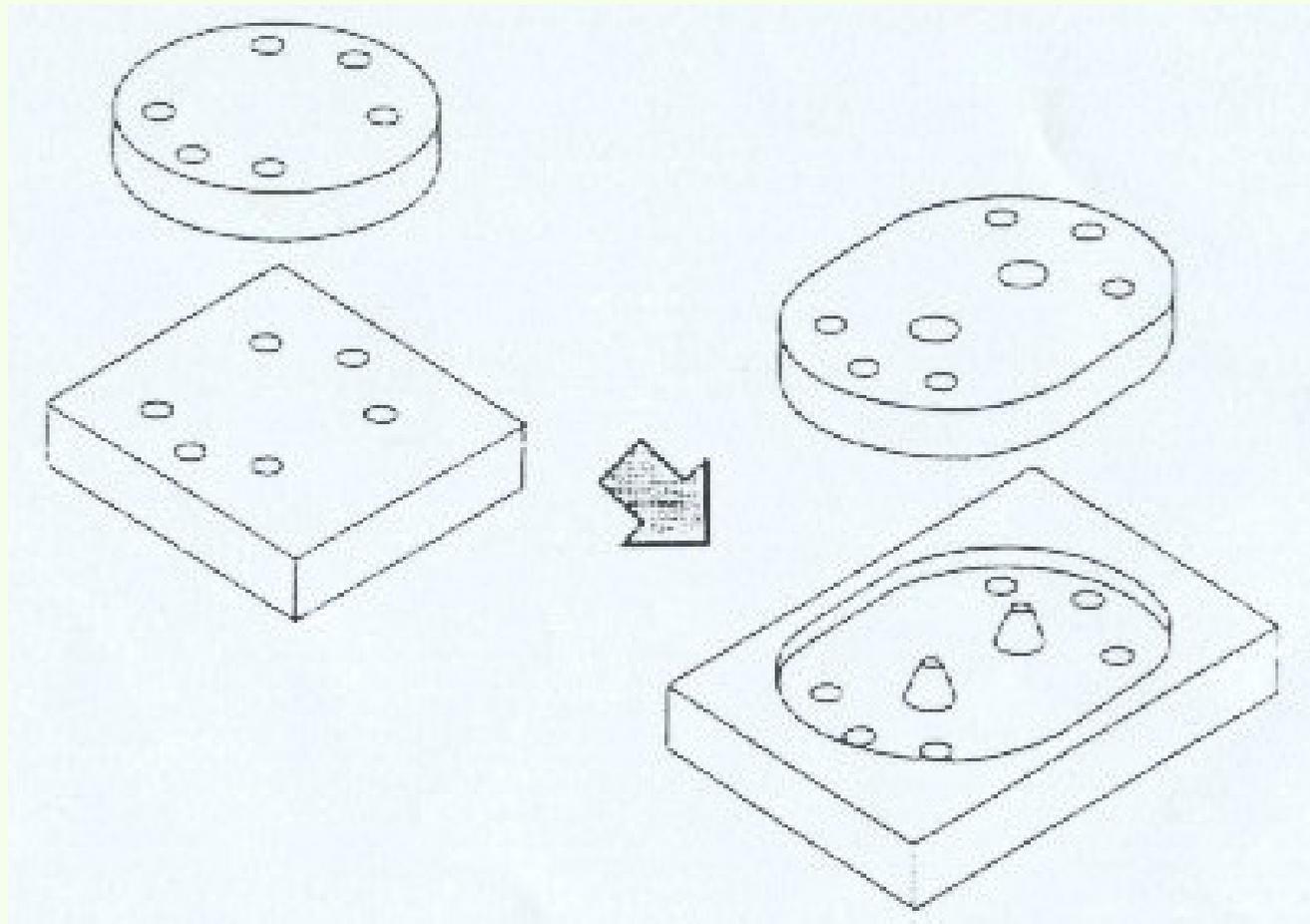
PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

7. Facilitar o manuseio das peças

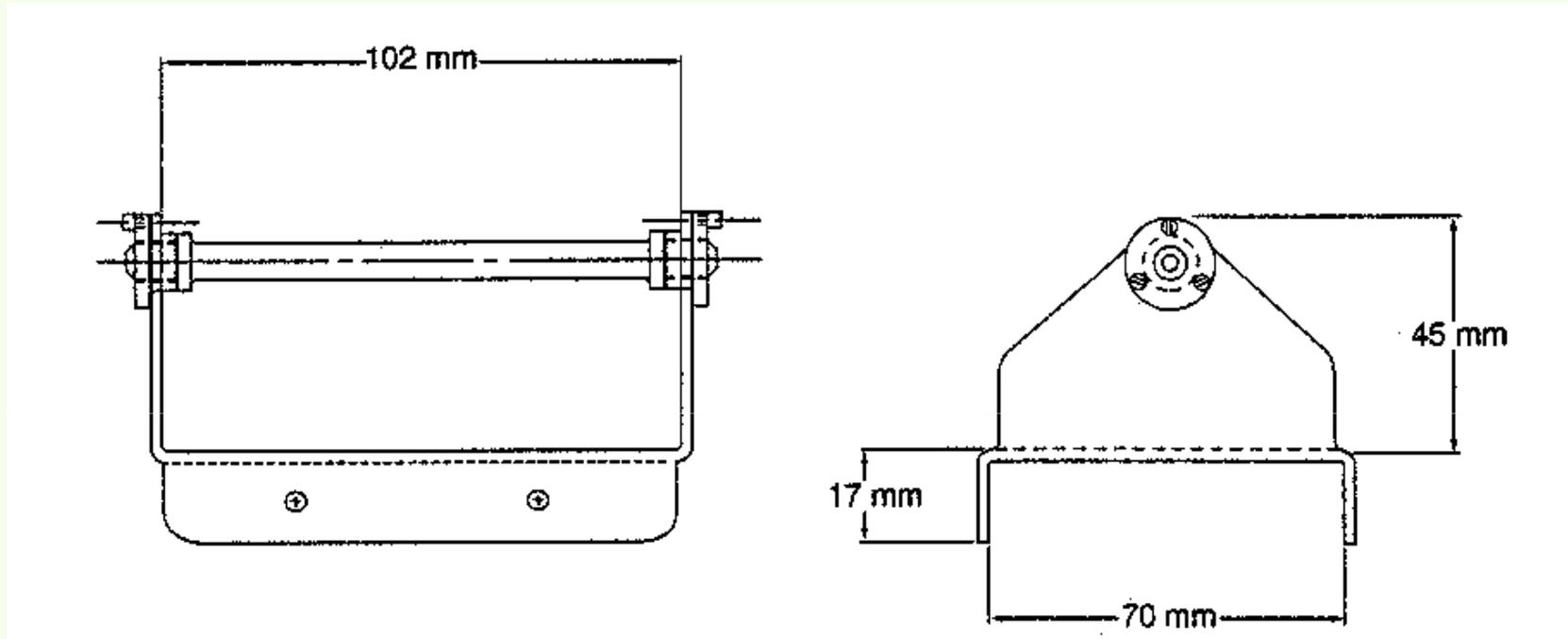


PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

9. Fornecer peças com características de auto-fixação

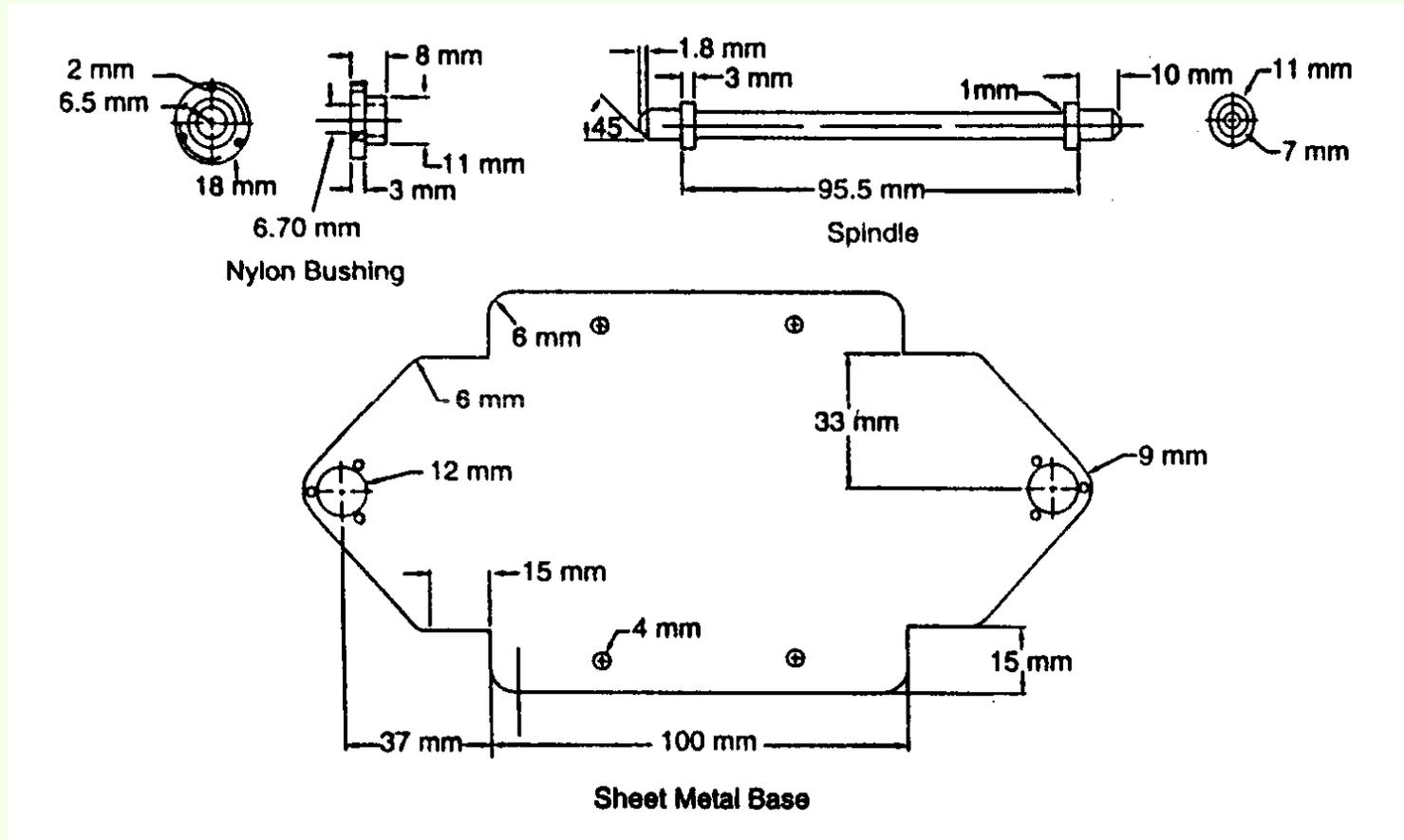


PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



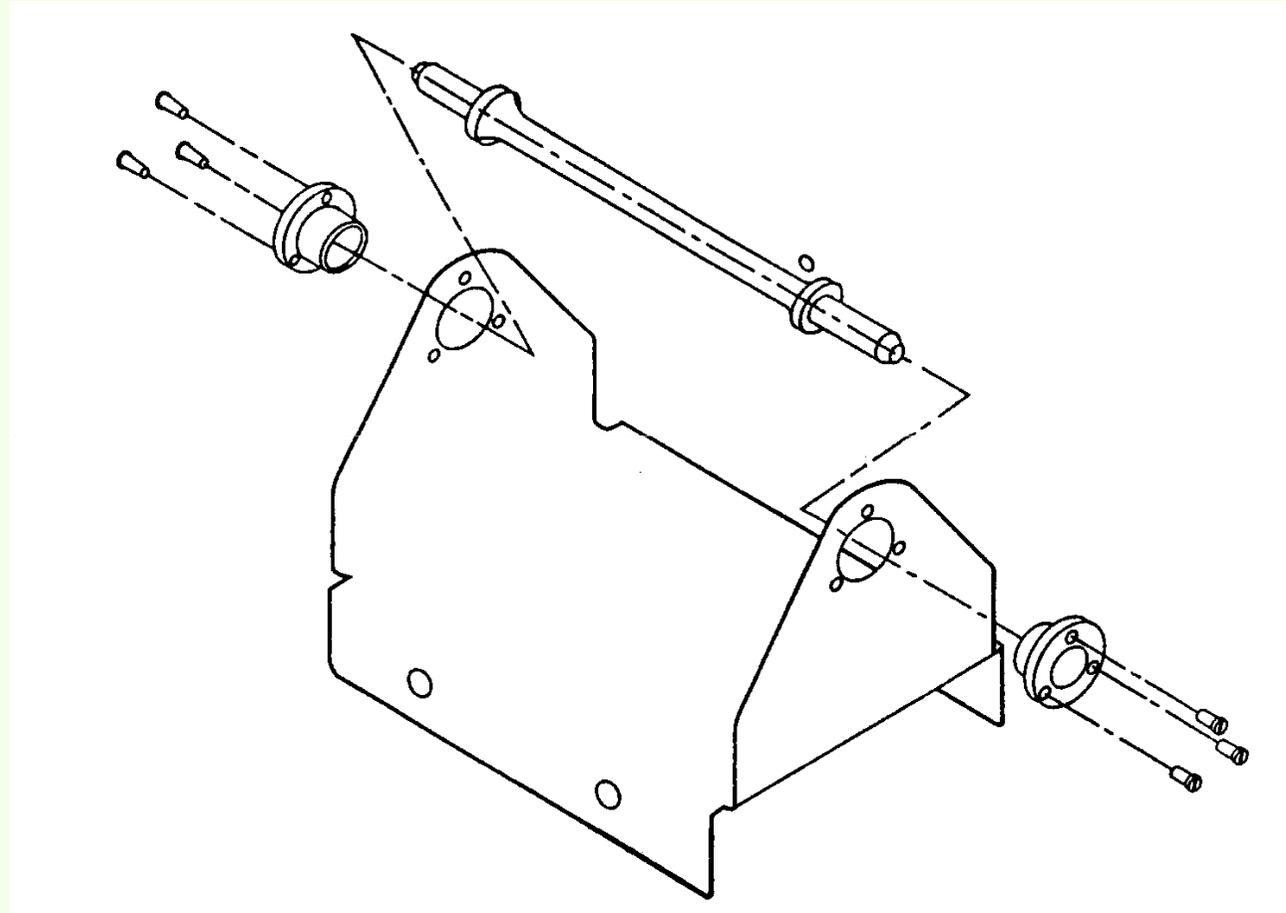
Exemplo de produto para o qual são aplicadas as 10 regras de montagem

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



Dimensões das peças que compõem o produto da figura anterior

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



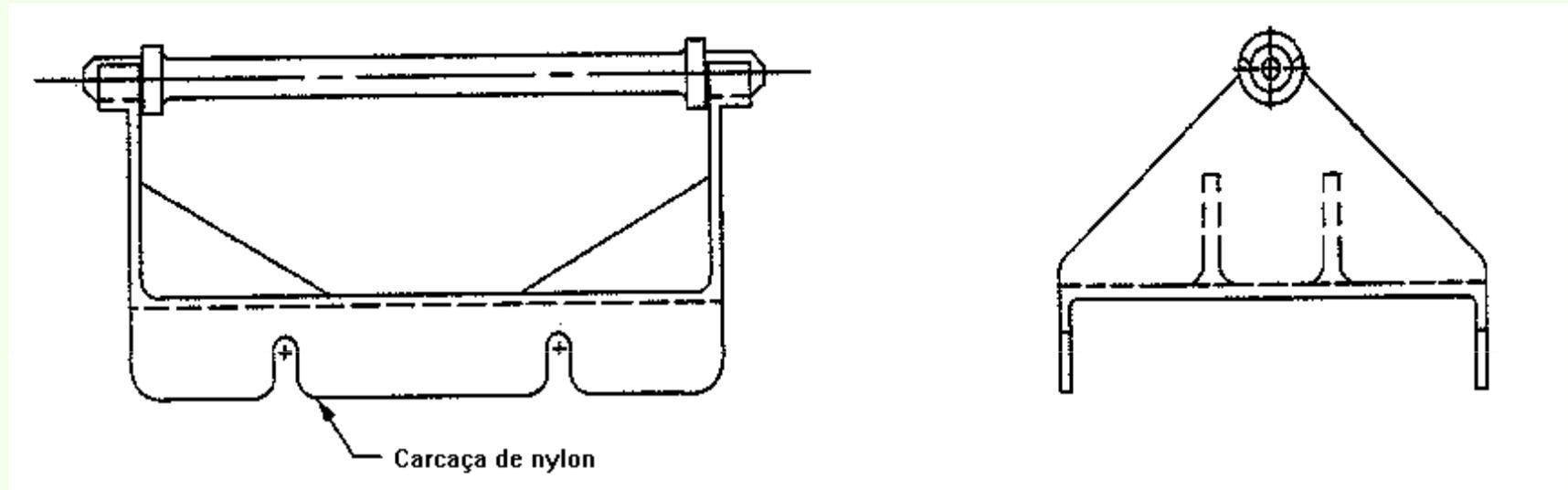
Vista explodida do produto da figura acima

- **Aplicação das 10 regras:**
 - Regra 1: Minimizar o número de peças (**violada**): # peças = 10, com somente uma peça movendo-se na montagem.
 - Regra 2: Minimizar as superfícies montadas (**desconhecida**).
 - Regra 3: Projetar para montagem de cima para baixo (**violada**): peças são montadas pelos lados.
 - Regra 4: Melhorar acesso para montagem (**satisfeita**): acesso OK, uso de ferram. padroniz.
 - Regra 5: Maximizar a concordância entre as peças (**violada**).
 - Regra 6: Maximizar a simetria das peças (**satisfeita**): peças simétricas.
 - Regra 7: Otimizar o manuseio das peças (**violada**): parafuso não tem área adequada para fácil aperto.
 - Regra 8: Evitar fixadores separados (**violada**): 6 fixadores separados.
 - Regra 9: Fornecer peças com características de auto-fixação (**violada**): fixadores auto-travados não usados.
 - Regra 10: Focalizar em projeto modular (**violada**): provavelmente peça não padronizada.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

- Resultado → 7 regras violadas, 2 satisfeitas, 1 desconhecida → este projeto deve ser melhorado em várias áreas.
- Solução alternativa → próxima figura.
- Buchas → eliminadas fabricando-se a braçadeira inteiramente de nylon → produto com somente 2 peças.

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



Projeto alternativo para o produto anterior

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

(a) Projeto usando a carcaça de chapa metálica

	Montagem	Material	Manufatura	Ferramental
Carcaça	0,02	1,74	1,56 ^a	7.830 ^b
Bucha (2)	0,09	0,01	0,06	9.030 ^c
Parafuso (6)	0,35	0,72	-	-
Árvore	0,04	0,26	1,29	-
Total	0,50	2,73	2,91	16.860

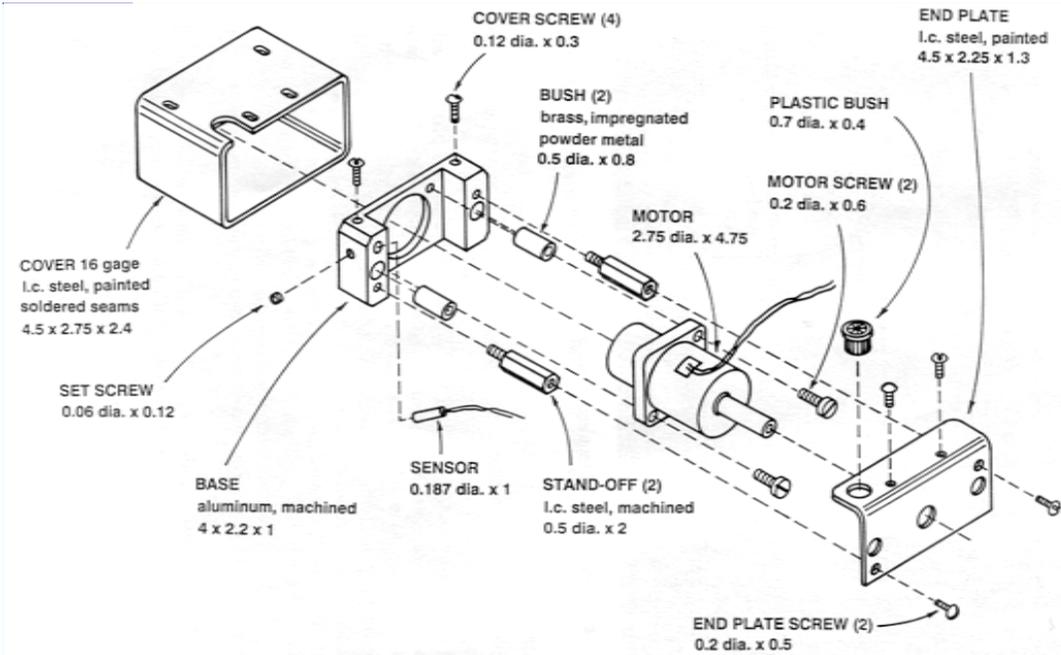
^a Inclui \$1,35 para furação e rosqueamento com macho dos furos.
^b Três matrizes separadas para puncionamento e dobramento.
^c Molde com dez cavidades para fabricação com mínimo custo

(b) Projeto usando a carcaça feita por injeção de molde

	Montagem	Material	Manufatura	Ferramental
Carcaça	0,02	0,14	0,24	10.050 ^a
Árvore	0,02	0,26	1,29	-
Total	0,04	0,40	1,53	10.050

^a Molde com duas cavidades para fabricação com mínimo custo

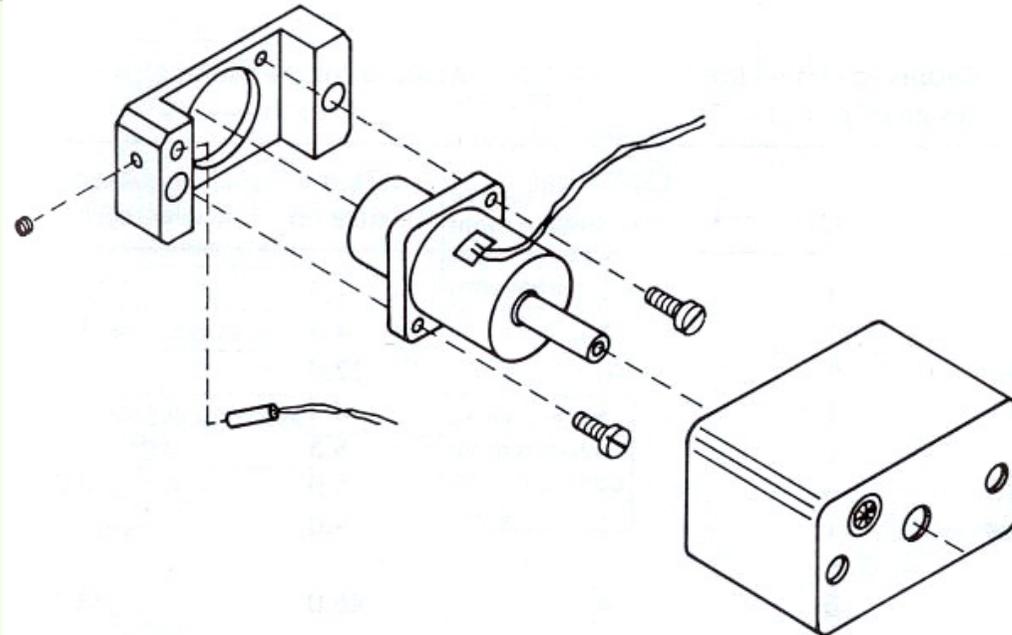
Análise de custos feita por um software de DFMA para os produtos anteriores



Proposed design of motor drive assembly. (Dimensions in inches.)

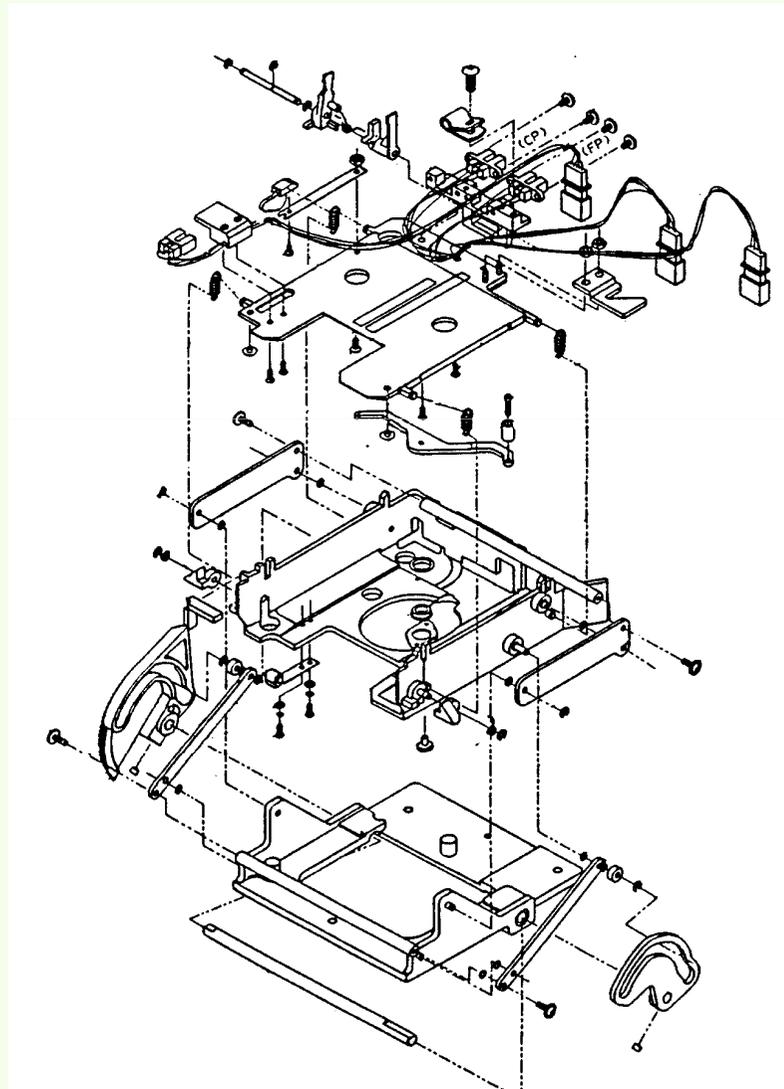
Projeto do acionamento de um motor

Projeto alterado



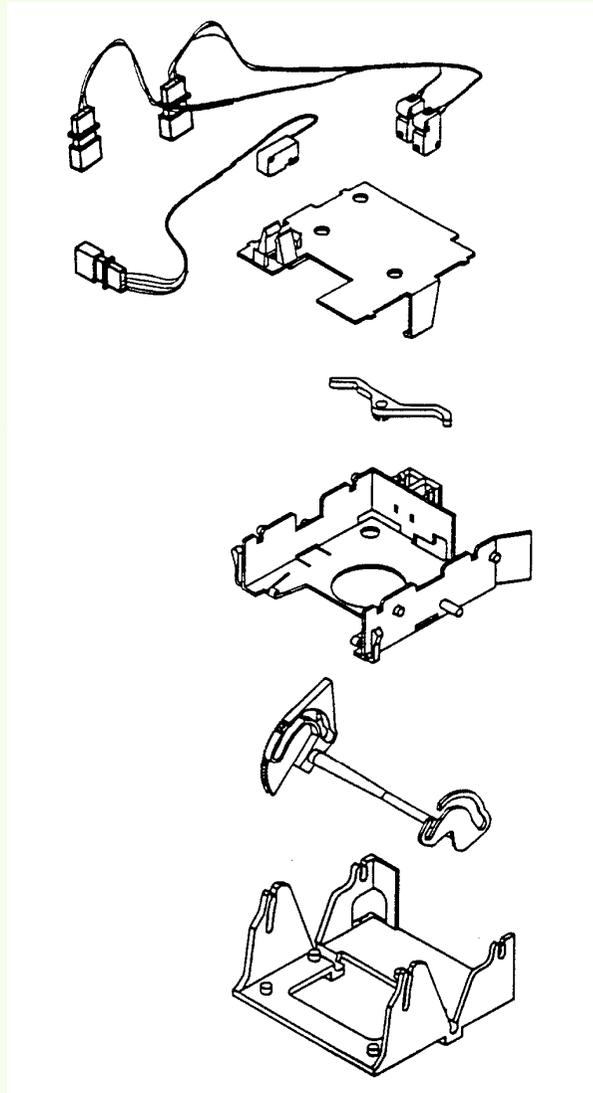
Redesign of motor drive assembly following design for assembly (DFA)

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



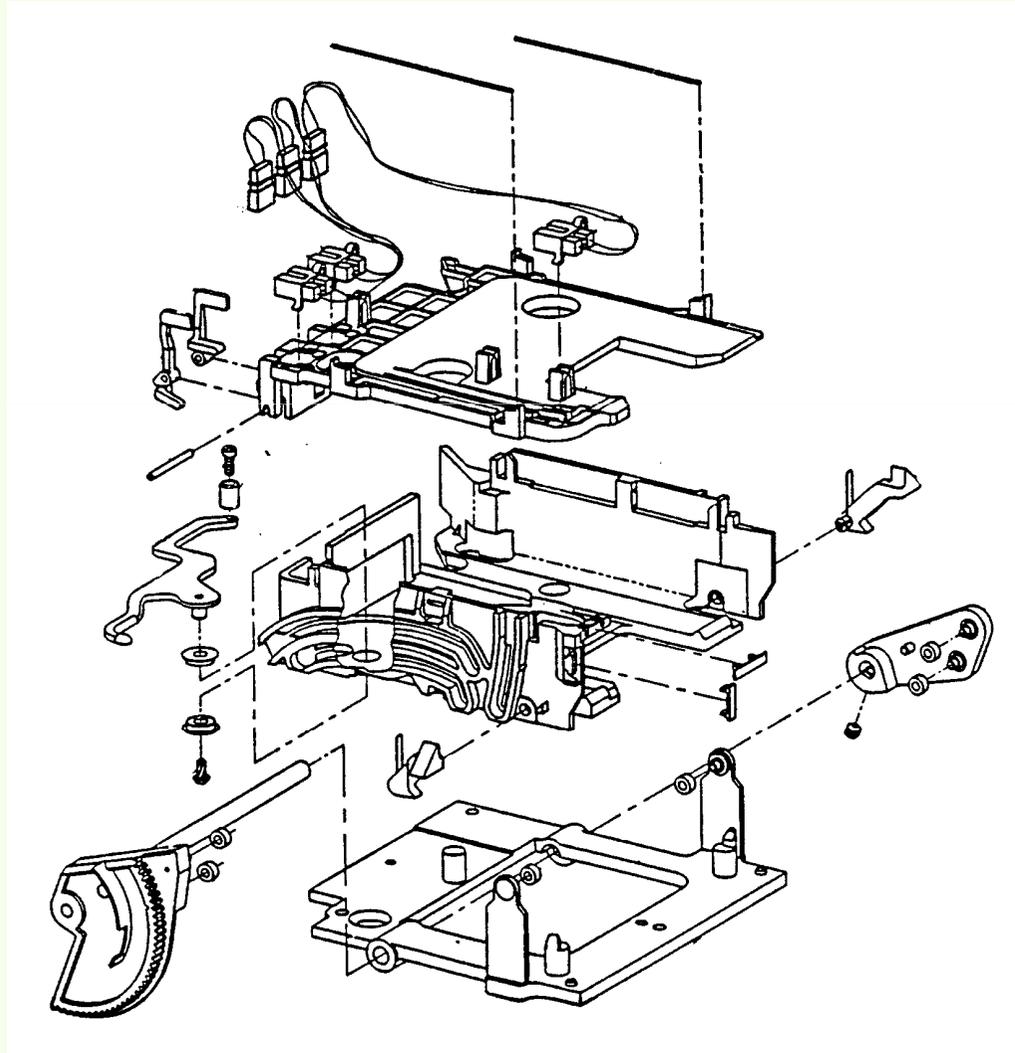
O elevador e seu projeto original com 36 parafusos

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



O elevador após a implementação do DFM: 0 parafusos, porém caro para manufatura

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)



*O elevador em seu
desenho final (com
2 parafusos)*

PROJETO PARA A MANUFATURA E MONTAGEM (DFMA)

- Outro exemplo da aplicação de DFMA → pistão pneumático.
- Eficiência do Projeto ⇒ Equação:

$$EM = \frac{3 \times NM}{TM}$$

onde: EM = eficiência da montagem manual
NM = número mínimo teórico de peças
TM = tempo total da montagem manual (segundos)

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- Complexidade do mercado (produtos) $\uparrow\uparrow$ \rightarrow empresas são forçadas a concentrar-se em segmentos de mercado mais específicos \rightarrow busca incessante por lead times de desenvolvimento mais curtos \rightarrow eficiência das empresas \downarrow \rightarrow soluções específicas \rightarrow operações sem valor agregado $\uparrow\uparrow$
- Exemplo: existem empresas com produção anual de algumas milhares de unidades compostas por 15 modelos básicos contendo 20 ou mais variantes em cada \rightarrow Tipicamente não há tempo suficiente para racionalizar todos os produtos produzidos pela empresa \rightarrow Solução: satisfazer as necessidades do cliente com soluções específicas.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- Quando a variedade/complexidade aumenta → considerações de projeto tendem a focar mais nos níveis mais baixos dos componentes.
- Exemplo: uma montadora queria oferecer aos clientes a opção de um CD player → o projetista do CD player não considerou outras partes do veículo → Quando os carros foram montados, carros com CD player exigiam um painel diferente do que aqueles sem o CD player.
- A falta de uma estrutura de produto bem definida com interfaces especificadas pode resultar em variedade espalhando-se pelo produto de maneiras sem controle → Comonalidade ↓

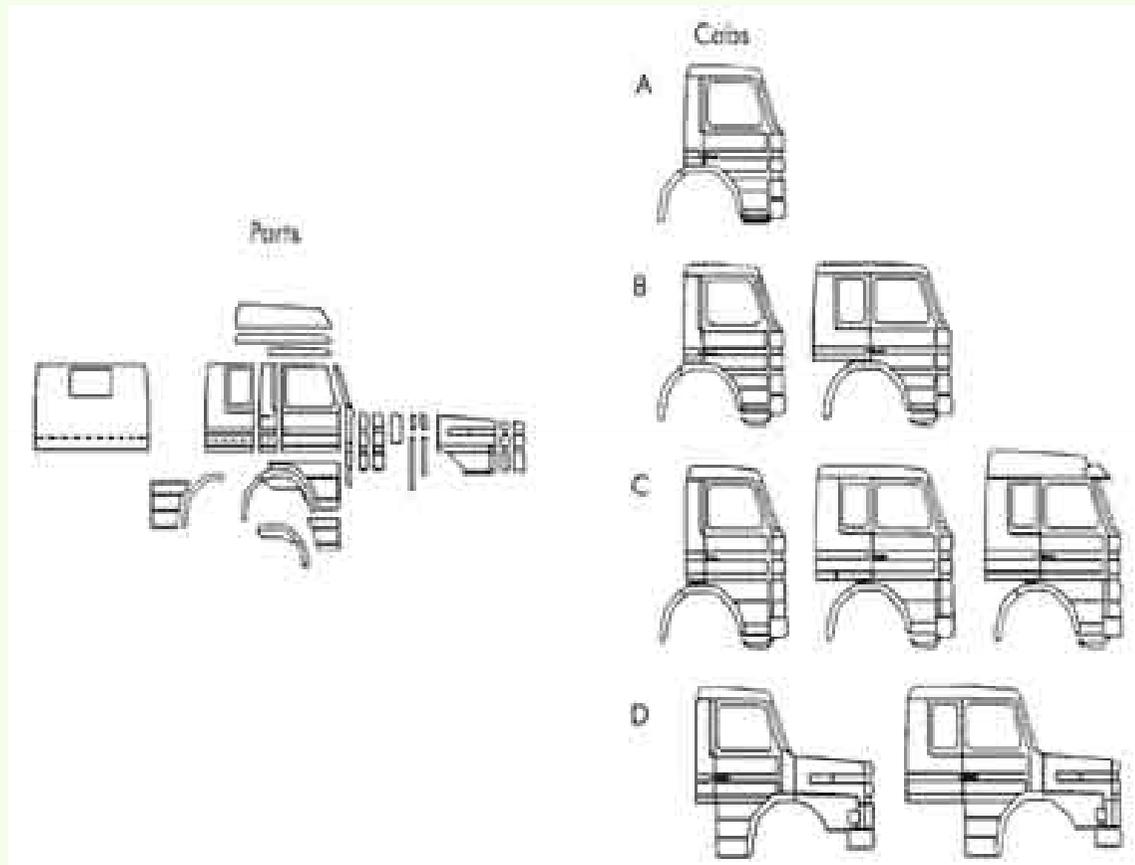
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- Empresas começaram a pensar em termos de plataformas → reduzir o lead time de desenvolvimento & aumentar a comonalidade entre os produtos
- Objetivo → redução de custos no desenvolvimento e manufatura
- Entretanto → risco de plataformas de produtos: produto pode perder sua identidade; seu perfil → Isto pode comprometer a imagem da marca → redução de vendas.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

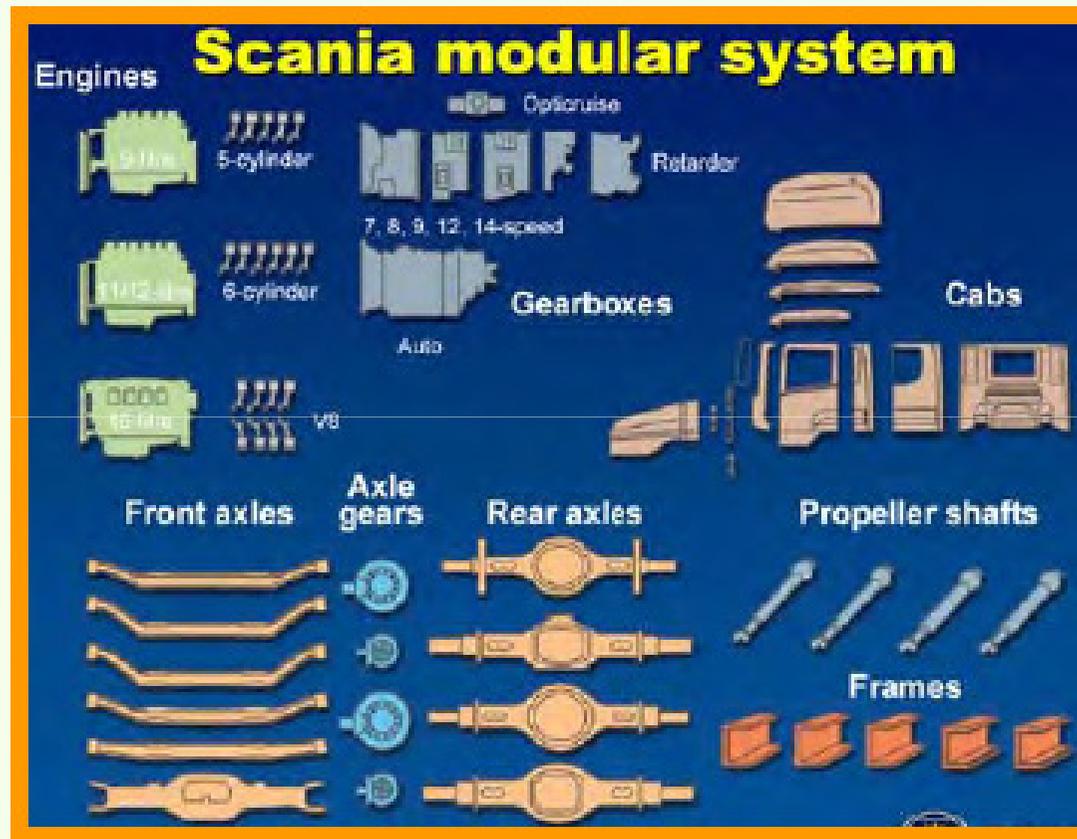
- Lucro → não corresponde apenas à redução de custos, mas também no aumento de vendas → com uma estrutura de plataforma modular de produto → um conjunto de “tijolos” (módulos) é criado, onde através de combinações, produtos finais podem ser montados.
- Peças do produto que estrategicamente deveriam variar para satisfazer as necessidades do cliente são bem definidas e separadas das peças do produto que devem ser mantidas como unidades comuns → Pode-se ter muitas variantes de produtos finais sem aumentar a complexidade interna da empresa.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



Subdividindo-se um produto complexo em unidades menores, uma empresa pode controlar tanto o produto como as atividades relacionadas ao produto. A Scania Truck Cab modularizou o cockpit, oferecendo aos seus consumidores uma maior gama de produtos, com um menor número de peças do que antes, menos ferramentas, e um tempo de montagem menor.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



Subdividindo-se um produto complexo em unidades menores, uma empresa pode controlar tanto o produto como as atividades relacionadas ao produto. A Scania Truck Cab modularizou o cockpit, oferecendo aos seus consumidores uma maior gama de produtos, com um menor número de peças do que antes, menos ferramentas, e um tempo de montagem menor.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

Effect of modularization

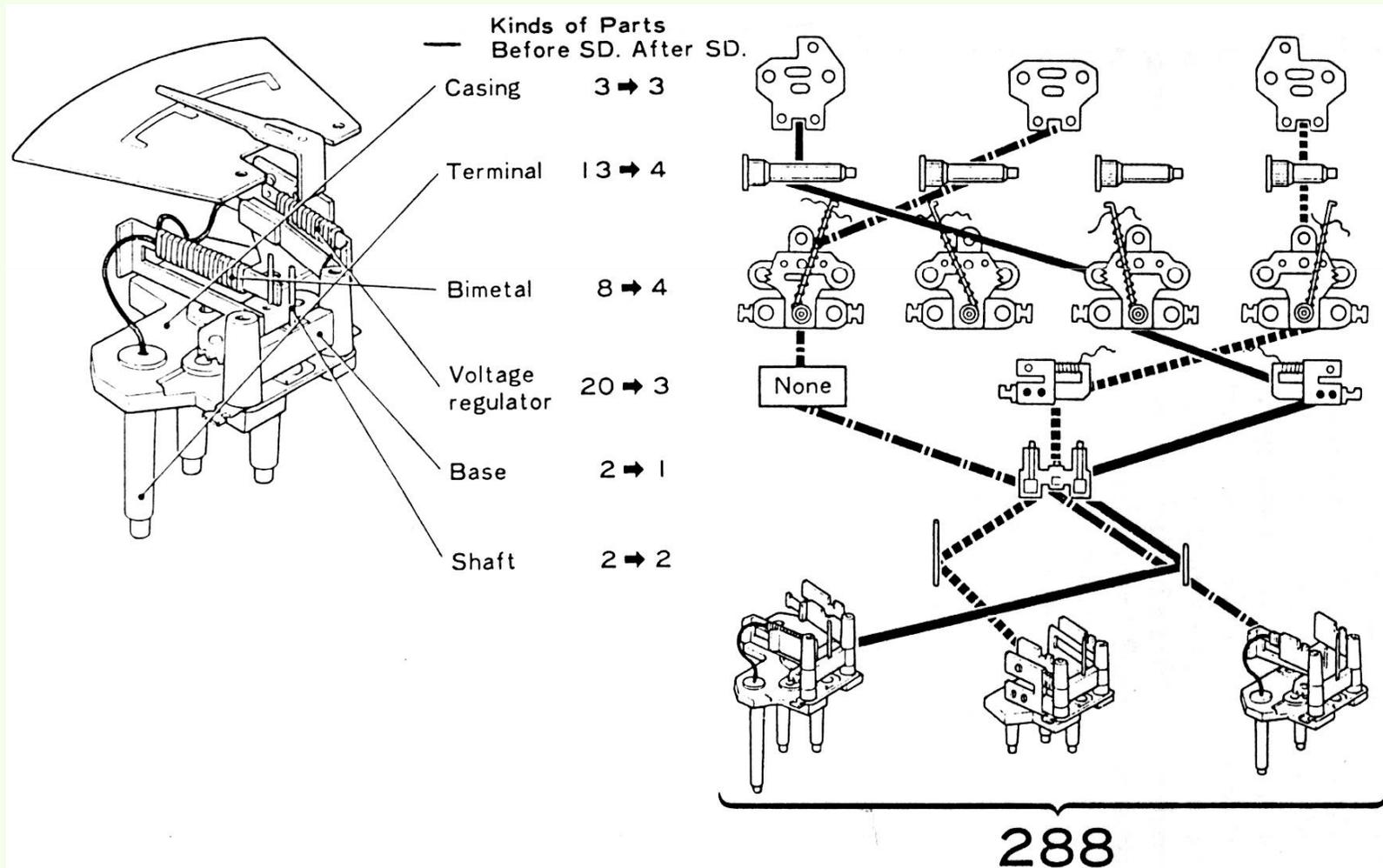
	Before	After
Number of:		
sheet metal parts	1400	380
interior fitting parts	1800	600
parts in top	7	3
parts in front	8	3
parts in doors	12	8
windcreens	3	1
sheet metal tools	1600	280

Factor
1.5 – 5,7

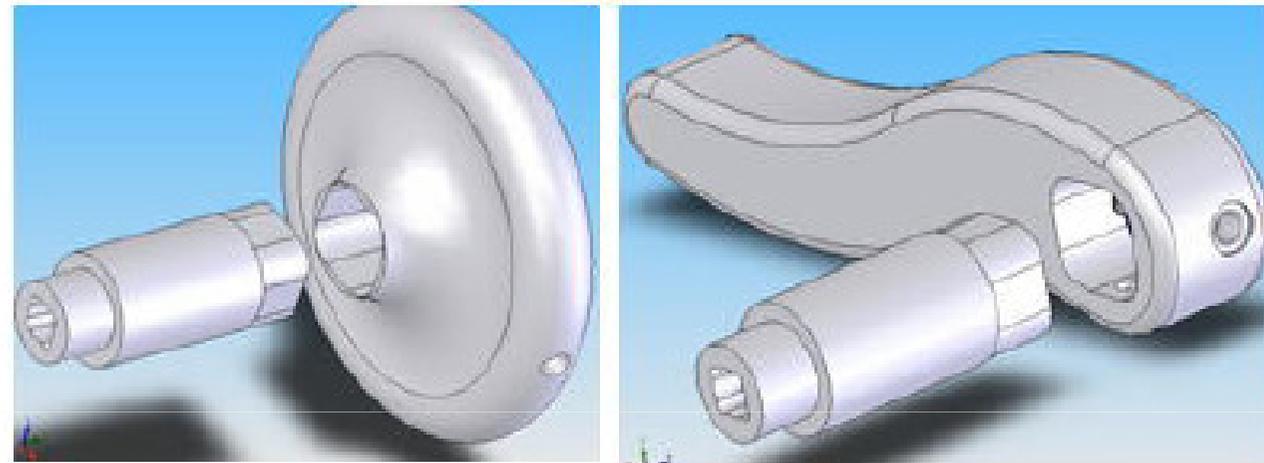
Subdividindo-se um produto complexo em unidades menores, uma empresa pode controlar tanto o produto como as atividades relacionadas ao produto. A Scania Truck Cab modularizou o cockpit, oferecendo aos seus consumidores uma maior gama de produtos, com um menor número de peças do que antes, menos ferramentas, e um tempo de montagem menor.

Sectional Modularity at Nippondenso

- Nippondenso can make 288 different panel meters from variations of 8 modules (17 different parts)



CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

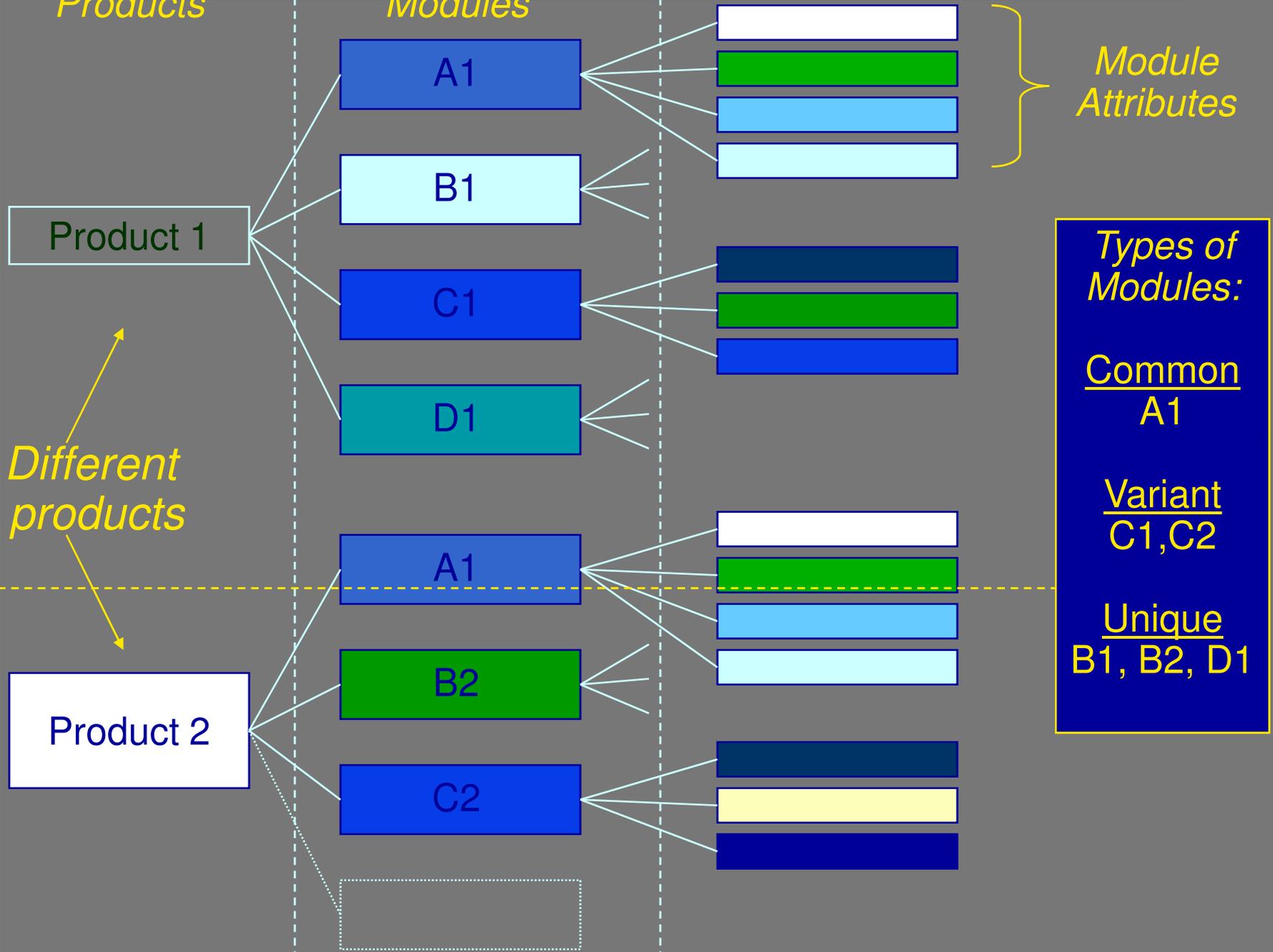


Maçanetas

Products, Modules, and Attributes

Products

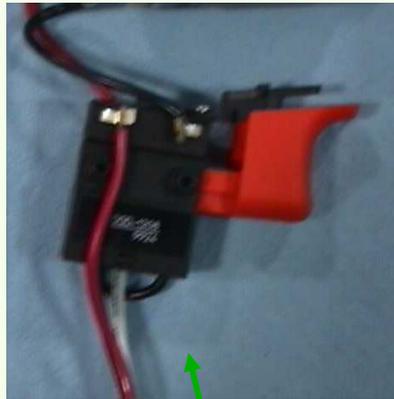
Modules



Example: B&D Versapak® Toolkit



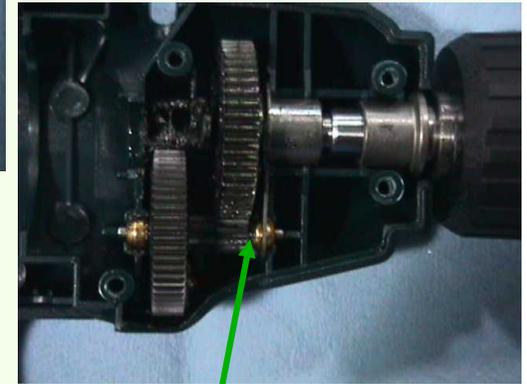
Common



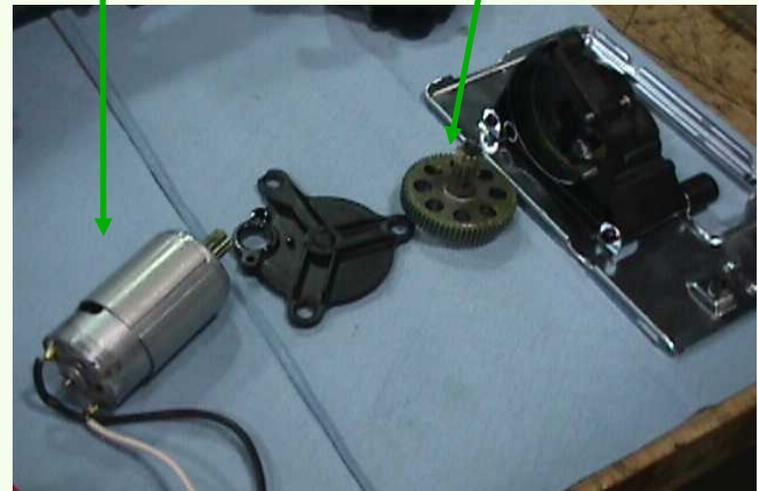
Variant



Variant



Unique



CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- Em vez de buscar um projeto ótimo para um dado produto → plataforma modular → criar um produto estrategicamente flexível que permite variações sem requerer mudanças no projeto global do produto sempre que uma nova variante do produto é introduzida.
- Estrutura Ágil de produto → mudanças no mercado e tecnologia podem ser gerenciadas mais facilmente → empresa controla o desenvolvimento de produtos sem perder a sua iniciativa de inovação.

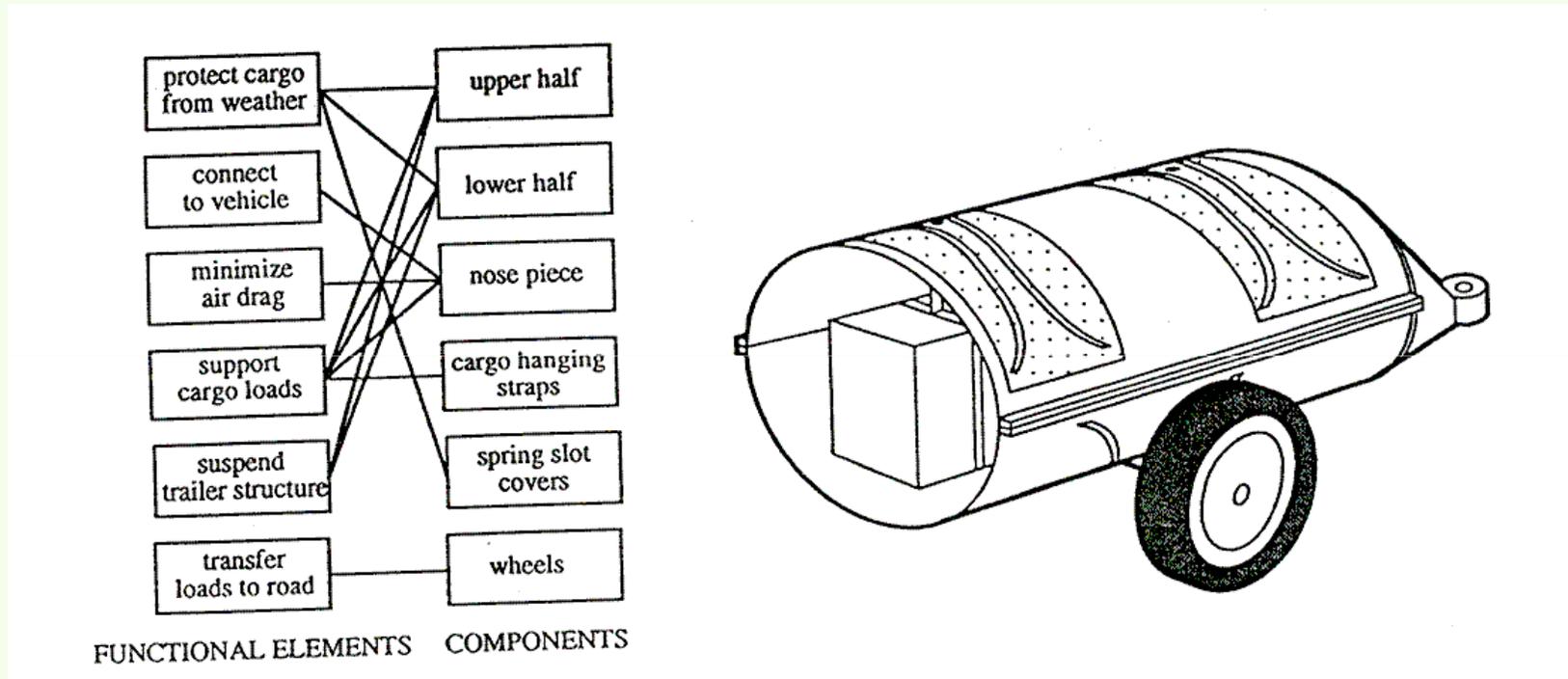
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- Modularidade → aumentar a eficiência reduzindo a complexidade.
- Abordagem modular → construir um variedade de produtos que leva em consideração o desenvolvimento, o projeto, a variedade, a manufatura, a qualidade, as compras, manutenção → todo o ciclo-de-vida
- Base da Modularidade → adoção de uma visão comum do produto em toda a organização.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

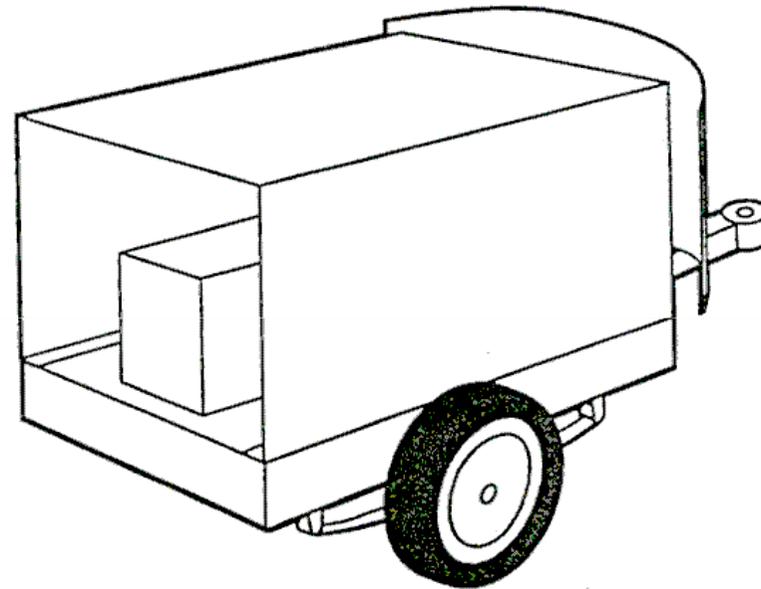
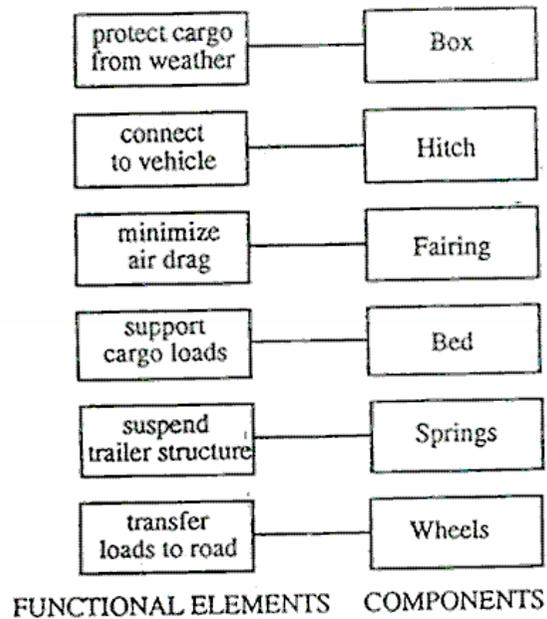
- Filosofia de plataforma do produto → identificação de peças ou subsistemas dos produtos que devem ser mantidos como unidades comuns → É importante identificar as peças do produto que devem variar entre diferentes segmentos de mercado e aquelas que contribuem significativamente para a identidade do produto → equilíbrio entre medidas de redução de custos e opções para aumento de mercado.
- Uma grande variedade de produtos pode ser gerenciada com um número limitado de peças.
- Sistema de manufatura → baixos níveis de estoque e lead times curtos → menores números de peças; maior uso de atividades paralelas.
- Melhoria da qualidade → teste dos subsistemas antes da montagem final.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



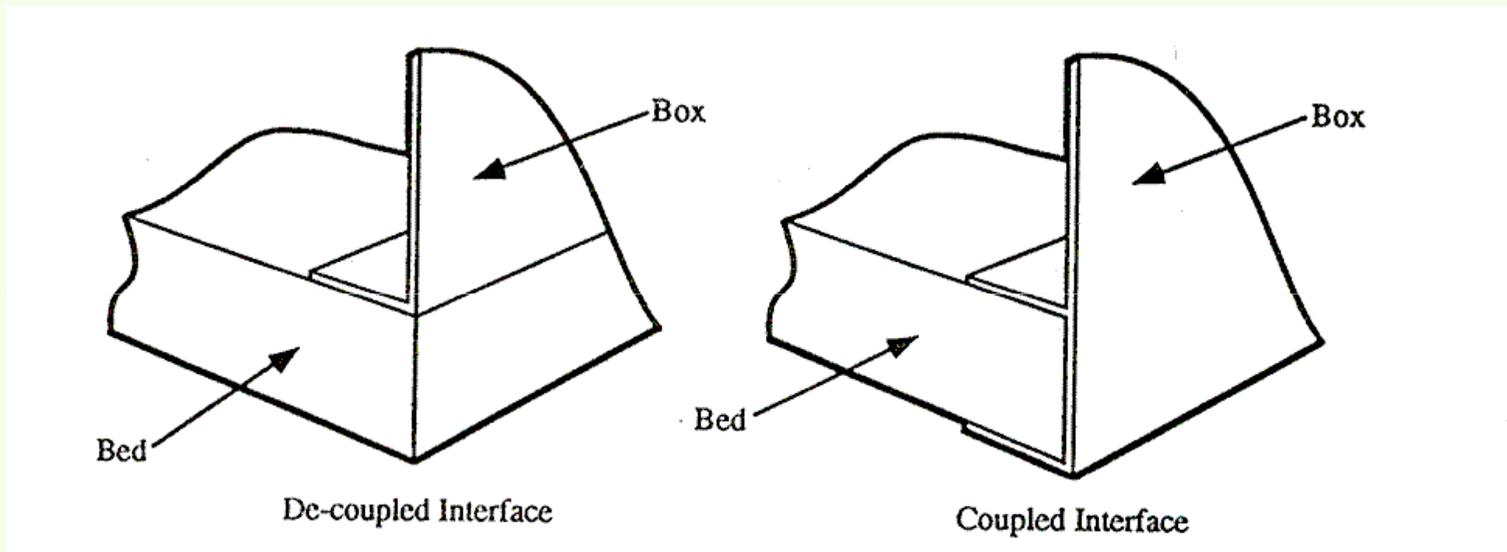
*Arquitetura integral de um trailer:
mapeamento complexo de elementos
funcionais em componentes físicos*

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



*Arquitetura modular de um trailer:
mapeamento de elementos funcionais em
componentes físicos*

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



Dois exemplos de interfaces entre a caixa e a base do trailer: uma é desacoplada, enquanto a outra é acoplada.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- “*Slot*” → cada uma das interfaces entre componentes nessa arquitetura é de um tipo diferente → vários componentes do produto não podem ser intercambiados.
- Exemplo: rádio de carro → implementa exatamente uma função, e é desacoplado dos outros componentes adjacentes, mas a sua interface é diferente de quaisquer outros componentes no veículo (p.ex. velocímetro).

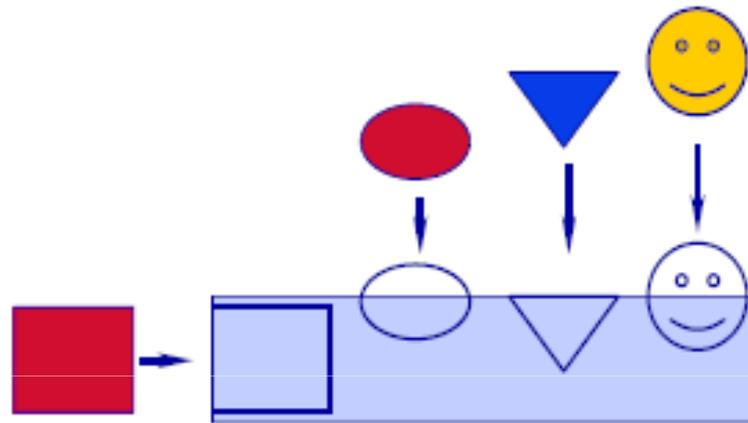
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- “Bus” → existe uma base comum na qual outros componentes se conectam através do mesmo tipo de interface.
- Exemplo: cartão de expansão num PC.

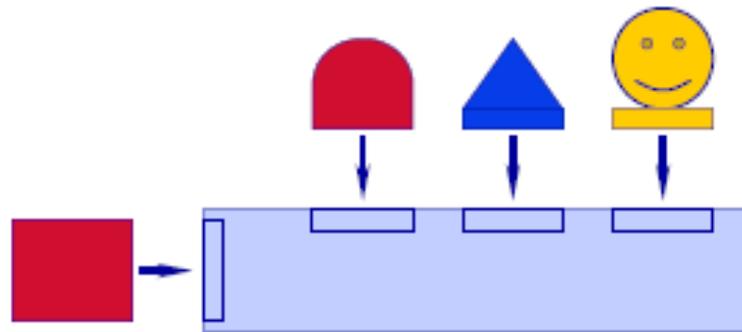
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

- “Sectional” → todas as interfaces são do mesmo tipo, e há um elemento único no qual todos os componentes se conectam → a montagem é feita conectando-se os componentes entre si através de interfaces idênticas.
- Exemplo: tubulações, sofás, divisórias.

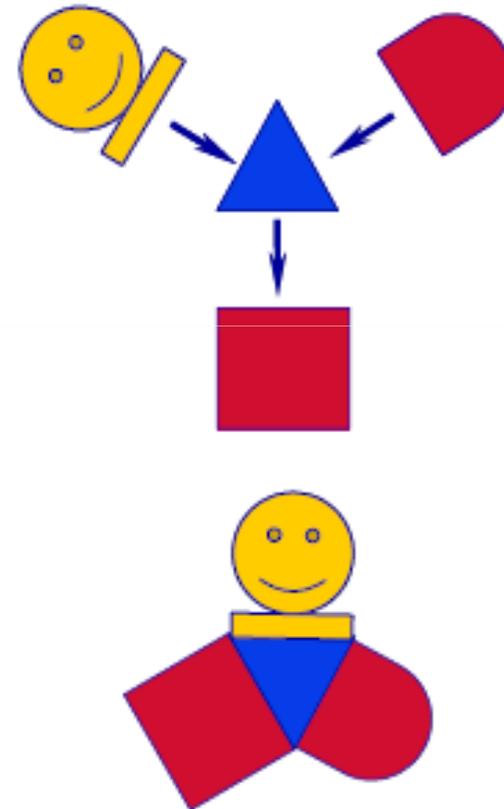
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



a) Slot-Modular Architecture

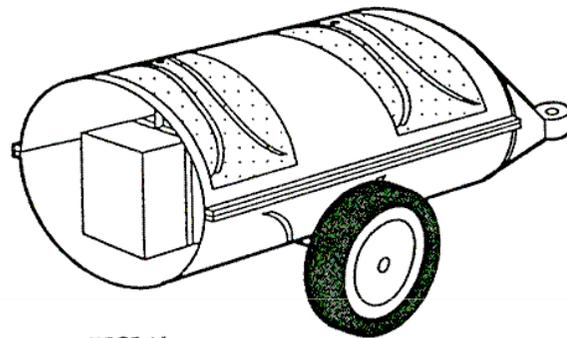


b) Bus-Modular Architecture

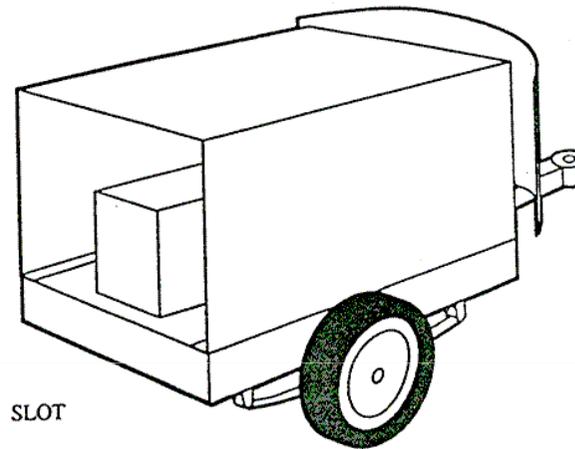


c) Sectional-Modular Architecture

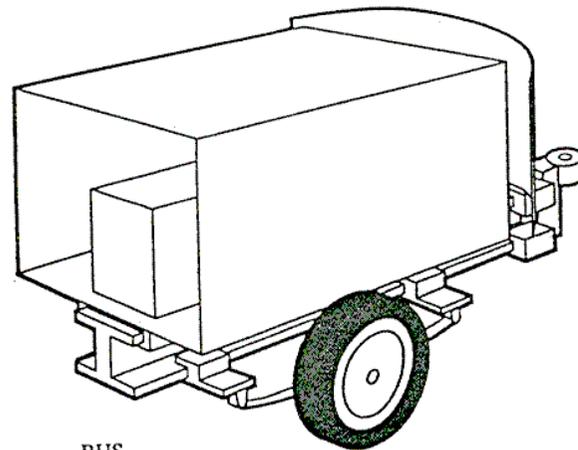
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



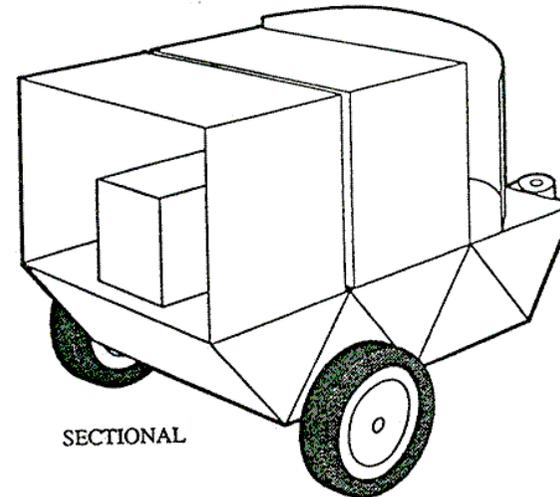
INTEGRAL



SLOT

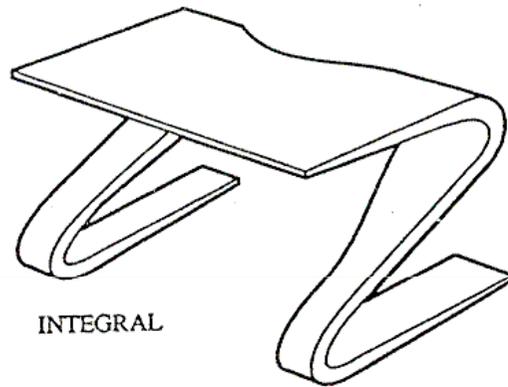


BUS

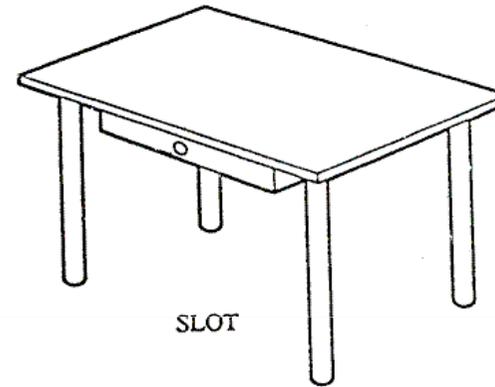


SECTIONAL

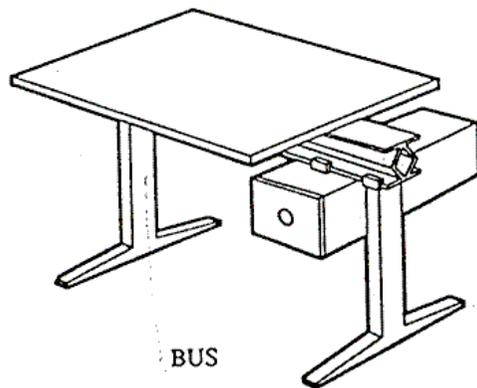
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



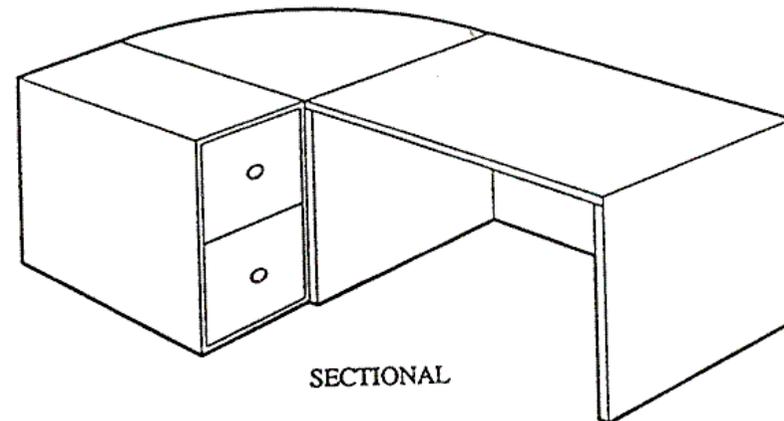
INTEGRAL



SLOT

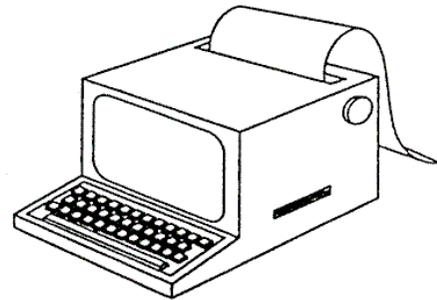


BUS

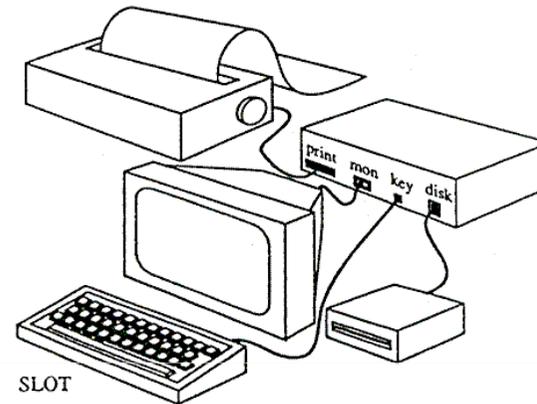


SECTIONAL

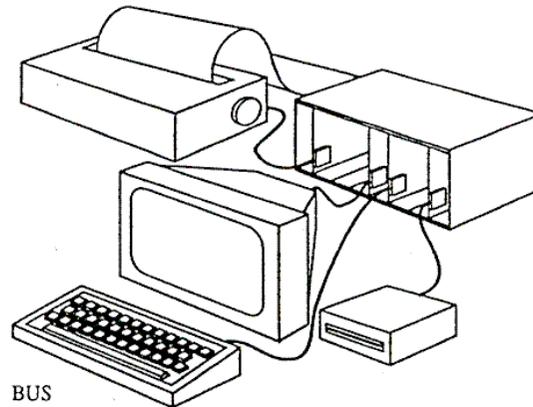
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



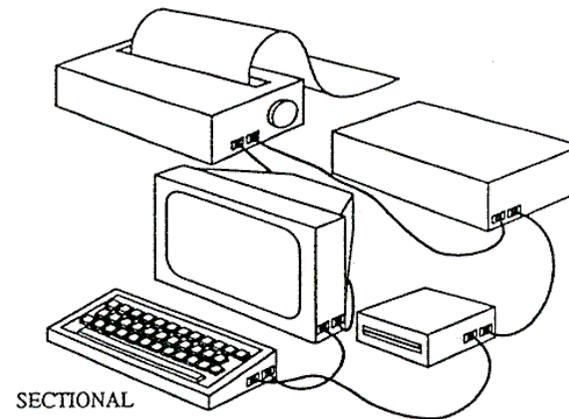
INTEGRAL



SLOT



BUS

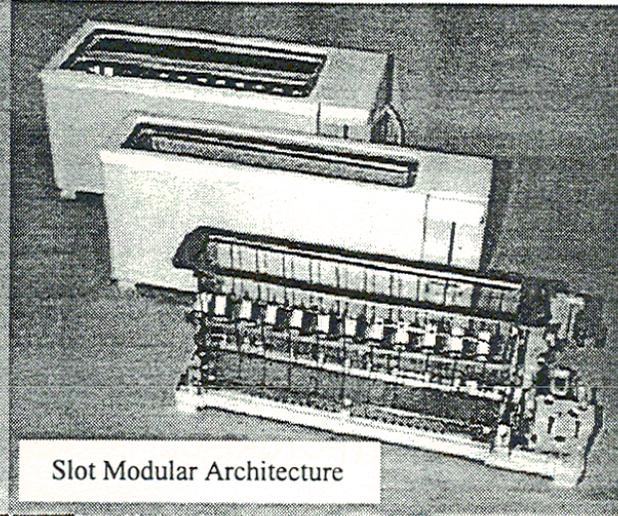


SECTIONAL

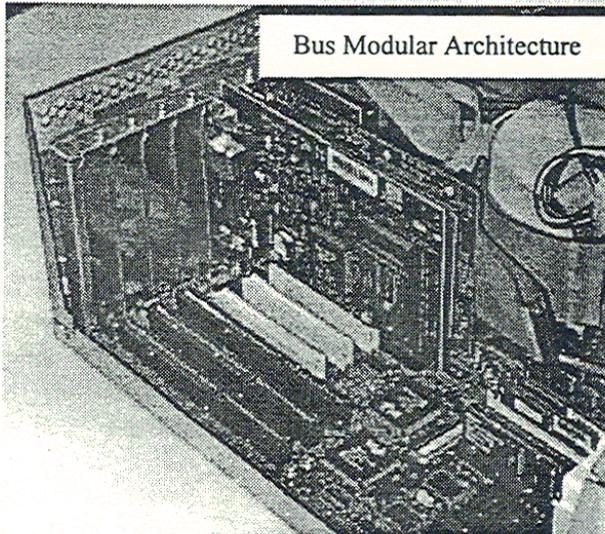
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



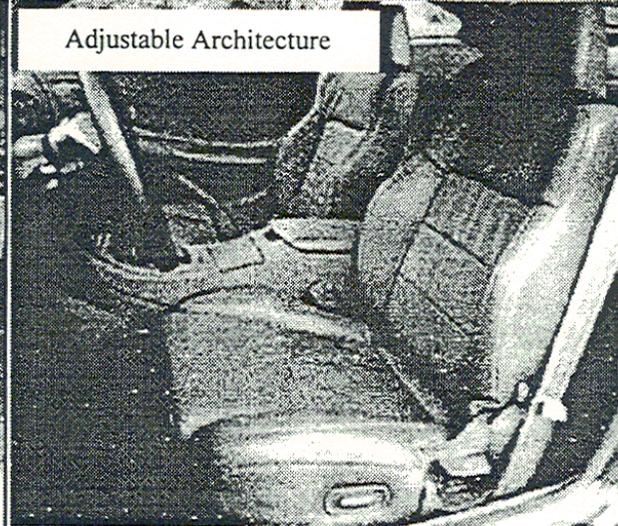
Fixed Integral Architecture



Slot Modular Architecture

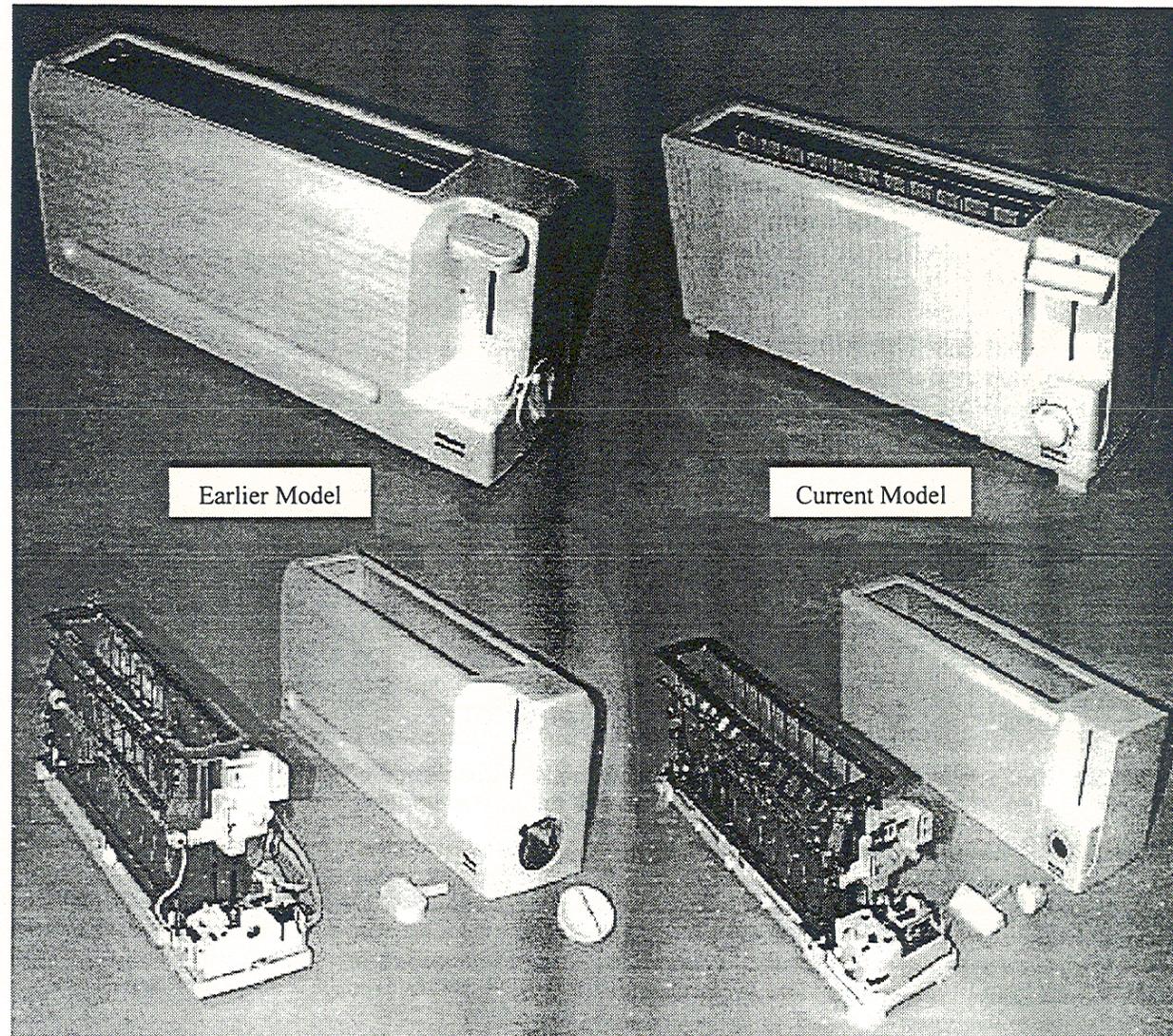


Bus Modular Architecture

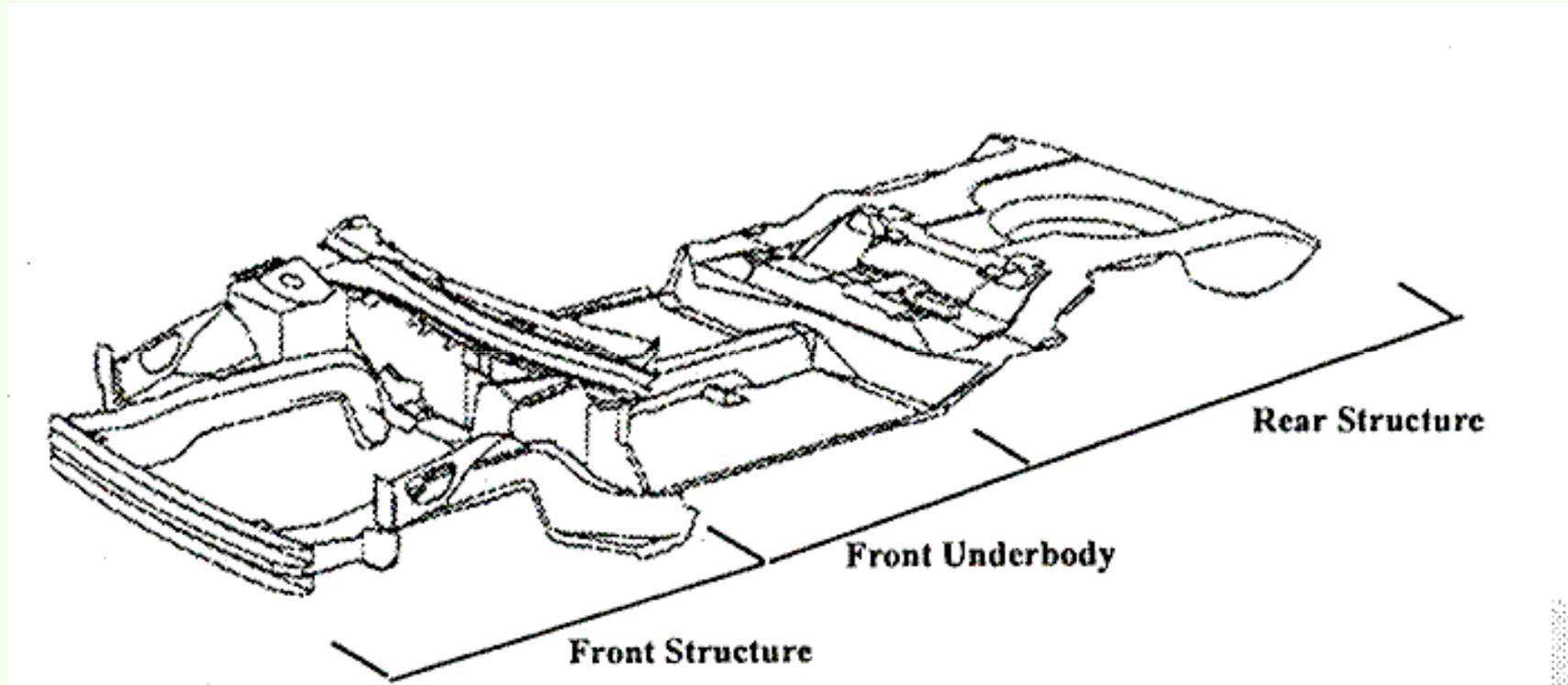


Adjustable Architecture

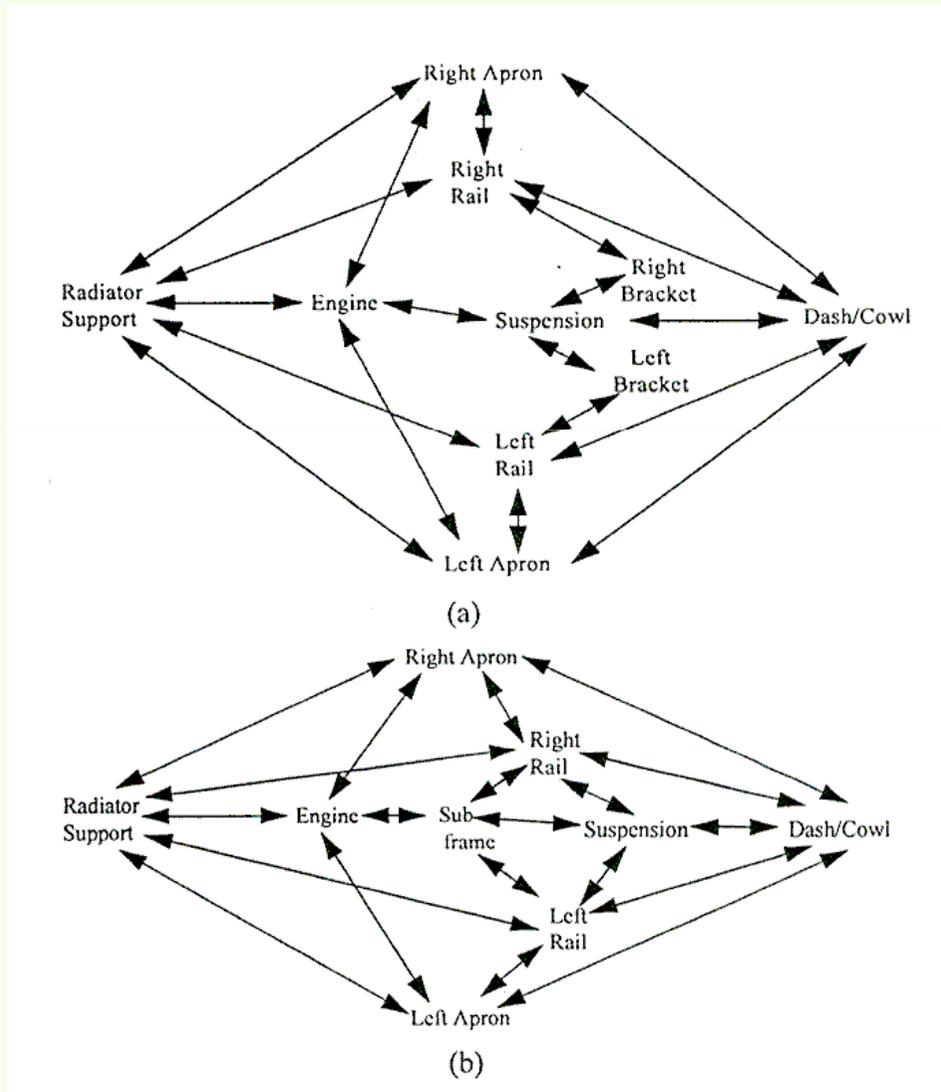
CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



Arquitetura da estrutura frontal – duas plataformas diferentes

Walkman

Models	FX-101	EX-122	FX-221	FX-321	FX-433	FS-191	FS-399
Price	\$34.95	\$26.95	\$54.95	\$44.95	\$69.95	\$69.95	\$89.95
Features	No. 56	No. 57	No. 55	No. 63	No. 69	No. 111	No. 125
1. Extended Bass		x			x		x
2. Dolby NR					x		x
3. Play	x	x	x	x	x	x	x
4. Stop	x	x	x	x	x	x	x
5. Fastforward	x	x	x	x	x	x	x
6. Rewind	x	x	x	x	x	x	x
7. Clock			x		x		
8. Alarm							
9. Radio AM	x		x	x	x	x	x
10. Radio FM	x		x	x	x	x	x
11. Headphones	x	x	x	x	x	x	x
12. Volume Control	x	x	x	x	x	x	x
13. Manual Tuning	x	x		x		x	x
14. Digital Tuning			x		x		
15. Tape Selector	x	x	x	x	x	x	x
16. AVLS	x	x	x	x	x	x	x
17. Belt Clip	x	x	x	x	x	x	x
18. Voltage Supply	x	x	x	x	x	x	x
19. Station Memory			x		x		
20. Anti-Rolling Mech.	x	x	x	x	x		x
21. Auto-Reverse				x	x		x
22. Auto-Stop	x	x	x	x		x	x
23. Continuous Play				x	x		x
24. Direction Selector				x	x		x
25. Equilizer							
26. Frequency Step Switch	x		x	x	x	x	x
27. PLL Tuner							
28. LED Battery Indicator						x	x
29. TV Tuning					x		
30. All-Weather Sports						x	x

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS

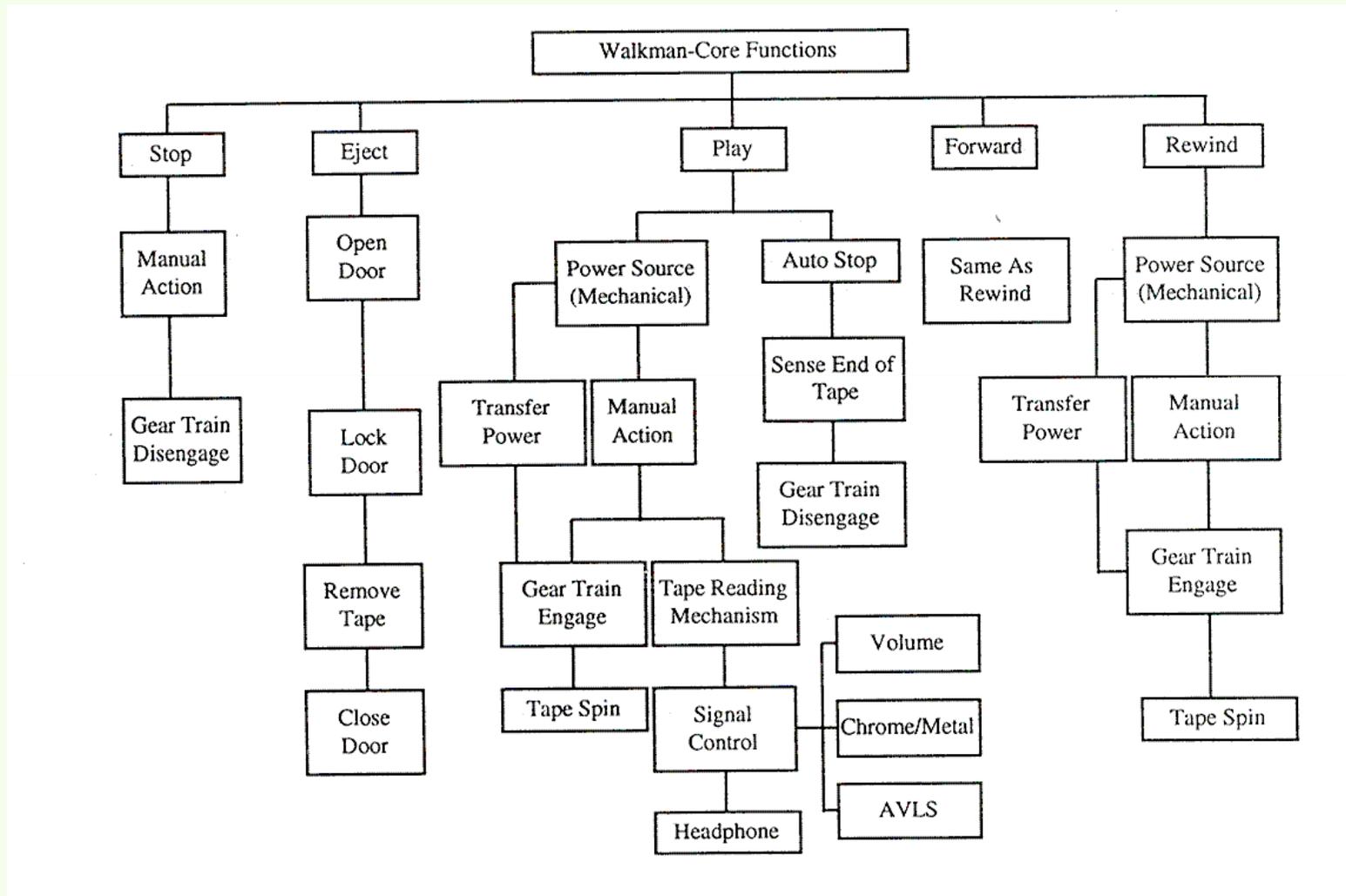
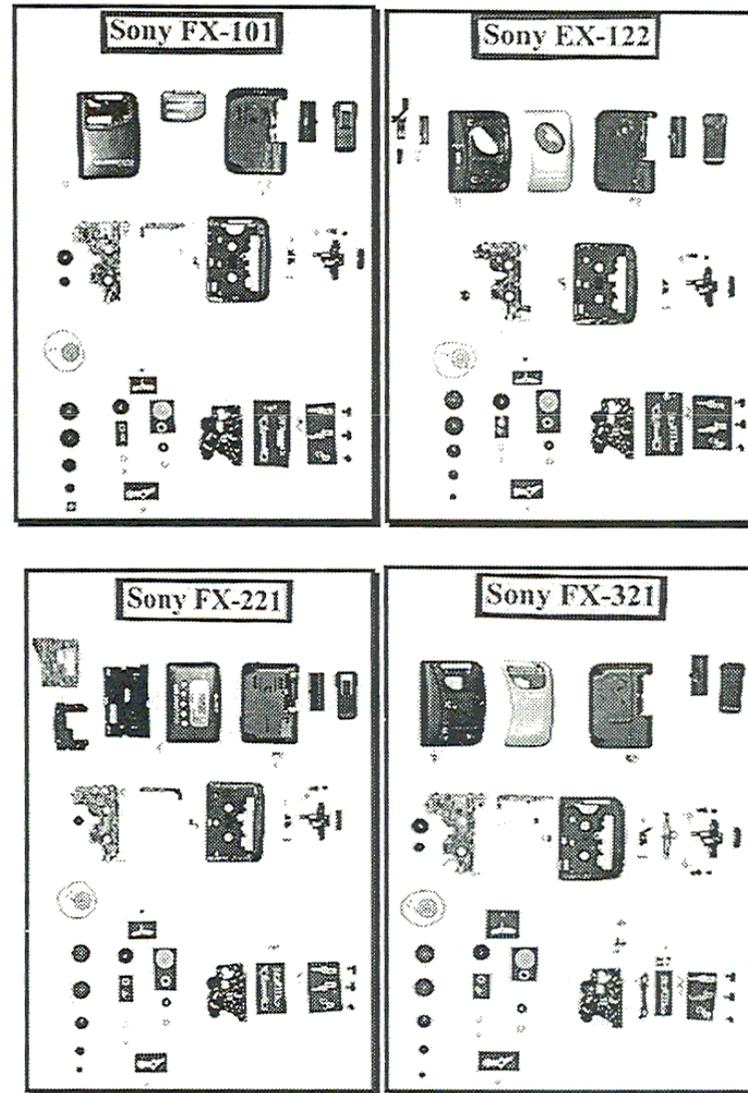


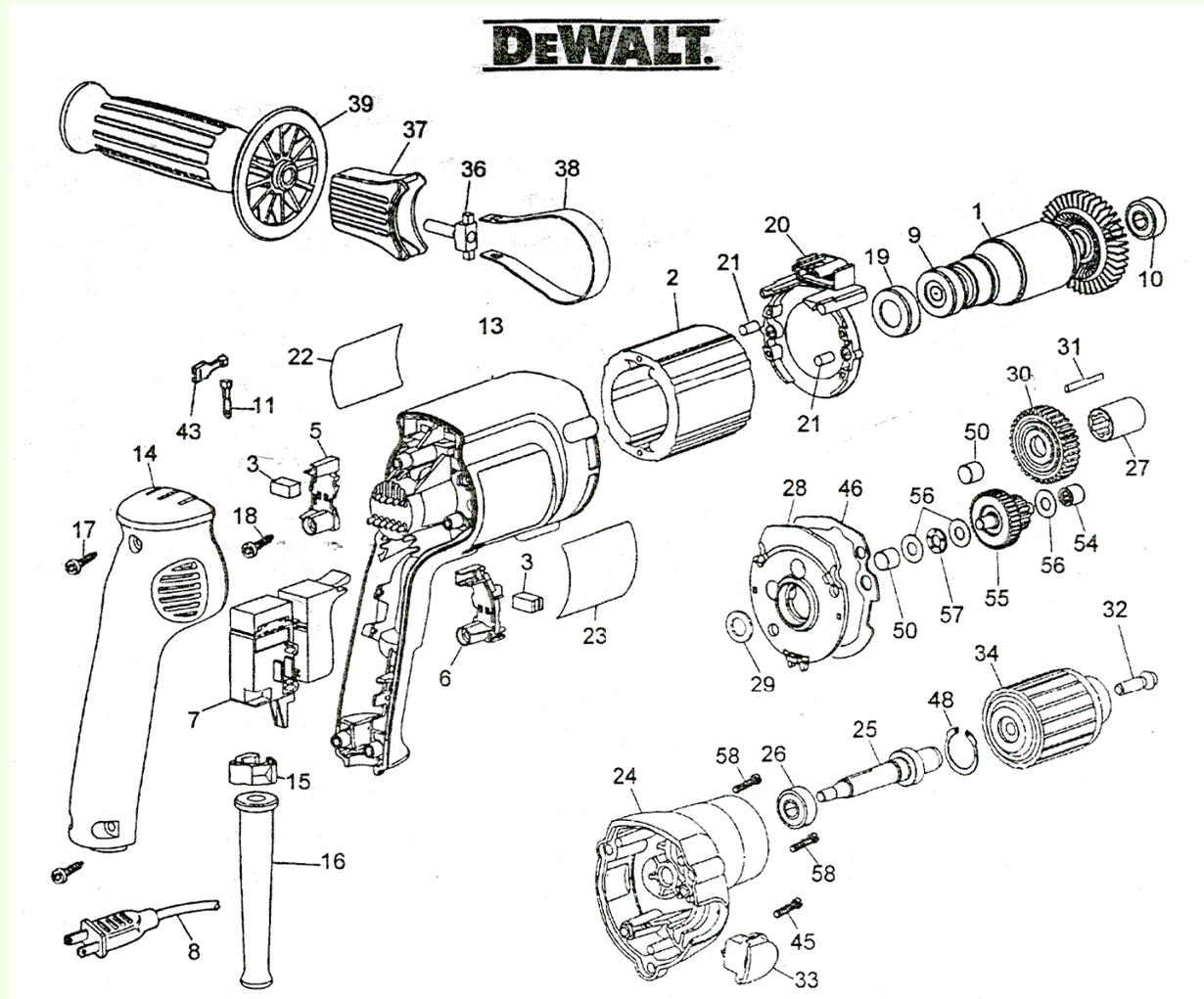
Diagrama funcional de funções “não-diferenciadoras” em um Walkman.

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



*4 de muitos
membros da família
de produtos
Walkman da Sony*

CONTROLE DE VARIANTES DE PROJETO DE PRODUTOS



PROTOTIPAGEM

- Protótipo → fase de avaliação → modelo original de um projeto, construído para avaliar-se as características operacionais antes da produção efetiva do produto.
- Estilo dos protótipos → prescrito pelos testes que são planejados. Exemplos:
 - pequenos modelos de carros novos (com comprimento de cerca de 300 mm) de metal inteiriço ou madeira → testes aerodinâmicos em túnel de vento;
 - modelos completos em tamanho 1:1 de novos motores e sujeita-os a testes operacionais.

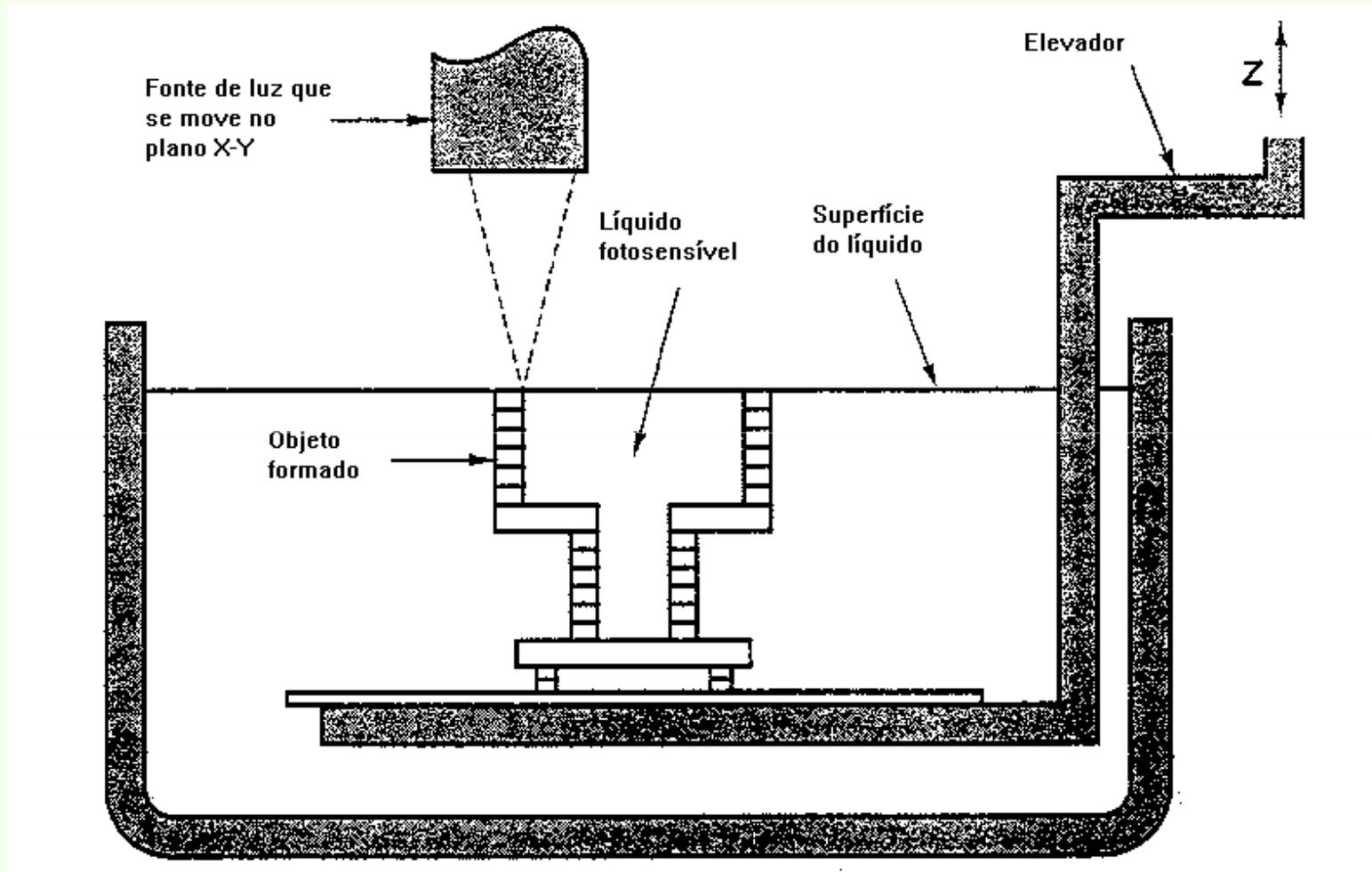
PROTOTIPAGEM

- Prototipagem → máquinas convencionais.
- Frequentemente → peças protótipo → usinadas de metais não-ferrosos ou plástico → peças de injeção de plástico mais complexas → prototipagem tornou-se mais difícil.
- Usinagem de formas complexas de peças injetadas em moldes é difícil, cara, e demorada.
- *Lead-time* ↓ → técnicas mais “rápidas” de prototipagem → tecnologias de *prototipagem “rápida”*.

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

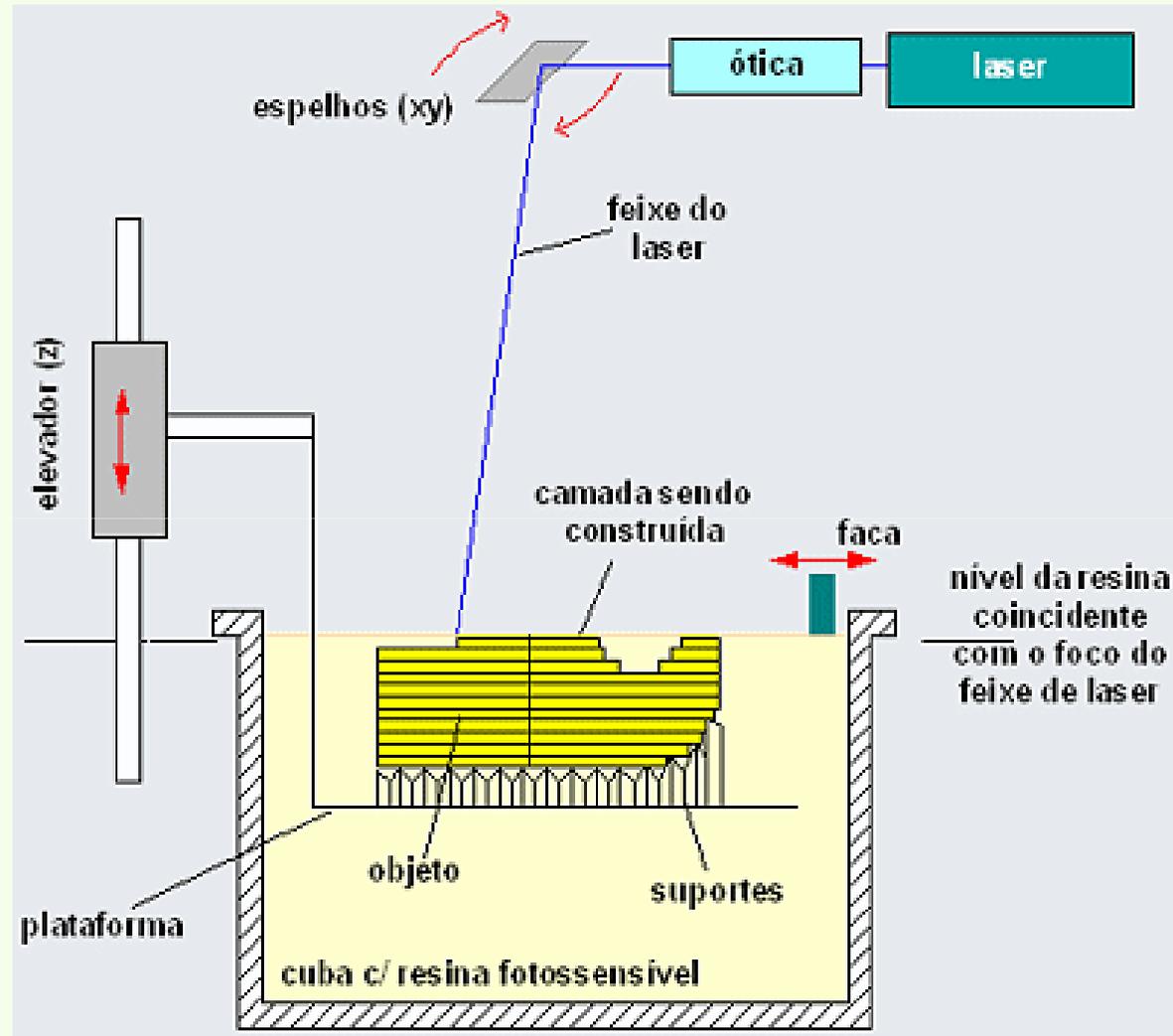
- ***Estereolitografia***
 - Tanque com polímero líquido fotosensitivo;
 - Mesa controlada verticalmente imersa no polímero;
 - Laser servo-controlado focado na superfície do polímero.
 - Computador → lê arquivo STL & corta a peça em seções transversais de cima abaixo.
 - Seções transversais de espessura entre 0,04mm e 0,13mm.
 - Média → camada de 25mm/hora (peça pequena).
 - Depois → peça deve ser limpa e curada num forno para atingir a resistência do material.

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



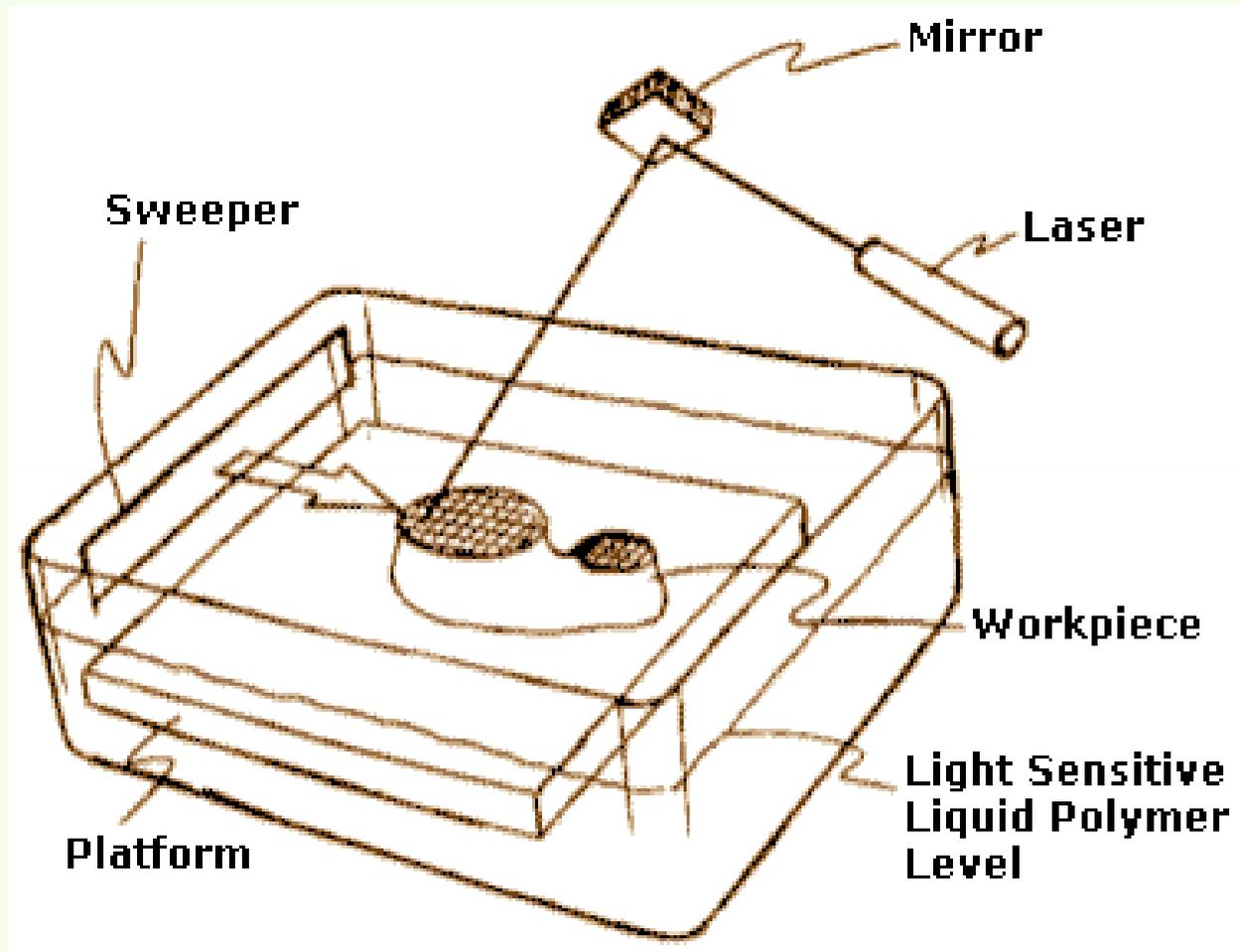
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



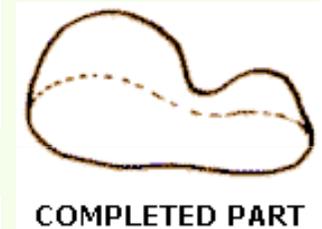
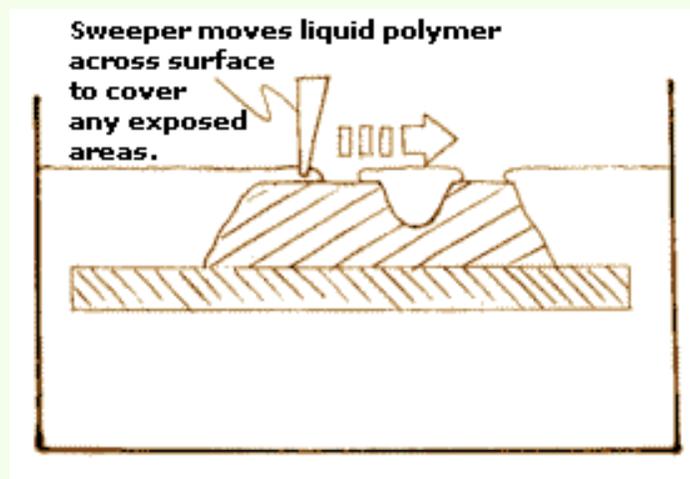
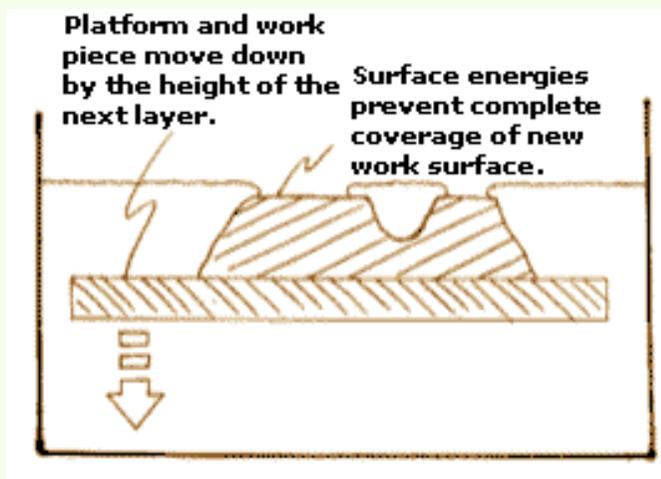
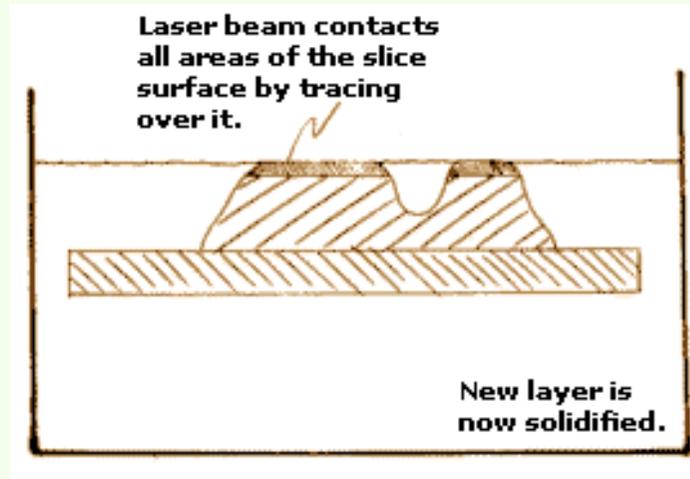
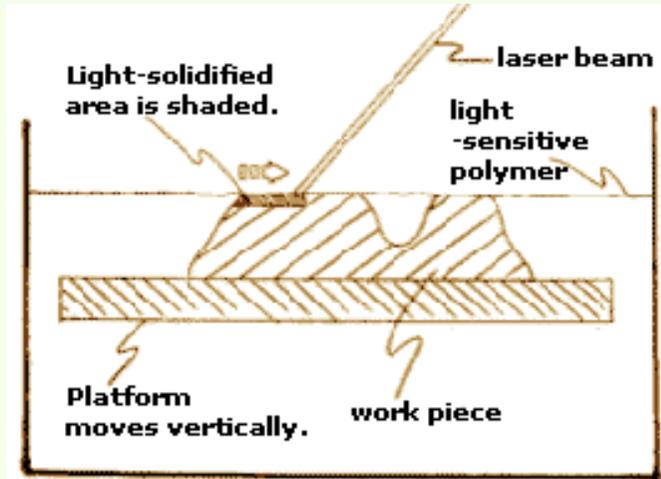
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



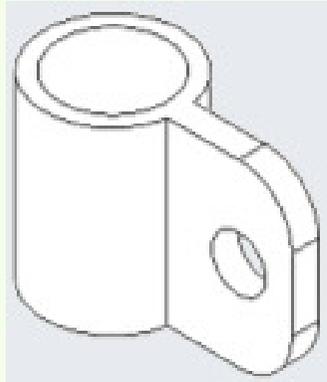
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

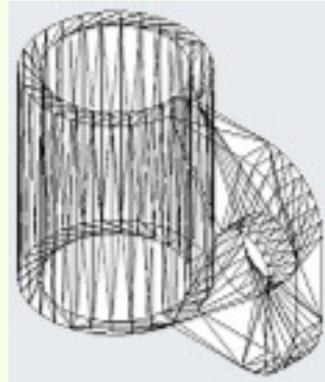


Sistema 3-D de estereolitografia

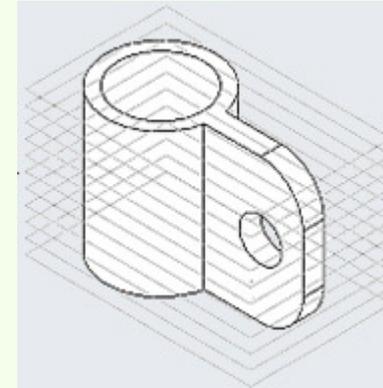
PROTOTIPAGEM RÁPIDA



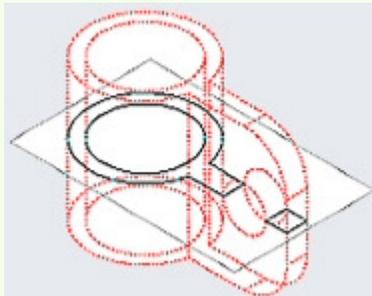
modelo CAD 3D



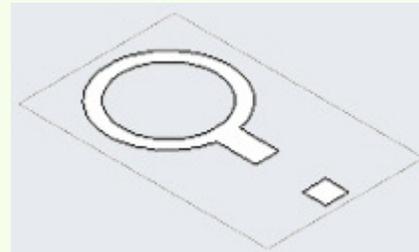
modelo STL



Planos de fatiamento

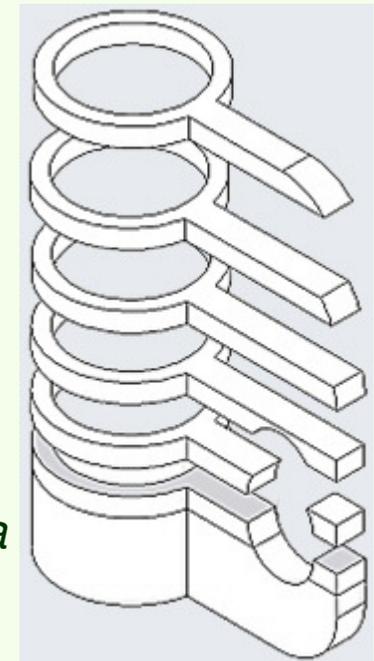


*Intersecção de um
pano de
fatiamento*

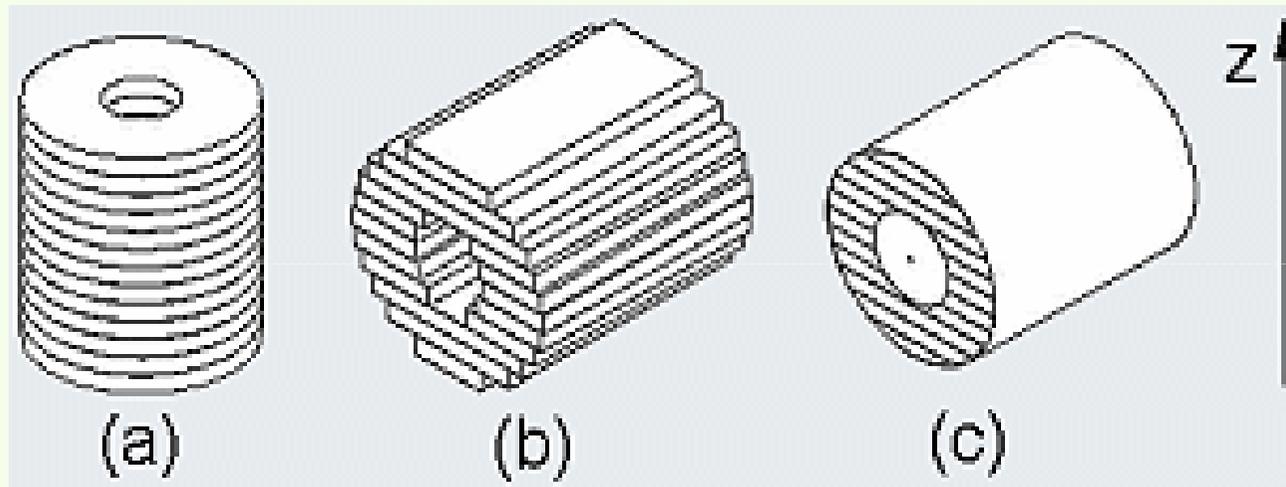


Fatia gerada

*Adição sucessiva
de camadas*

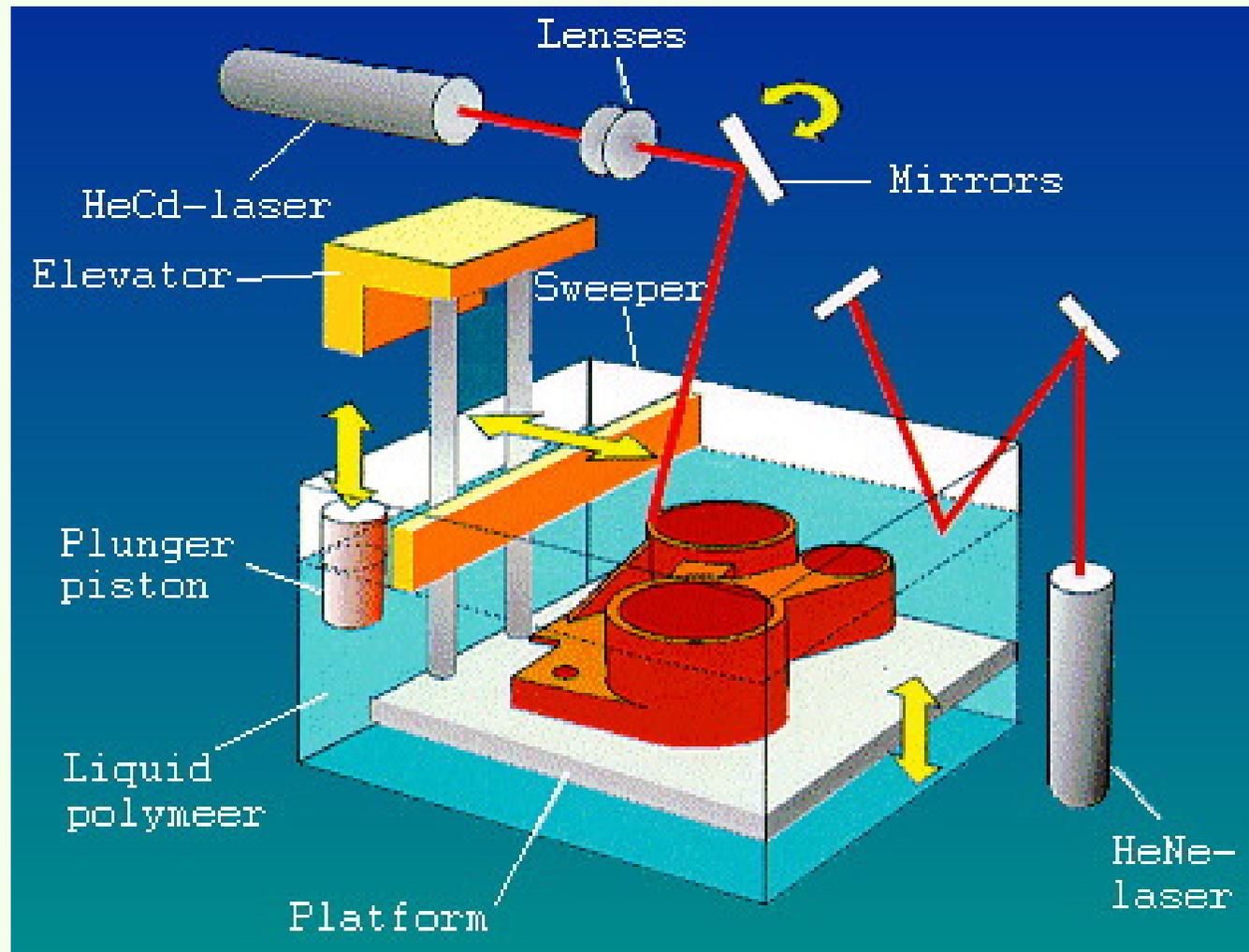


PROTOTIPAGEM RÁPIDA



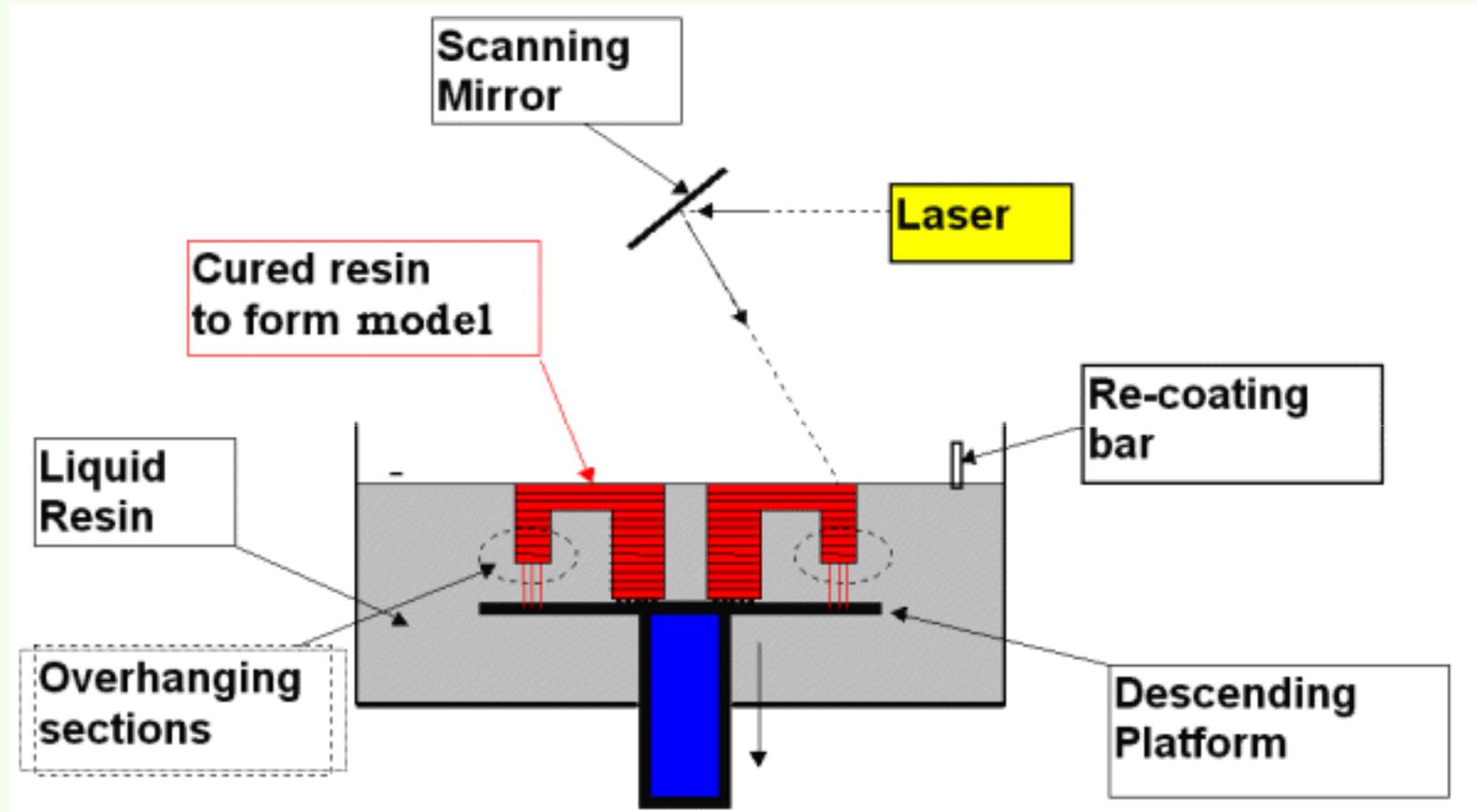
Exemplo hipotético, cada camada possui espessuras de, por exemplo, 0,15 mm

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



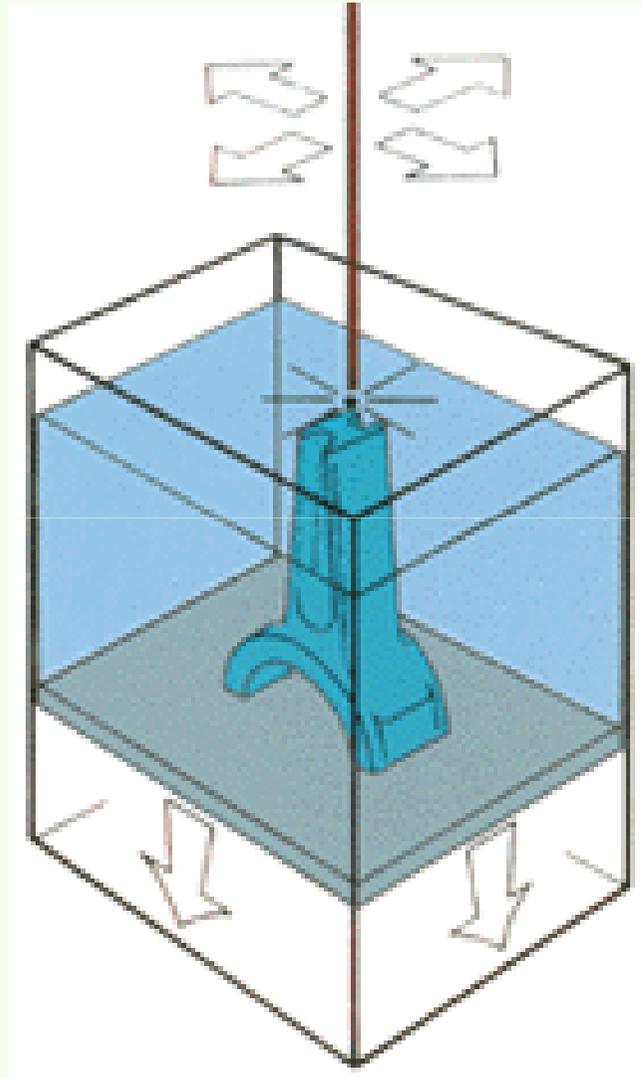
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



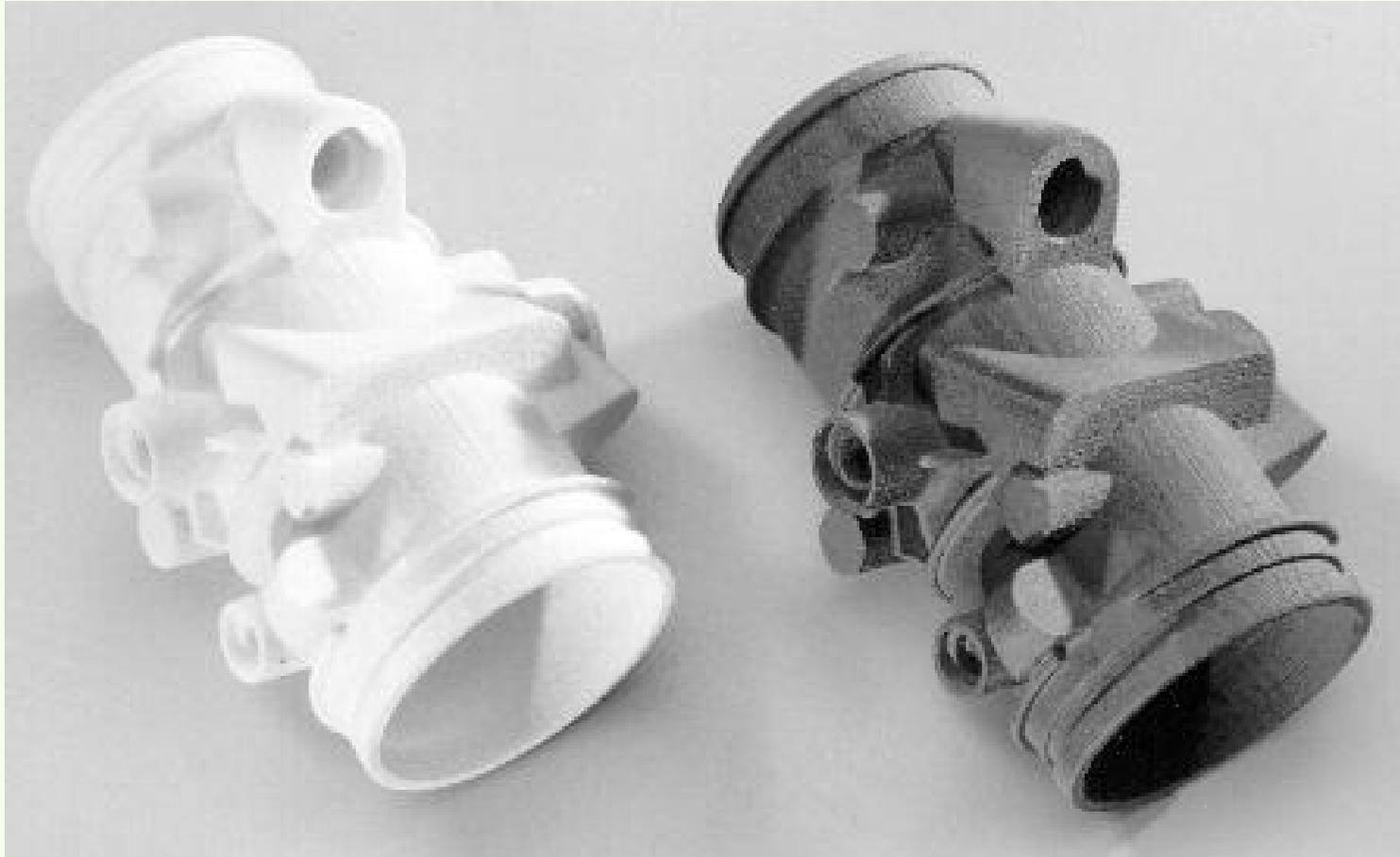
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



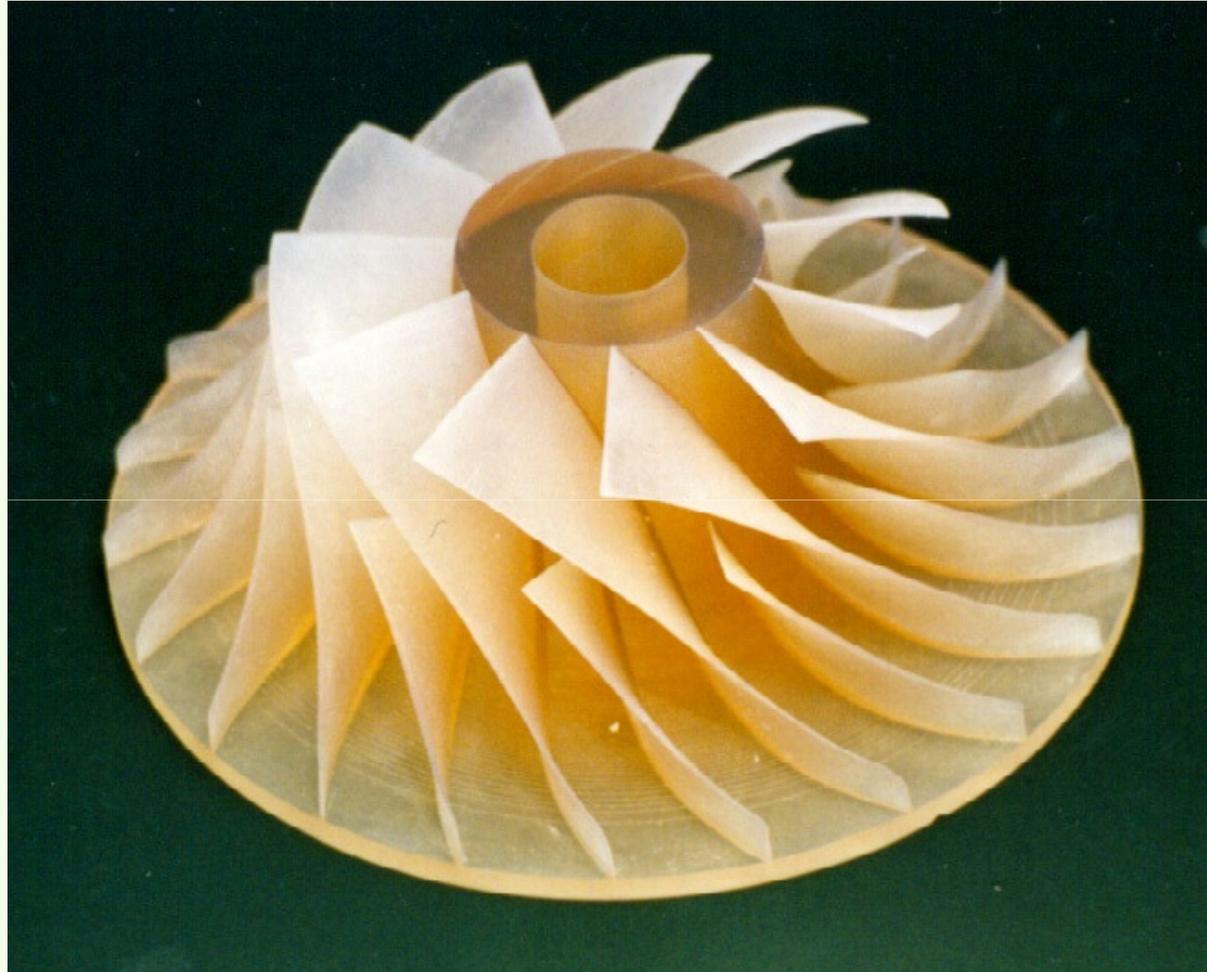
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Uma peça produzida por estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



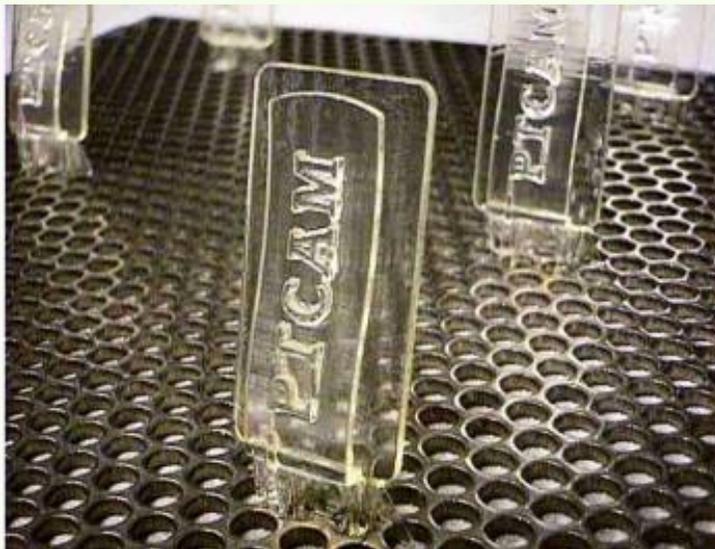
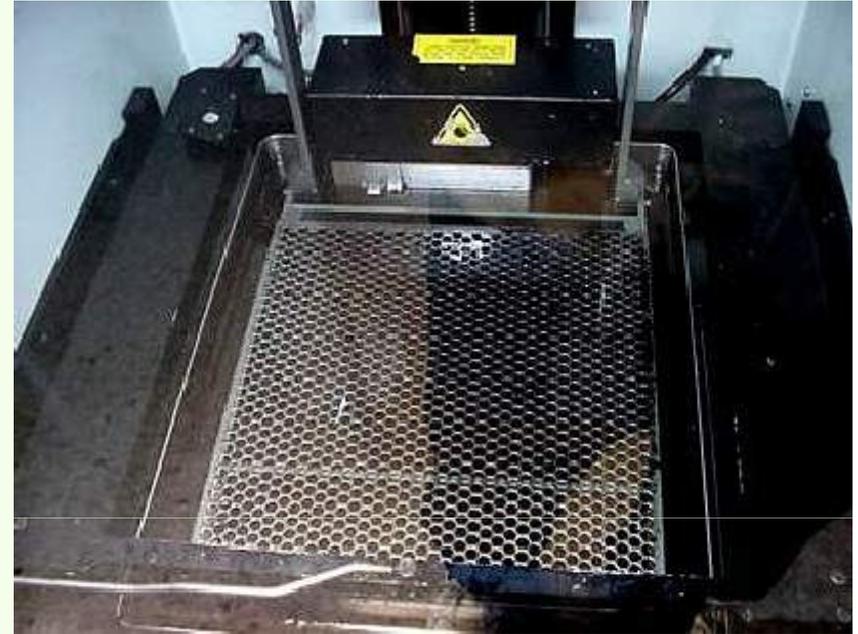
Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

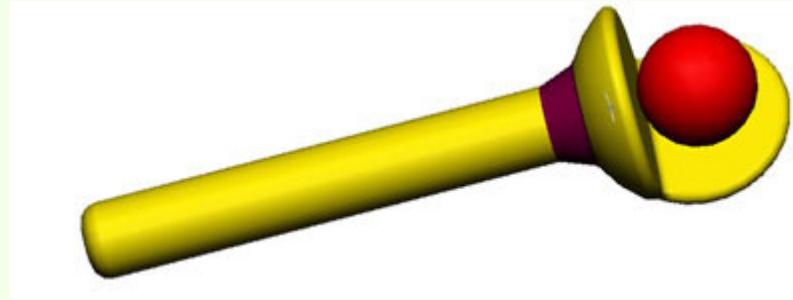


Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Sistema 3-D de estereolitografia

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Peça criada por estereolitografia

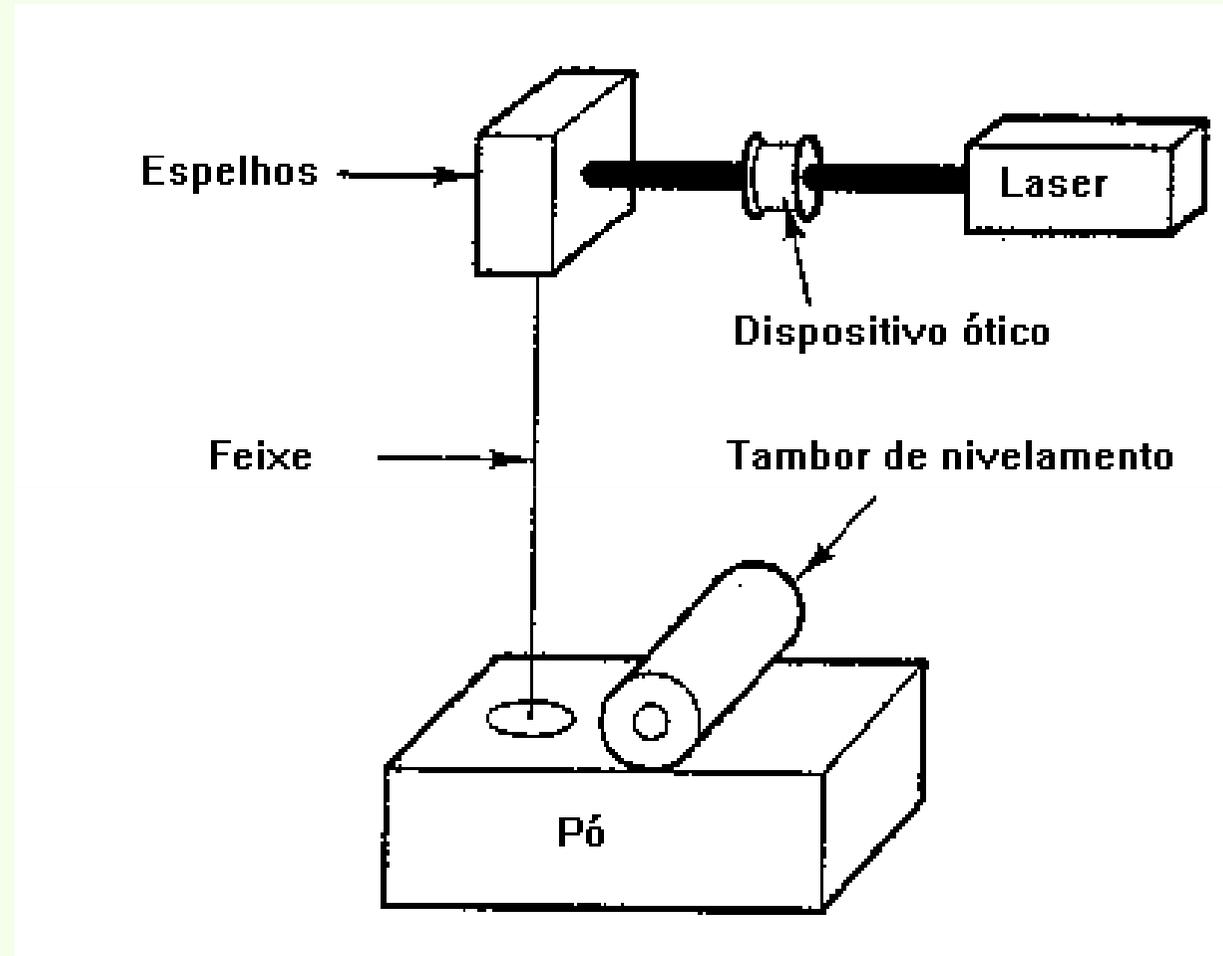
PROTOTIPAGEM RÁPIDA

- ***Filmes sobre estereolitografia***
 - Filme 1
 - Filme 2

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

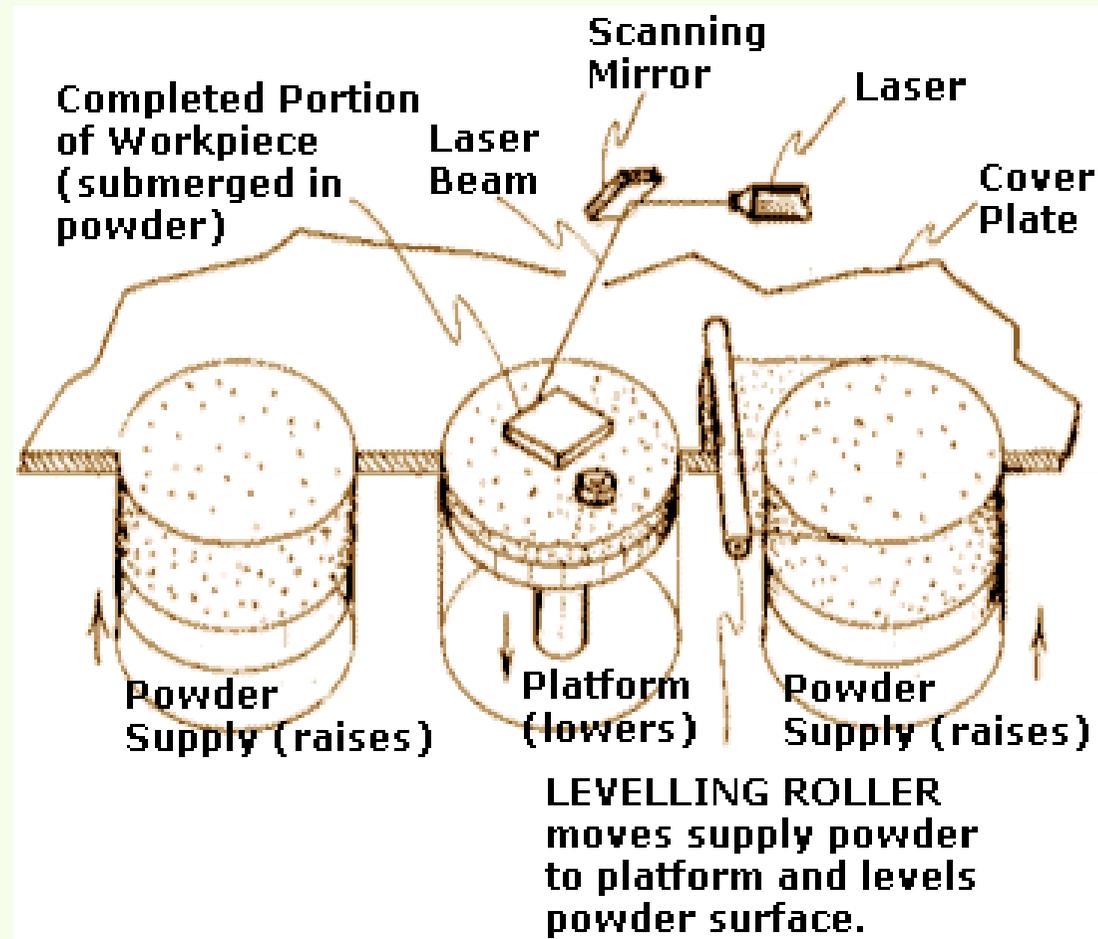
- ***Sinterização Seletiva a Laser (SLS)***
 - Laser de alta energia para fundir ou sinterizar pó num objeto sólido.
 - SLS rastreia a forma de cada seção transversal, fundindo a camada fina de pó.
 - Rolo mecânico espalha mais pó através do topo da camada acabada, e o laser rastreia a próxima seção transversal.
 - Materiais: cera, policarbonato, cloreto de vinil, aço inoxidável, titânio.
 - Vantagem → maior gama de materiais com melhores propriedades mecânicas do que os foto-polímeros e num custo menor.
 - SLS funciona melhor em algumas peças com formas internas complexas, porém não atinge tolerâncias tão apertadas como a estereolitografia.

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



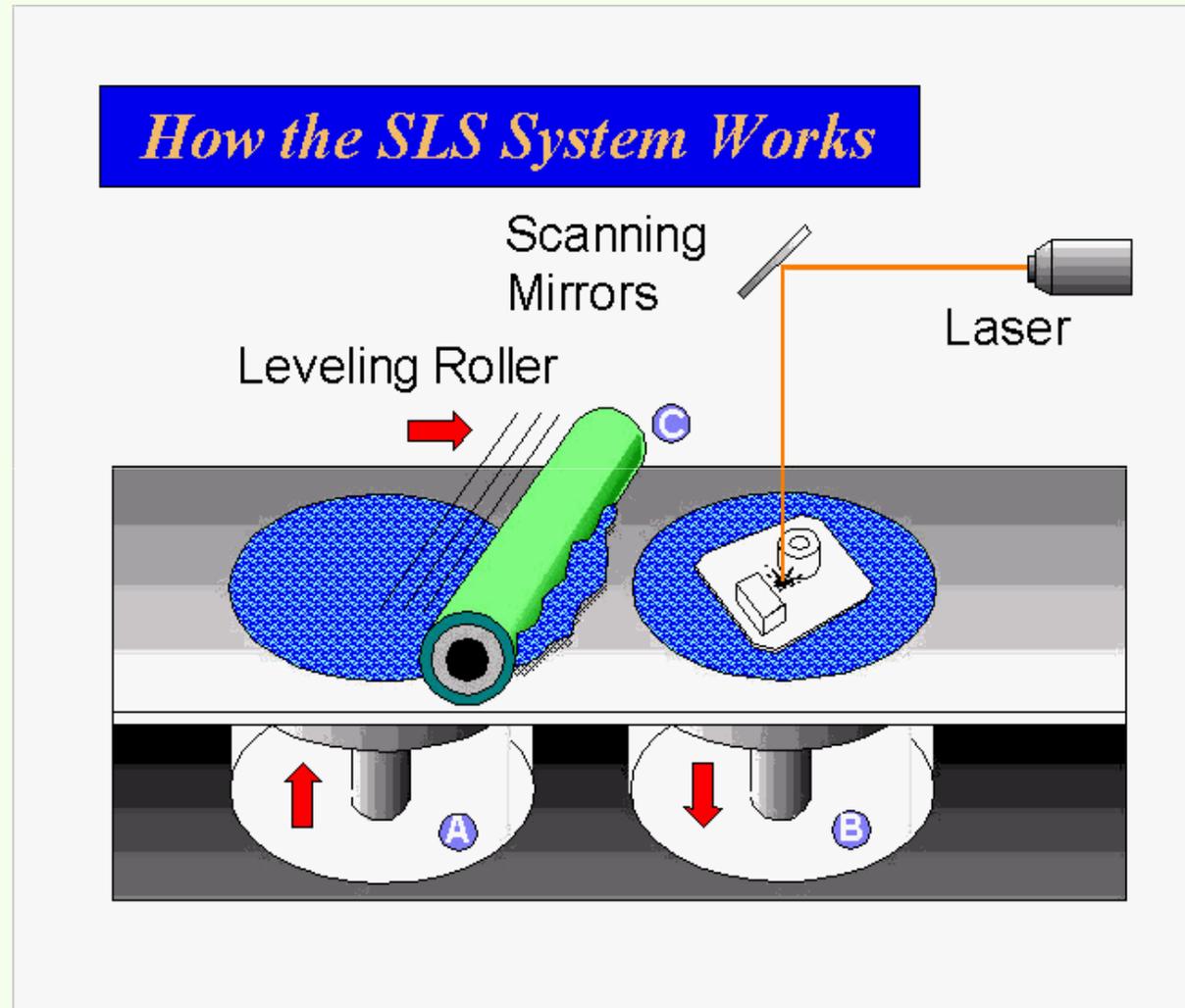
Sinterização seletiva a Laser

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



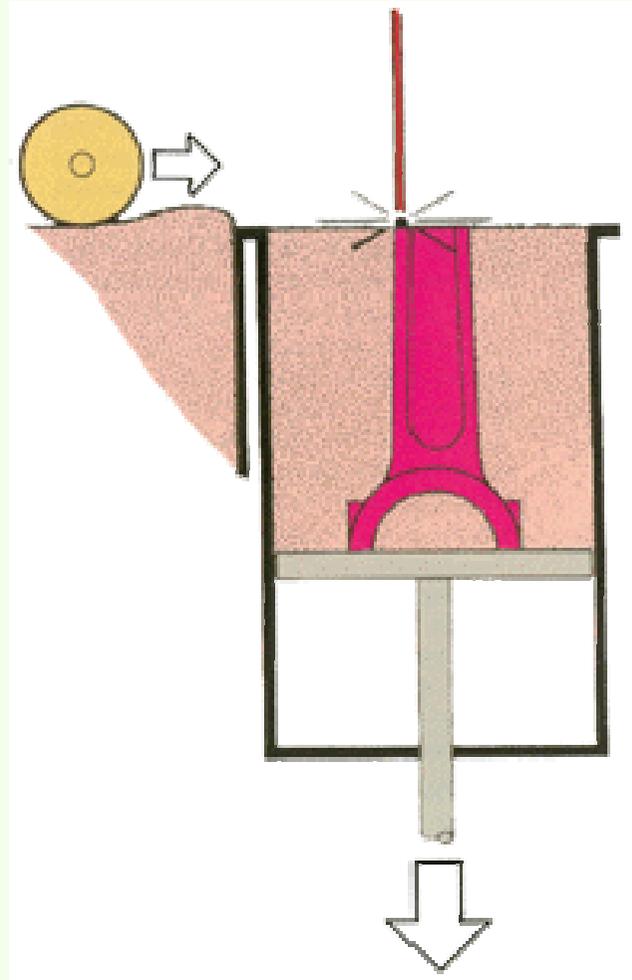
Sinterização seletiva a Laser

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



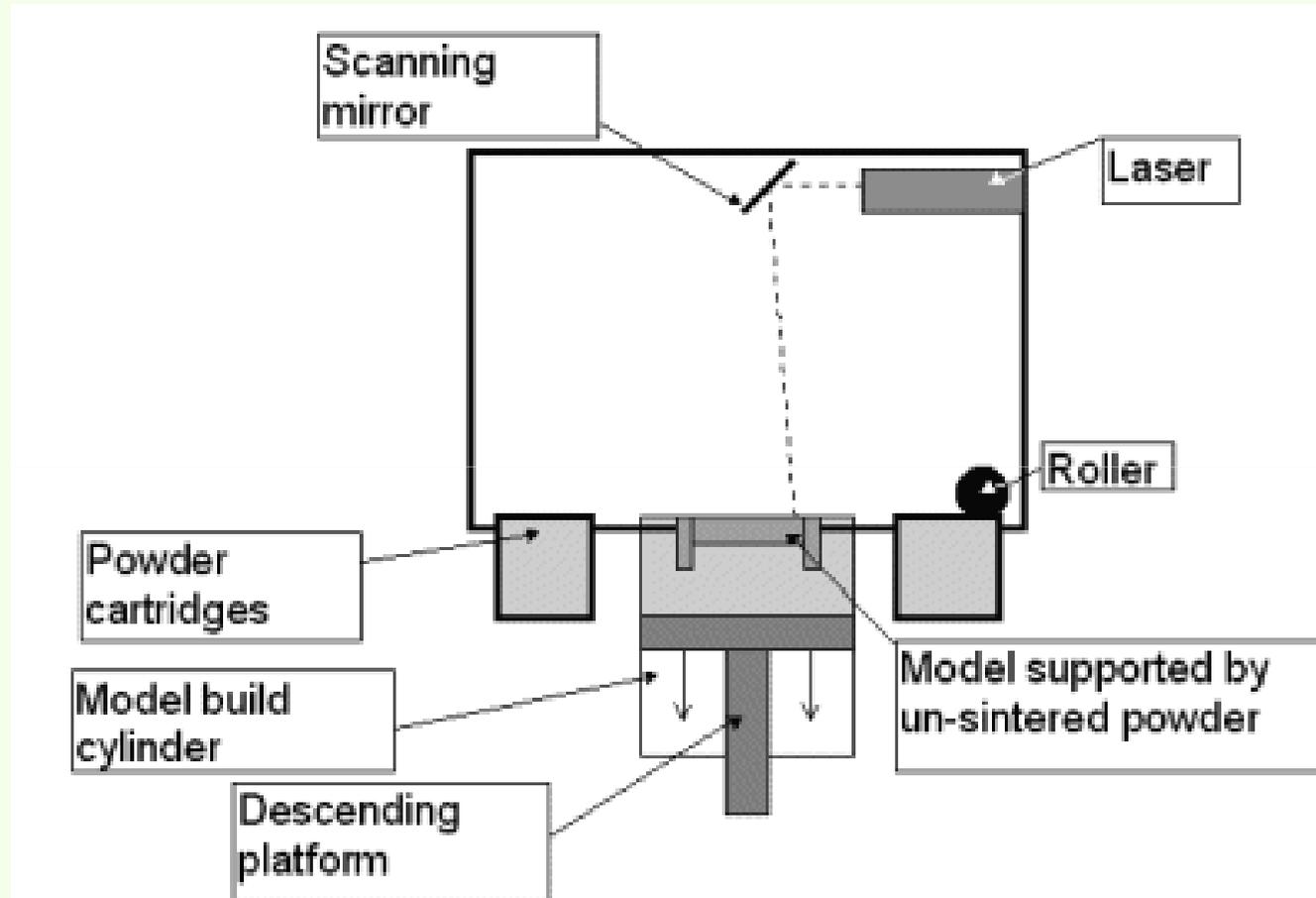
Sinterização seletiva a Laser

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Sinterização seletiva a Laser

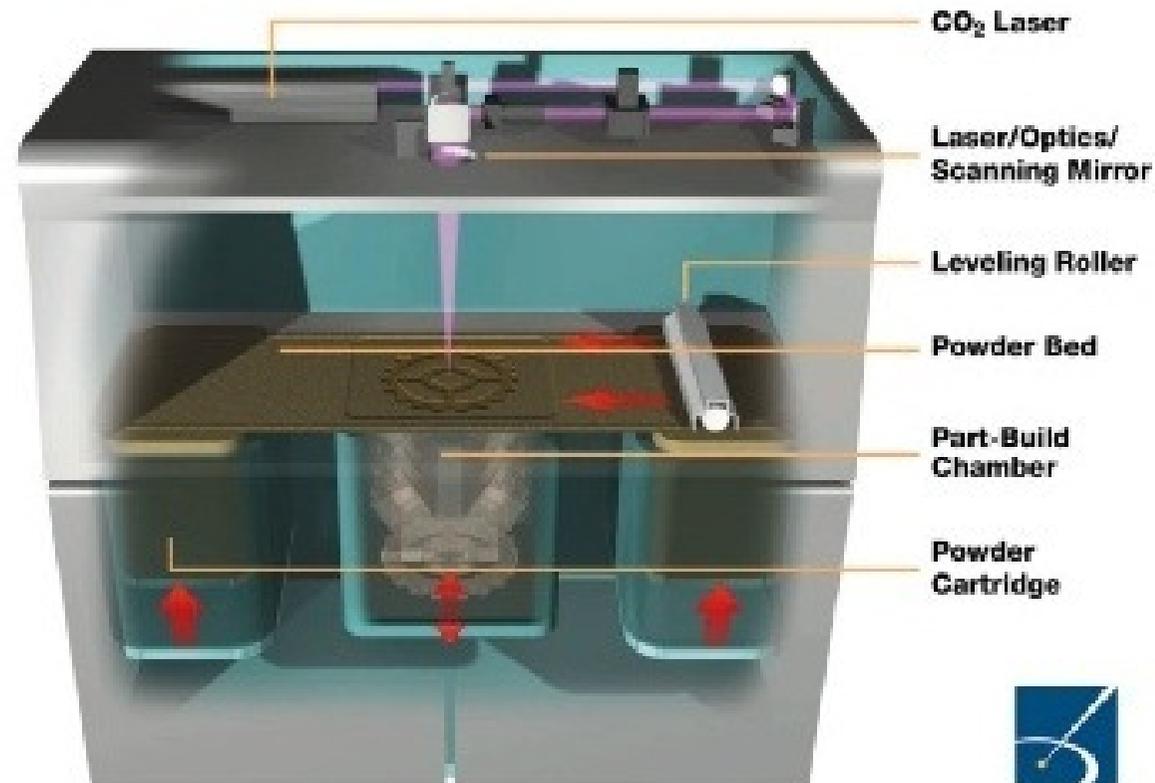
PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Sinterização seletiva a Laser

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

The Sinterstation® 2500 System Process Chamber



Sinterização seletiva a Laser

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Sinterização seletiva a Laser

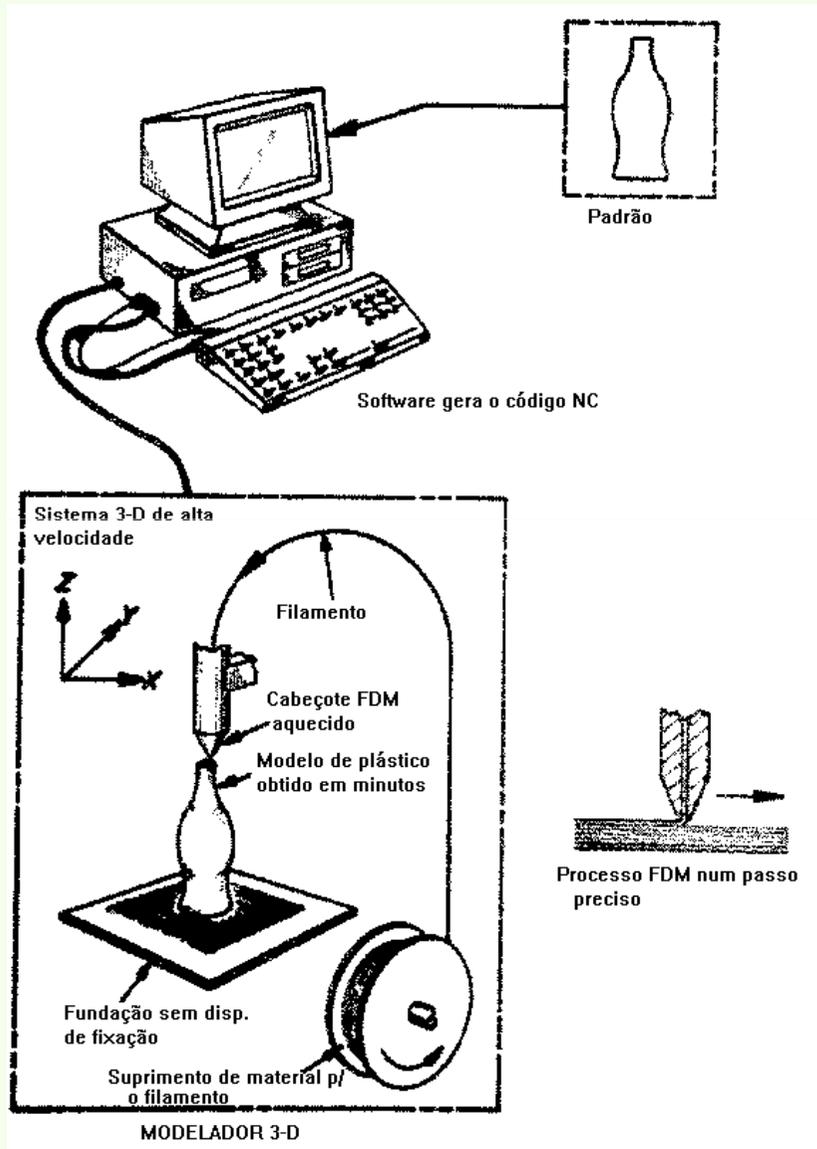
PROTOTIPAGEM RÁPIDA

- **Filmes sobre SLS**
 - [Filme 1](#)
 - [Filme 2](#)

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

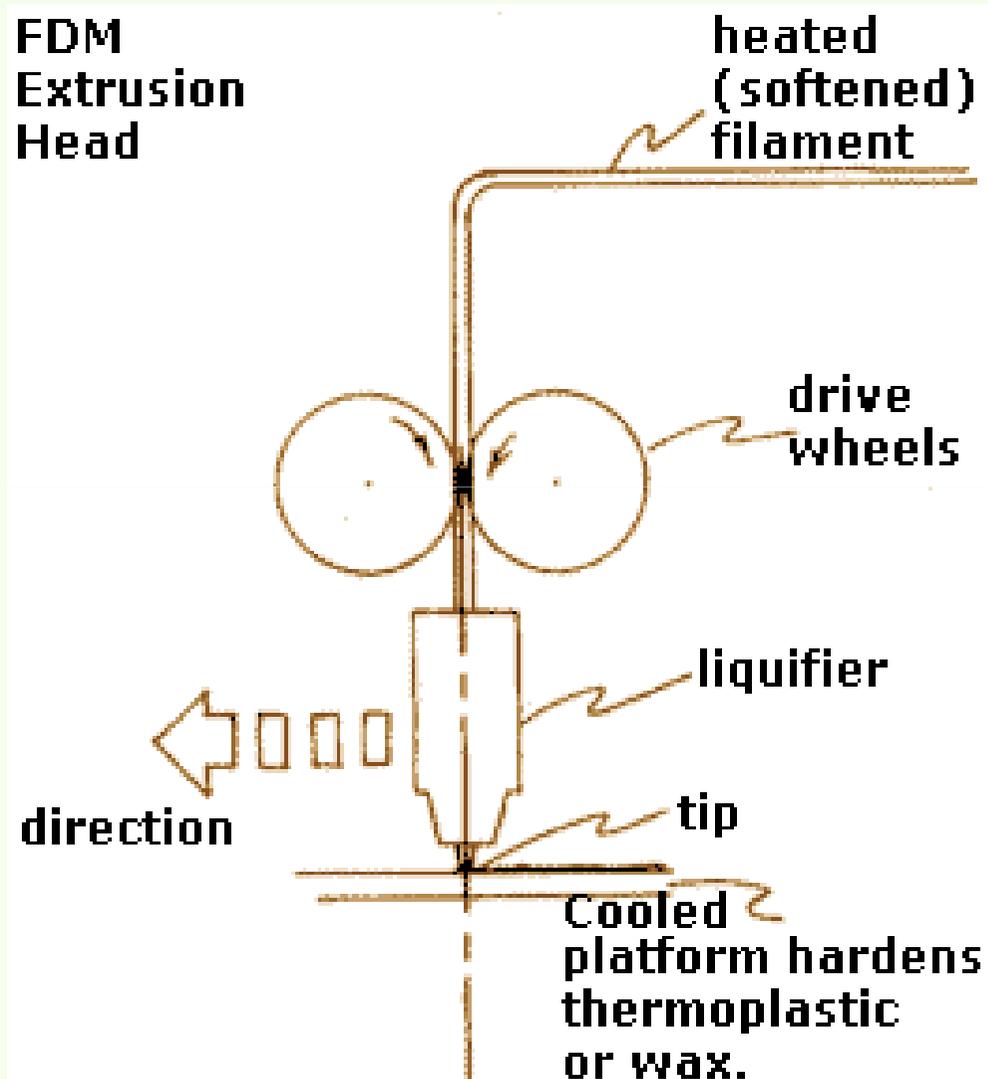
- ***Modelagem por Deposição por Fundição (FDM)***
 - Fabrica cada seção transversal movendo um fio fino de plástico ou cera acima da localização da peça, e aquecendo-o até o seu ponto de fusão.
 - Uma camada de cada vez.
 - Processo rápido & Materiais relativamente baratos.
 - Materiais: cera e os semelhantes ao nylon.

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



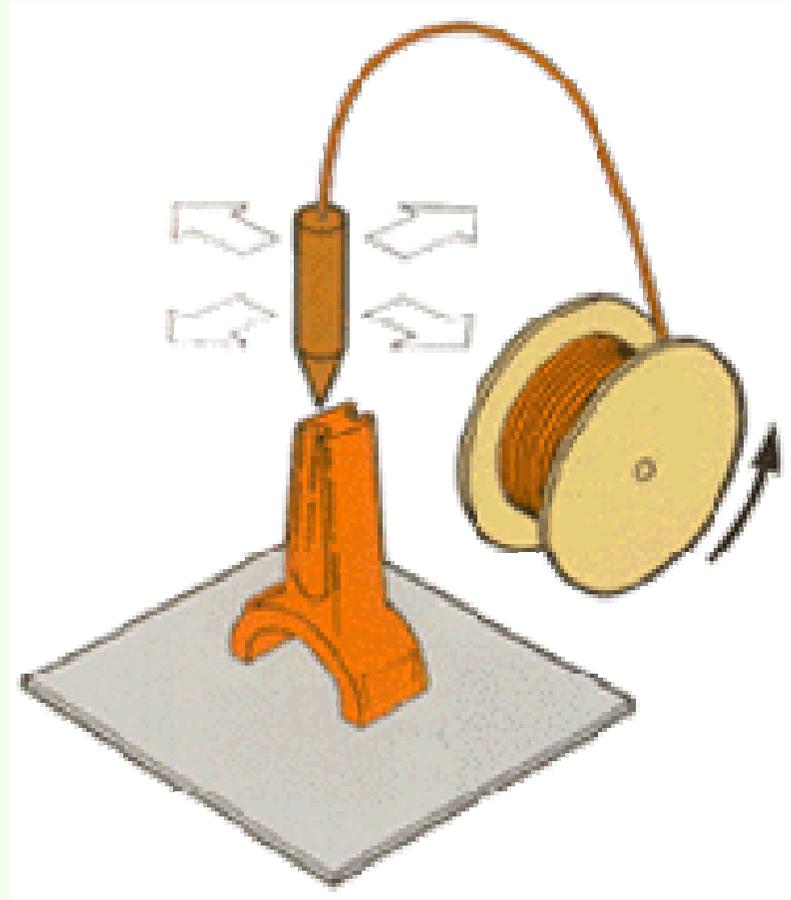
*Modelagem por
deposição por fundição*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



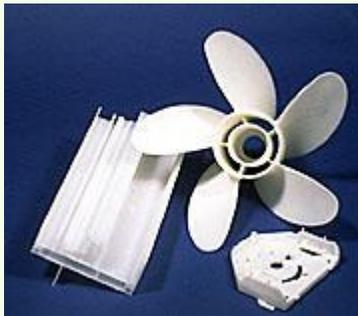
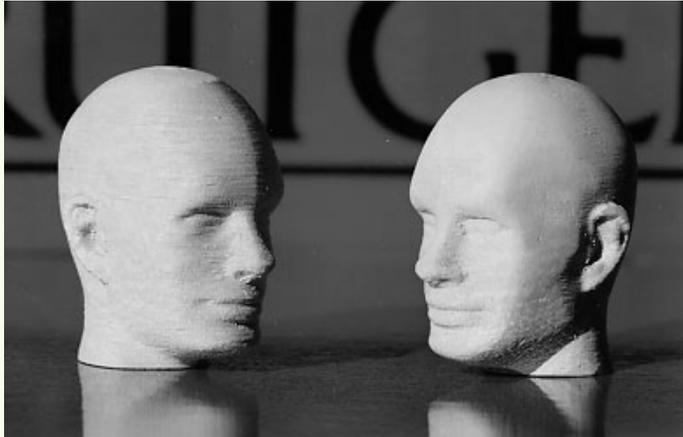
*Modelagem por
deposição por fundição*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



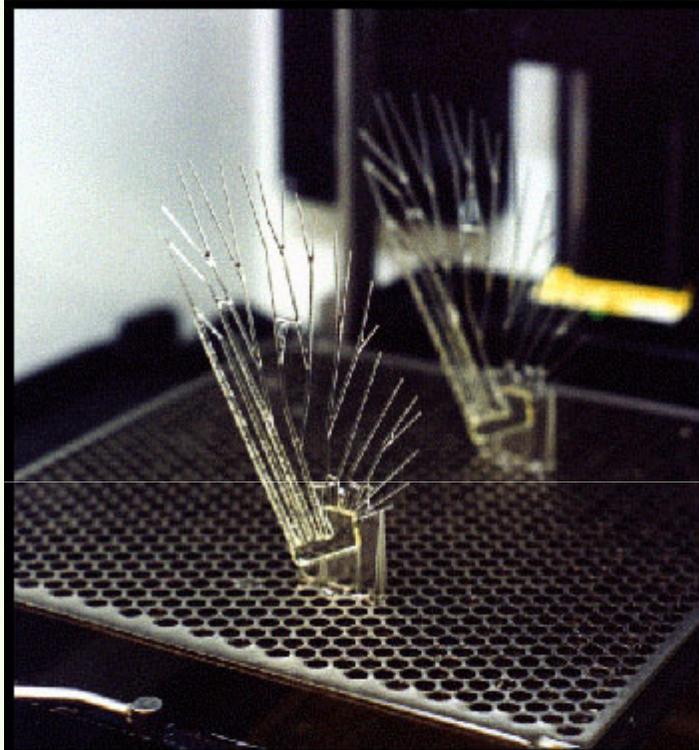
*Modelagem por
deposição por fundição*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

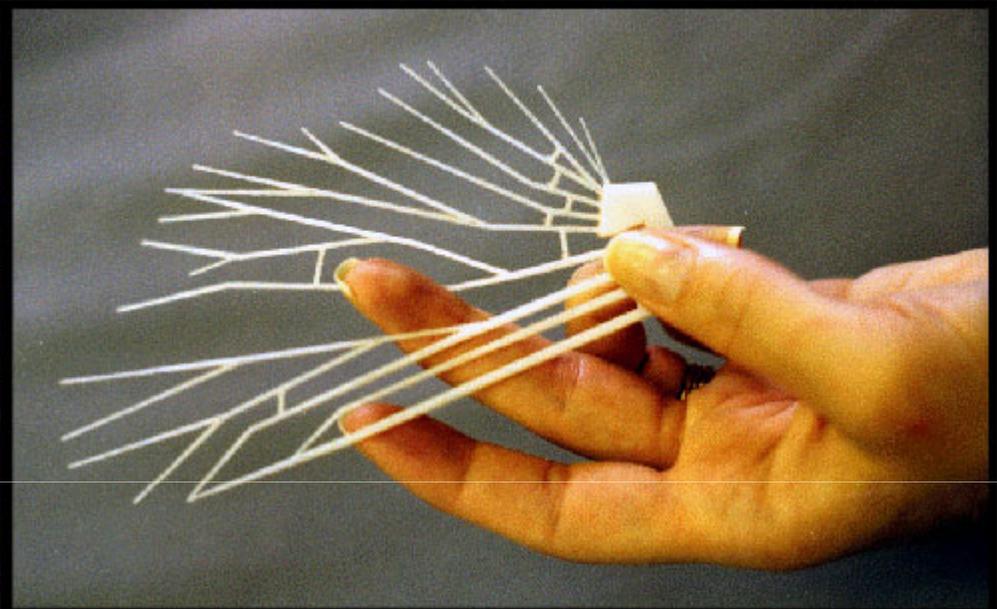


*Modelagem por
deposição por fundição*

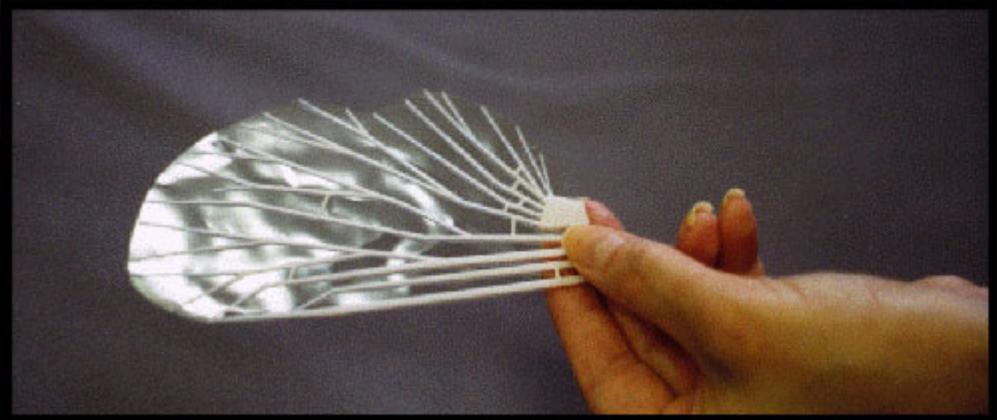
PROTOTIPAGEM RÁPIDA



Stereolithographic Wings (above)



ABS Fused Deposition Modeled Wings (right)



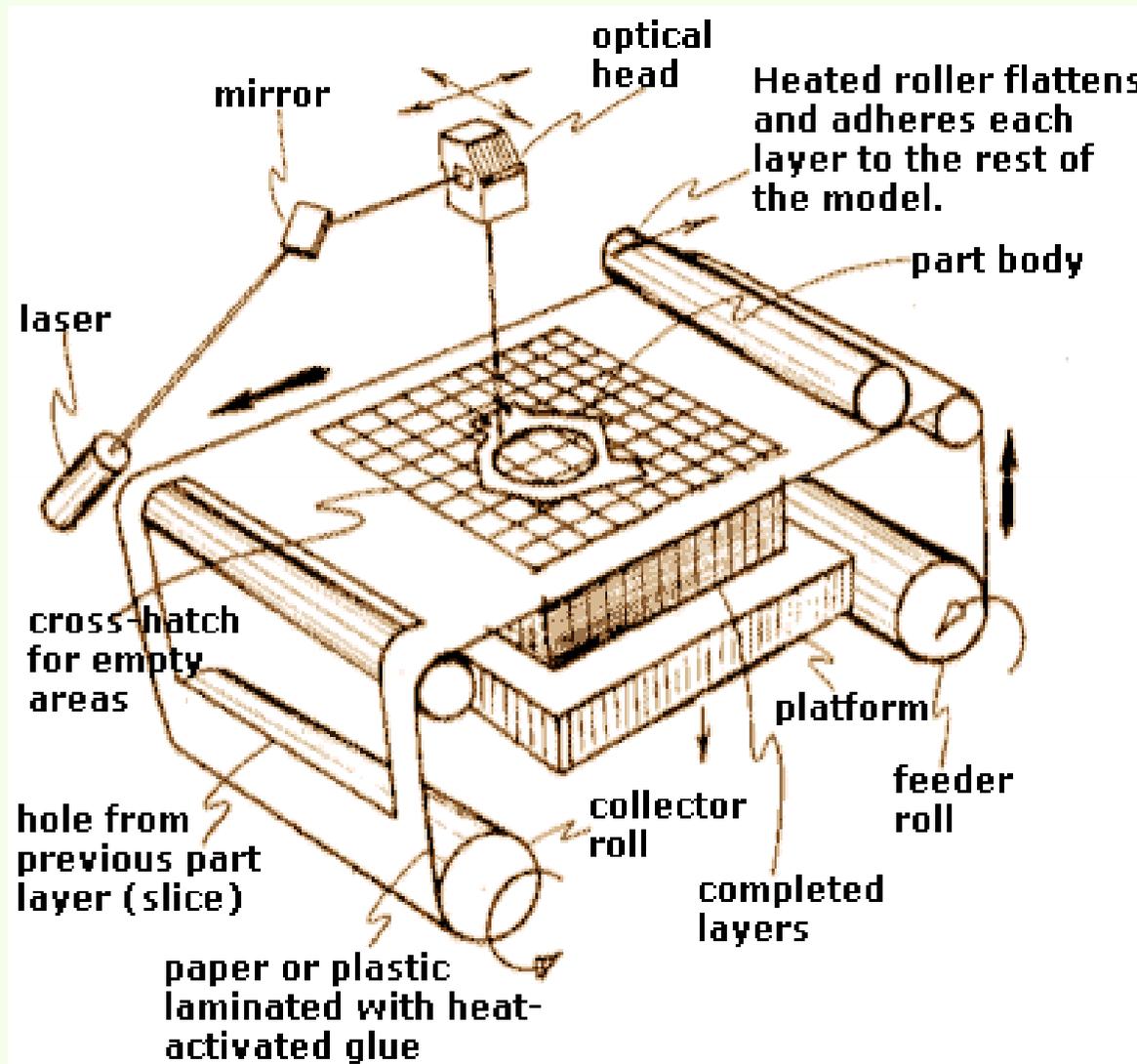
PROTOTIPAGEM RÁPIDA

- **Filmes sobre FDM**
 - [Filme 1](#)
 - [Filme 2](#)
 - [Filme 3](#)

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

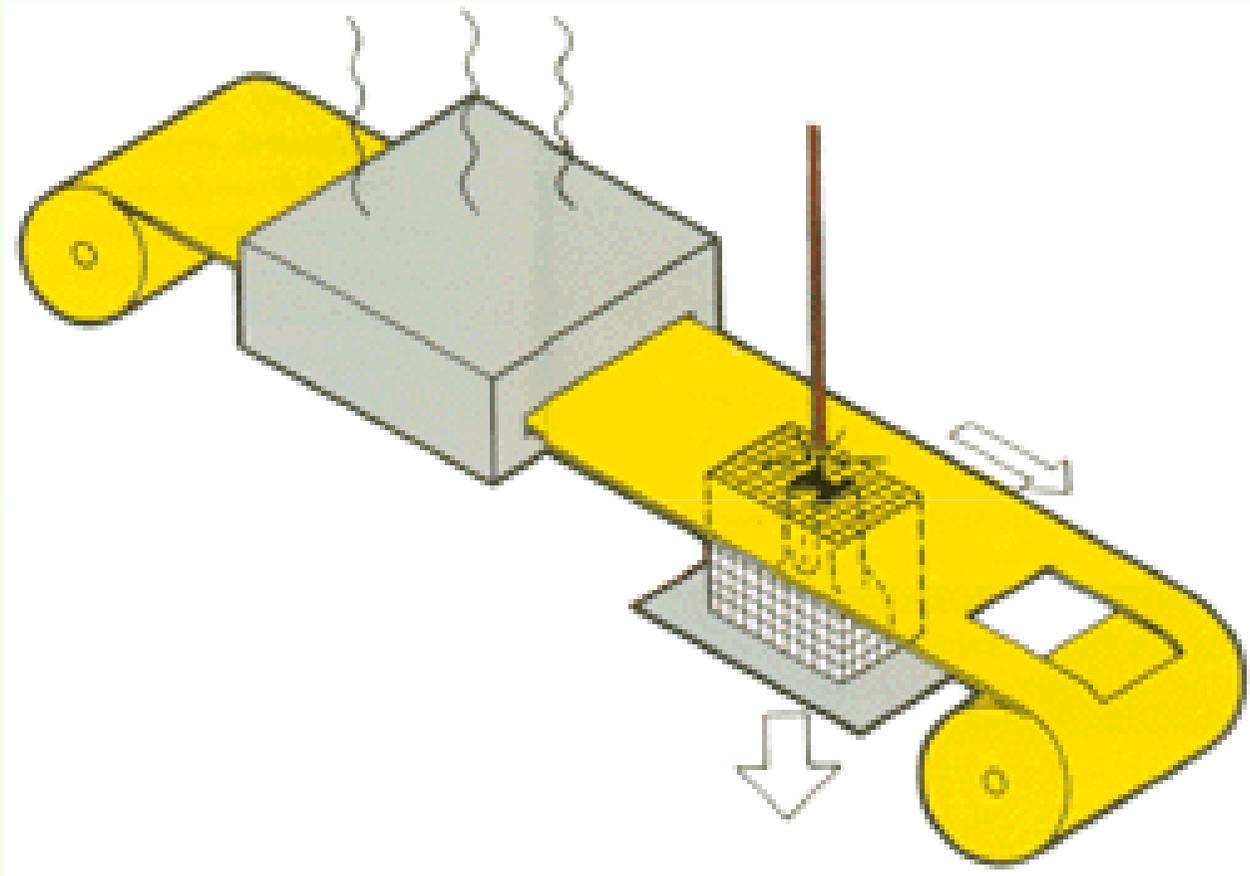
- ***Manufatura de Objetos Laminados (LOM)***
 - Peças fabricadas a partir de seções que são cortadas de folhas de matéria-prima.
 - Material → papel, plástico ou poliéster.
 - Cada folha é colada com adesivo à peça já construída, e então aparado com laser.
 - LOM é 5 a 10 vezes mais rápido do que outros processos de prototipagem rápida porque o feixe de laser rastreia somente o perfil da cada camada, e não a área toda.
 - Produção de peças muito grandes é possível com uma precisão de $\pm 0,03\text{mm}$.

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



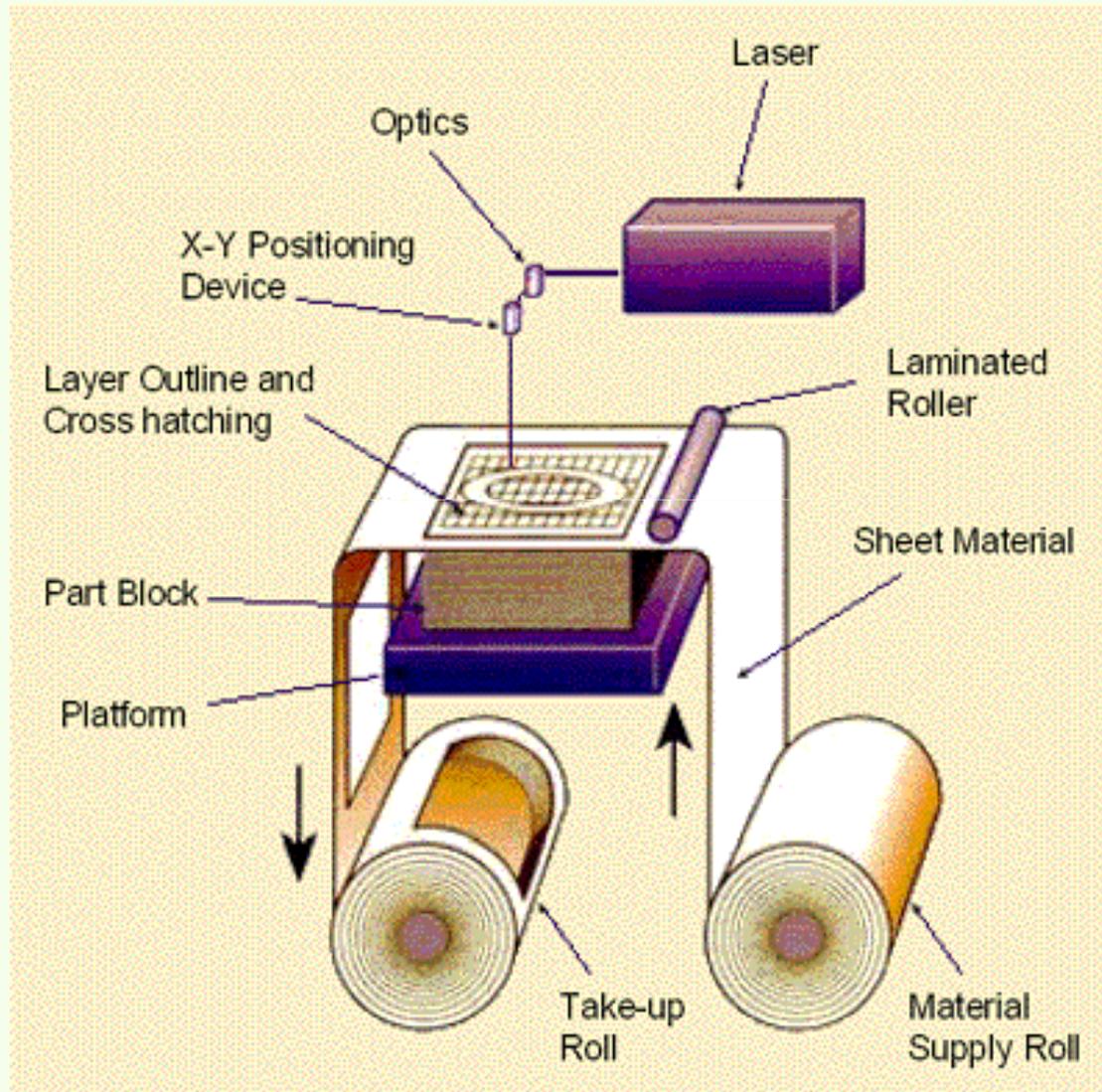
*Manufatura
por objetos
laminados -
LOM*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



*Manufatura
por objetos
laminados -
LOM*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



*Manufatura
por objetos
laminados -
LOM*

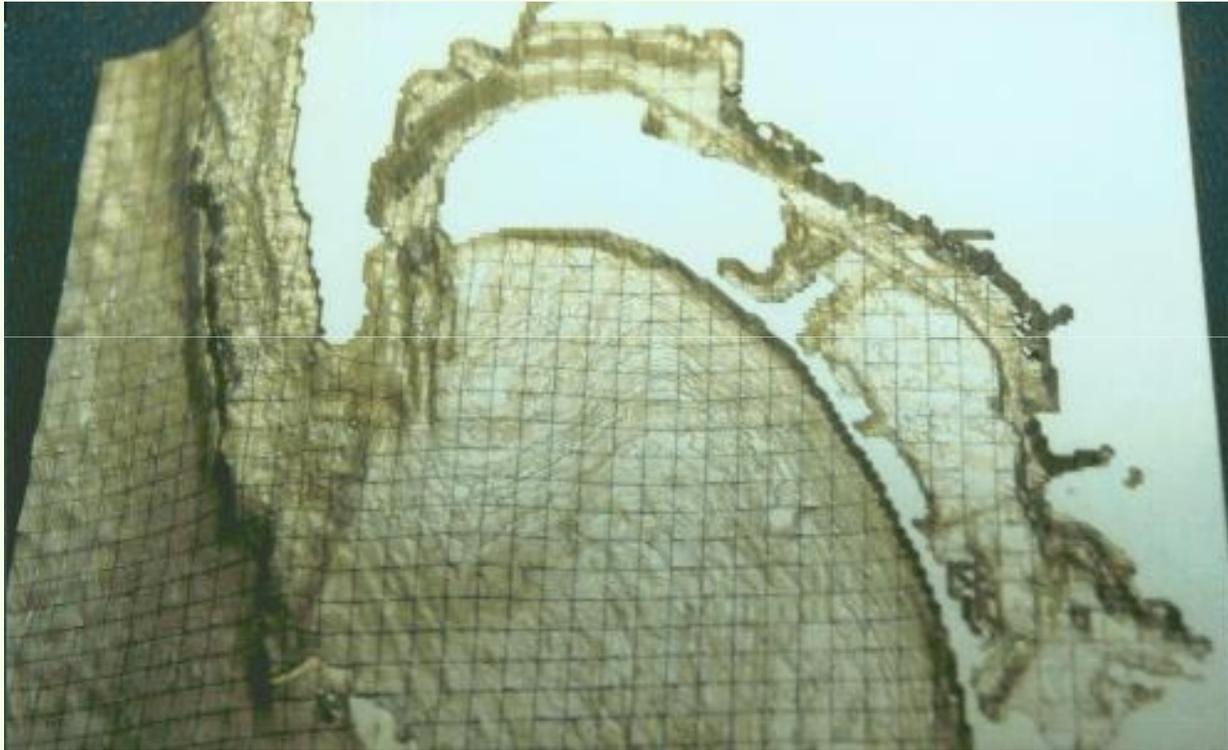
PROTOTIPAGEM RÁPIDA



*Manufatura
por objetos
laminados -
LOM*



PROTOTIPAGEM RÁPIDA



*Manufatura
por objetos
laminados –
LOM*

-

*Aplicação
para
estudos
ecológicos
da baía de
San Diego
(EUA)*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



*Manufatura por
objetos laminados
– LOM aplicado à
cartografia*

-

*Mapa dos EUA -
24" leste-a-oeste,
18" norte-a-sul,
varia 2.75" em
elevação (está na
U.S. Library of
Congress)*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA



*Manufatura por
objetos laminados
– LOM*

PROTOTIPAGEM RÁPIDA

- *Filme sobre LOM*
 - [Filme 1](#)