

# Métodos para Projeto, Planejamento do Processo e Fabricação de Peças Assistidos por Computador

Disciplina de Estudo Dirigido

Aluno: Alberto José Álvares

Orientador: Prof. João C. E. Ferreira

Programa de Doutorado da UFSC

Dezembro de 2001

# OBJETIVOS

Tem por objetivo dar subsídios ao desenvolvimento da tese de doutorado do aluno Alberto José Álvares nos aspectos referentes ao Planejamento de Processo Auxiliado por Computador (CAPP).

O tema de tese está associado ao desenvolvimento de "*Uma Metodologia de CAD/CAPP/CAM Voltada para a Fabricação de Peças de Revolução a Distância através da Internet*", bem como a sua implementação computacional.

# Programa da Disciplina

- Projeto de peças assistido por computador (CAD).
- Features em componentes mecânicos: rotacionais ou prismáticos.
- Features de projeto e manufatura.
- Padronização de features.
- Formato padrão STEP.
- Representação de peças no computador através de features.
- Utilização de features na indústria.
- Planejamento do processo assistido por computador (CAPP). Definição e objetivos. Abordagens Variante e Generativa.
- Informações necessárias para o planejamento do processo: operações, máquinas, ferramentas, dispositivos de fixação.
- Planejamento do processo contendo alternativas. Comparação com o plano de processos fixo.
- Representação de planos de processo no computador: redes de Petri, grafos E/OU, matrizes.
- Tomada de decisões no CAPP: sistemas especialistas, redes neurais, algoritmos genéticos, lógica difusa.
- Gerenciamento de banco de dados para o CAPP. Utilização do banco de dados relacional no CAPP.
- Geração do programa de comando numérico (código "G") para a usinagem de uma peça (CAM).
- Implantação de uma infra-estrutura computacional para desenvolvimento de atividades de CAD/CAPP/CAM.

# Bibliografia Consultada

- Ferreira, J.C.E., "Planejamento do Processo Assistido por Computador - CAPP", Apostila, Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Mecânica, Florianópolis, 1996.
- Wang, H.P. e Li, J.K., Computer-Aided Process Planning, Advances in Industrial Engineering, Vol. 13, Elsevier, 1991.
- Chang, T.C., Wysk R.A. e Wang, H.P., "Computer Aided Manufacturing", Prentice Hall International Series in Industrial and Systems Engineering, W.J. Fabrycky e J.H. Mize (eds.), 2ns Edition, 1998.
- Halevi, G. e Weill, R.D., "Principles of Process Planning: A Logical Approach", Chapman & Hall, 1995.
- Halevi, G., "Restructuring the Manufacturing Process: Applying the Matrix Method", St. Lucie Press, 1999.
- ISO TC184/WG3 N324 -T7, ISO 10303 - Part 224 Mechanical Product Definition for Process Planning Using Form Features, South Carolina, EUA, 1994.
- Shah, J.J. e Mäntylä, M., "Advances in Feature Based Manufacturing", Elsevier, 1994.
- Anais do International IFIP Conference on Feature Modeling and Advanced Design-For-The-Life-Cycle Systems, Valenciennes, França, 12-14 de Junho, 2001.

# Estrutura do Relatório

- Capítulo 2 apresenta uma introdução ao planejamento do processo descrevendo suas funções básicas.
- Capítulo 3 apresenta estratégias usadas nas atividades de planejamento do processo.
- Capítulo 4 discute o uso dos computadores no projeto e na manufatura.
- Capítulo 5 aborda o projeto de peças baseado em features de projeto e manufatura como elemento de integração entre o projeto e a manufatura.

# Estrutura do Relatório

- Capítulo 6 apresenta o CAPP dando maior enfoque à abordagem generativa e apresentando uma revisão bibliográfica dos vários sistemas CAPP desenvolvidos para operações de torneamento.
- Capítulo 7 apresenta uma análise sobre as diversas abordagens utilizadas para tomada de decisão no CAPP derivadas de técnicas de representação do conhecimento e abordagens clássicas.
- Capítulo 8 aborda o planejamento do processo contendo alternativas e as técnicas utilizadas para representação de planos de processo no computador.
- Capítulo 9 descreve algumas ações que foram desenvolvidas para implantação de infra-estrutura computacional para o desenvolvimento de atividades de CAD/CAPP/CAM nas instalações físicas do GRIMA.
- Capítulo 10 apresenta as conclusões do trabalho desenvolvido.

# Definições: Planejamento do Processo

- Pode ser definido como a atividade de selecionar e definir os processos que devem ser executados para transformar um material bruto em um produto acabado (SALOMONS, HOUTEN e KALS, 1993).
- É a seleção e seqüenciamento de processos de manufatura para converter uma matéria prima em um componente acabado, de acordo com especificações funcionais (IRANI, KOO e RAMAN, 1995).
- De acordo com Wysh et al citados por HUANG (1988), pode ser definido como o módulo responsável pela conversão de dados de projeto em instruções de trabalho.
- De acordo com Alting e Zhang (1989) é definido como a determinação sistemática dos métodos que permitem que um produto seja manufaturado econômica e competitivamente.

# Definições: Planejamento do Processo

- Apesar das aparentes diferenças entre as definições, o que se procura enfatizar é o processo de transformação de um material bruto em um produto acabado.
- A tarefa de planejamento do processos consiste na escolha de alguns recursos dentre os disponíveis:
  - máquinas-ferramenta, ferramentas de corte, dispositivos de fixação, definição de seqüência de operações, definição de condições de corte e definição de operações auxiliares.



# Decisões Associadas ao Planejamento do Processo (WANG & LI, 1991)

- Seleção da matéria-prima e seu método de fabricação.
- Seleção dos processos de usinagem das superfícies das peças.
- Determinação da seqüência de operações.
- Determinação da fixação da peça para cada operação.
- Seleção do equipamento e ferramentas para as operações de usinagem.
- Determinação das dimensões e tolerâncias operacionais para as operações de usinagem.
- Seleção das condições de usinagem e determinação dos tempos padrões para cada operação.

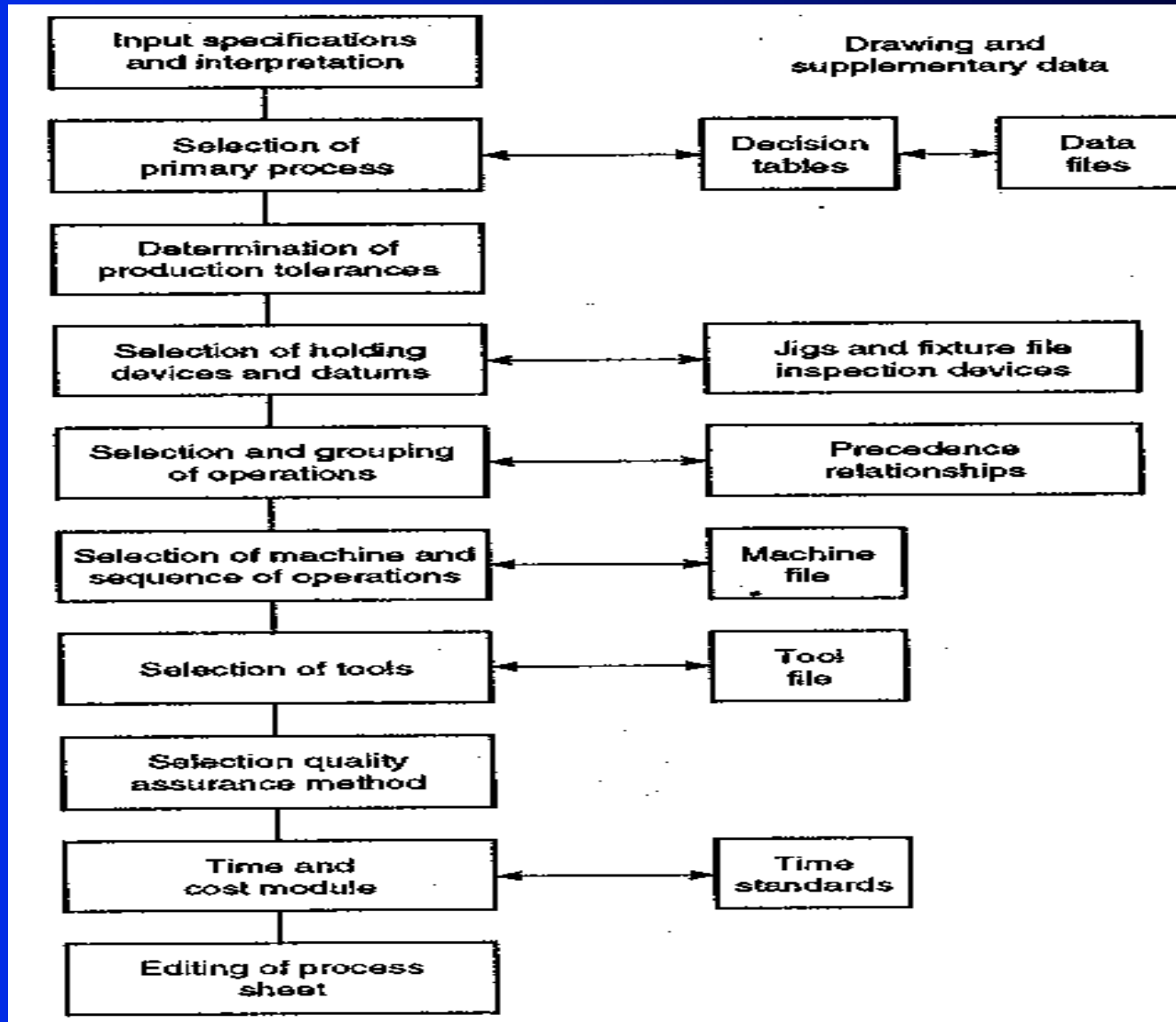
# Atividades no P.P. (Halevi e Weil)

- uma interpretação das especificações contidas na definição do desenho da peça, incluindo principalmente tolerâncias dimensionais, tolerâncias geométricas, rugosidade superficial, tipo de material, dimensão da matéria-prima, número de peças no lote, etc (requisitos da peça e do processo);
- seleção de processos e ferramentas para processamento da peça e suas features respeitando as restrições impostas na definição do desenho;
- determinação das tolerâncias de fabricação e dimensões de montagem para garantir as tolerâncias de projeto em função das limitações das dimensões de fabricação por razões de comodidade e capacidade da máquina-ferramenta;
- seleção das superfícies de partida e de referência para garantir a execução precisa do processamento das operações, simultaneamente com a seleção de dispositivos de fixação e a estabilidade da peça através de uma apropriada fixação;

# Atividades no P.P. (Halevi e Weil)

- seqüenciamento de operações como função de prioridades impostas pelas restrições tecnológicas e de precisão;
- agrupamento de operações elementares sobre a mesma máquina objetivando a redução do tempo, respeitando os requisitos de precisão;
- seleção de máquinas para executar as operações, levando em conta o número de peças a ser produzido (tamanho do lote);
- seleção de métodos e sistemas de medição para garantir a conformidade dos componentes em relação aos requisitos funcionais;
- determinação das condições de processamento para cada operação elementar levando em conta os tempos e custos de processamento/trabalho a fim de se realizar uma avaliação econômica;
- edição e montagem das folhas de processo para serem disponibilizados em um plano de processo exequível e de preferência com alternativas para serem transferidos para o departamento de manufatura para execução.

# Atividades no P.P. (Halevi e Weil)



# Projeto Lógico do Plano de Processo

- Análise preliminar da peça mecânica.
- Seleção dos processos de usinagem (operações elementares), ferramentas e parâmetros de corte.
- Grupagem dos processos dentro de operações (jobs).
- Seleção de máquinas-ferramenta.
- Seqüenciamento das operações de acordo com as relações de precedência segundo as restrições de ordem: dimensional, tolerâncias geométricas, tecnológica (desbaste antes de pré-acabamento) e econômicas (redução do custo de produção e desgaste/quebra de ferramenta, por exemplo).
- Seleção dos dispositivos de fixação e referências dimensionais.
- Preparação final do arquivo com o plano de processo para a peça.

*Nesta abordagem a seleção da máquina-ferramenta é feita após ter-se escolhido os parâmetros de corte através dos métodos baseados no mínimo tempo de produção ou menor custo de usinagem*

# *Planejamento do Roteamento e Projeto da Operação de Usinagem (Wang & Li)*

- Análise do desenho da peça.
- Seleção dos processos e rotas de usinagem para cada superfície da peça a ser usinada (feature).
- Determinação do conteúdo de cada operação e o número de operações de usinagem.
- Determinação da sequência de operações.
- Seleção das referências de apoio para cada operação.
- Arranjo de operações de tratamento térmico.
- Arranjo de operações auxiliares (inspeção, limpeza, etc).

# *Projeto da Operação de Usinagem e Planejamento do Roteamento (Wang & Li)*

- Seleção da máquina e ferramental para cada operação.
- Arranjo da sequência de operações elementares em cada operação.
- Determinação dos sobre-material para cada superfície a ser usinada.
- Determinação das cotas e tolerâncias de fabricação para cada operação.
- Determinação das condições de usinagem para cada operação.
- Estimativa de tempos padrões para cada operação.

# Abordagem a Ser Utilizada na Tese

- As duas sistemáticas de divisão das atividades de planejamento do processo (Hallevi x Wang) são bastante semelhantes.
- Diferem na ordem, o momento, onde se executa a atividade associada à seleção da máquina-ferramenta.
- Abordagem Wang & Li (1991) esta atividade é a primeira a ser realizada no estágio de projeto de operações de usinagem.
  - Isto impõe uma forte restrição à tomada de decisão associada às demais atividades e principalmente na determinação das condições de usinagem para cada operação.



# Abordagem a Ser Utilizada na Tese

- A abordagem Halevi & Weill é menos restritiva.
- O método tem consistência sendo lógico e estruturado. Diferem na ordem, o momento, onde se executa a atividade associada à seleção da máquina-ferramenta.
- Na aplicação que se pretende desenvolver, onde já se conhece uma das *restrições para tomada de decisão* que diz respeito a *máquina* que será utilizada (Centro de Torneamento CNC) a *abordagem Wang & Li* parecer ser a mais *racional*, pois *não* haverá *máquinas alternativas* para serem utilizadas

# Abordagem a Ser Utilizada na Tese

- *Matrix Method* como método de otimização baseada em planos de processos alternativos perde o sentido.
- Trabalha-se apenas com uma máquina de comando numérico.
- Critério de otimização: fabricação com o menor número de fixações da peça e setup da ferramenta.
- Otimização do sistema de usinagem MFFP em função da quantidade de fixações necessárias da peça para possibilitar a execução de todo o plano de processo em uma única máquina.
- Planos de processos alternativos baseado em operações alternativas a serem processadas em uma única máquina (planos de processo não lineares).

# CAPP: ROUND, RNDFIX, XPLANES, PART e PARTS (Houten & *et al*)

- Interpretação do modelo de produto;
- Seleção de máquinas-ferramenta;
- Seleção de ferramentas;
- Determinação de setups;
- Projeto de fixações;
- Determinação dos métodos/operações de usinagem;
- Seleção de ferramentas de corte;
- Determinação das sequências de usinagem;
- Cálculo das trajetórias de ferramenta;
- Cálculo das condições de usinagem;
- Geração do programa NC;
- Planejamento de Capacidade.

# Revisão Planejamento do Processo

## 2.3 Planejamento do Roteamento do Processo

2.3.1 Análise do desenho da peça

2.3.2 Divisão da rota de processo em etapas

2.3.3 Concentração/Separação de operações

2.3.4 Seleção de tratamentos térmicos

2.3.5 Definição de operações auxiliares

# Revisão Planejamento do Processo

## 2.4 Projeto/Planejamento das Operações de Usinagem

2.4.1 Seleção de máquinas-ferramenta

2.4.2 Seleção de ferramentas

2.4.3 Seleção de dispositivos de fixação

2.4.4

Seleção de superfícies de referência para a fabricação

2.4.5 Determinação de sobre-metais

2.4.6

Determinação de dimensões e tolerâncias de usinagem

2.4.7 Seleção de condições de corte

2.4.8 Estabelecimento de tempos padrão

2.4.9 Documentação do plano de processo

2.5 Plano de Processo por Peça x Plano por Lote

2.6 Plano de Processo on-line x off-line

# Esboço Roteamento de Processo

<b>EMPRESA</b>	<b>ROTEAMENTO DO PROCESSO</b>		No. DO PRODUTO:			PAGINA: DE TOTAL:	
			No DA PEÇA:				
			DESCRIÇÃO:				
MATERIAL:				PEÇAS POR METRO:		QUANTIDADE:	
<b>OP No.</b>	<b>NOME DA OPERAÇÃO</b>	<b>MAQUINA</b>	<b>FERRAMENTA</b>	<b>FIXAÇÃO</b>	<b>MEDIÇÃO</b>	<b>TEMPO PADRÃO</b>	<b>OBSERVAÇÃO</b>
			PROCESSISTA			APROVADO	
			DATA			DATA	
<b>ALTERAÇÃO</b>	<b>APROVADO</b>	<b>DATA</b>					

# Esboço Plano de Operações

EMPRESA	PLANO DE OPERAÇÃO	No. DO PRODUTO:			PAGINA: DE TOTAL:		
		No DA PEÇA:					
		DESCRIÇÃO:					
OP No.	NOME DA OPERAÇÃO	MATERIAL	DUREZA	MAQUINA	FIXAÇÃO	TEMPO PADRÃO	
<p>DESENHO DA PEÇA ILUSTRANDO AS DIMENSÕES DA SUPERFÍCIE QUE DEVE SER USINADA, ASSIM COMO A FORMA DE FIXAÇÃO</p>							
Seq. No.	OP. ELEMENT.	FERRAMENTA	MEDIÇÃO	N (RPM)	F (MM/REV)	AP (MM)	OBSERVAÇÃO
			PROCESSISTA			APROVADO	
			DATA			DATA	
ALTERAÇÃO	APROVADO	DATA					

# Estratégias no Planejamento do Processo

## 3. Estratégias nas Atividades de Planejamento de Processo

### 3.1 Seleção de Processos de Usinagem, Ferramentas e Parâmetros de Corte - Abordagem Top-Down

#### 3.2 Determinação do Tipo de Operação

##### 3.2.1 Capacidade do processo e seus limites

##### 3.2.2

### Algoritmo para seleção das operações de corte x Tabelas de roteamento

##### 3.2.3 Determinação de sobre-materiais de usinagem

##### 3.2.4

### Determinação de condições de usinagem e tempos padrão

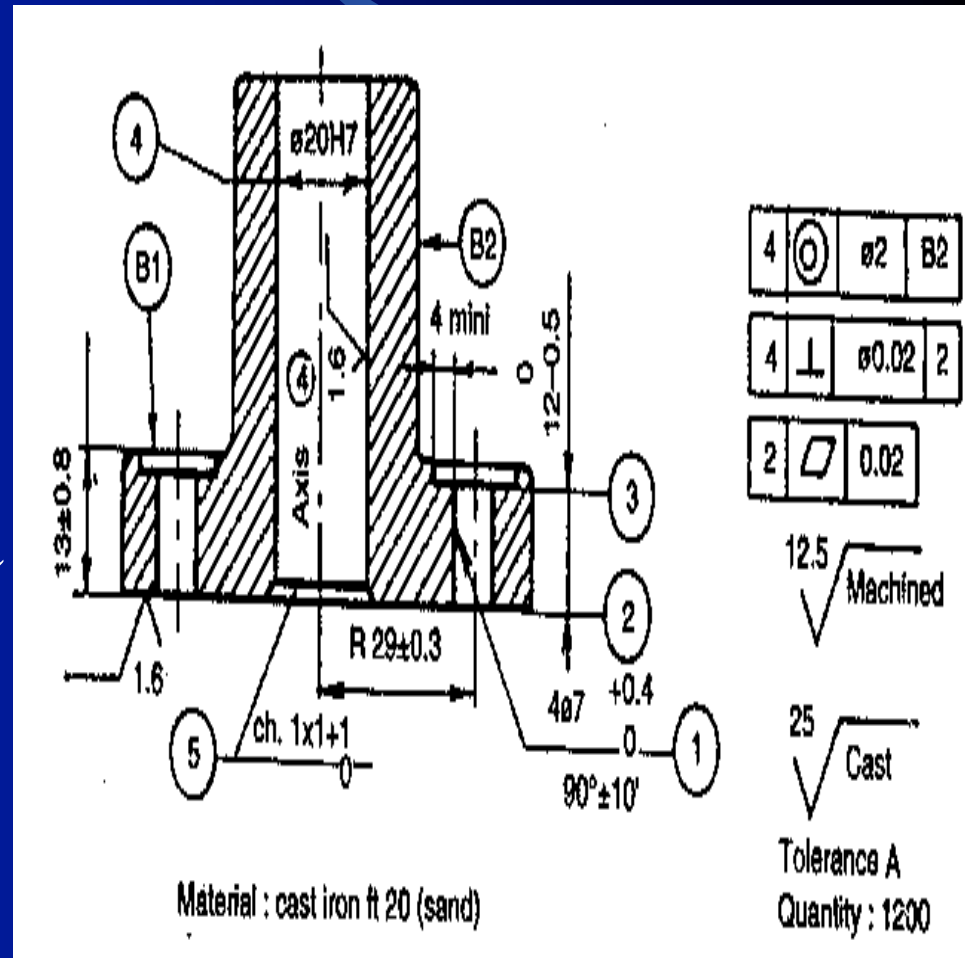
#### 3.3 Posicionamento de uma Peça

##### 3.3.1 Fixação em um torno



# Seleção de Processos - Abordagem Top-Down

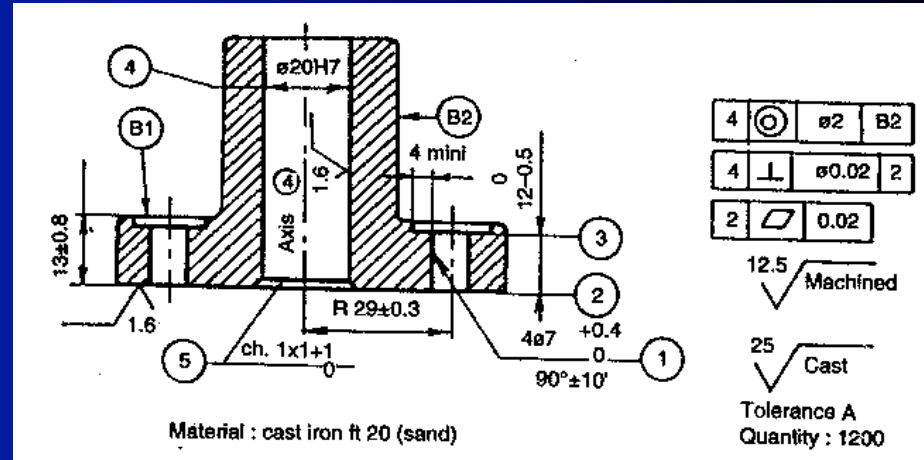
- Uma peça é composta por um determinado número de features que é produzida por uma sucessão de operações de usinagem de diferentes tipos.
- A figura ao lado apresenta o projeto de uma peça mecânica constituída por nove features de projeto a serem usinadas.



# Seleção de Processos - Abordagem Top-Down

- feature (2) duas possibilidades de operações poderão ocorrer (desbaste e/ou acabamento), dependerá da capacidade da máquina-ferramenta.

- Para a feature (4) três operações (desbaste, semi-acabamento e acabamento) serão necessários para atingir os requisitos de qualidade especificados para a peça.



Feature to be machined	Design specifications	Passes and tools			Number of tools
		Roughing	1/2 finishing	Finishing	
(1)	$\varnothing 7_0^{+0.4}$ ; $R_a 12.5$ $29 \pm 0.3$			Drill	1
(2)	$13 \pm 0.8$ ; $R_a 1.6$ planeity 0.02	Eventually miller or surfacing tool		Miller or surfacing tool	1 or 2
(3)	$12_{-0.5}^0$ ; $R_a 12.5$ 4 mini.			Countersinking tool	1
(4)	$\varnothing 20H7 - R_a 1.6$ $\odot \varnothing 2$ ; $\perp 0.02$	Drill	Tool on bar	Reamer	3
(5)	Chamfer: $1 \times 1_0^{+1}$			Tool for chamfering	1

# Seleção de Processos - Abordagem Top-Down

- Abordagem top-down:
  - método que pode ser implementado computacionalmente;
  - agrupar as operações elementares em operações (jobs);
  - realizar o seqüenciamento destas operações elementares grupadas de acordo com seu relacionamento de precedência (anteriores).
- Este método de determinação da seqüência de operações de usinagem foi desenvolvido por Sundaram (1986) e também, descrito por Halevi & Weill (1995).
  - apresentam uma pequena diferença na resolução da matriz de relacionamento de precedência.

# Tabela de Relacionamento de Precedência de Operações

- As operações elementares de usinagem são grupadas em uma seqüência;
- O grupo de operações elementares pode ser processado em uma única máquina;
- A partir da especificação de operações de usinagem é montado uma tabela de relacionamento de precedência de operações;
- A tabela é baseada nos seguintes fatores:
  - Tolerância Dimensional;
  - Tolerância Geométrica (acabamento superficial, tolerância de forma e posição);
  - Considerações Tecnológicas (incluir desbaste antes de acabamento, por exemplo);
  - Aspectos Econômicos (incluir semi-acabamento, por exemplo).

# Tabela de Relacionamento de Precedência de Operações

Feature to be machined	Design specifications	Passes and tools			Number of tools
		Roughing	$\frac{1}{2}$ finishing	Finishing	
(1)	$\varnothing 7_0^{+0.4}$ ; $R_a 12.5$ $29 \pm 0.3$			Drill	1
(2)	$13 \pm 0.8$ ; $R_a 1.6$ planeity 0.02	Eventually miller or surfacing tool		Miller or surfacing tool	1 or 2
(3)	$12_{-0.5}^0$ ; $R_a 12.5$ 4 mini.			Countersinking tool	1
(4)	$\varnothing 20H7 - R_a 1.6$ $\varnothing 2$ ; $\perp 0.02$ Chamfer: $1 \times 1_0^{+1}$	Drill	Tool on bar	Reamer	3
(5)				Tool for chamfering	1

Operations	Anteriorities			
	Dimensional	Geometr.	Technol.	Economical
1F 2R	4F	2F	orthogonal	$4\frac{1}{2}$ F economy of machining
2F 3F 4R	B1 2F	1F	2R	
$4\frac{1}{2}$ F 4F		B2 $\odot$ 2F $\perp$	4R $4\frac{1}{2}$ F 5F	2F, protection of tool 5F, no burrs $4\frac{1}{2}$ F economy of machining
5F	2F			

F = finish. R = rough.

Source: Karr, J., *Methodes et Analyses de Fabrication Mecanique*, published by Dunod, Bordas, Paris, 1979.

# Determinação do Tipo de Operação

- A seleção da operação deve ser baseado na capacidade e nas condições de limite do processo.
- A profundidade de corte é um dos parâmetros que mais influenciam na tomada desta decisão.
- A estratégia de limites de contorno é baseado no conceito da existência de restrições técnicas e considerações econômicas na seleção das operações de corte ótimas.
- O método proposto por Halevi & Weill (1995) estabelece um conjunto de restrições técnicas como limites de contorno, e então, levando em consideração aspectos econômicos, seleciona as condições de trabalho dentro destes limites.

# Determinação do Tipo de Operação

- São levadas em consideração as seguintes restrições:
  - restrições tecnológicas baseadas na teoria de corte;
  - restrições da peça;
  - restrições de material;
  - restrições de máquinas-ferramenta;
  - restrições de ferramentas;
  - restrições do usuário.

# Determinação do Tipo de Operação

- Estas restrições são usadas para estabelecer os limites da profundidade de corte, avanço e velocidade de corte.
- Determina-se as condições de contorno (limites máximo e mínimo) para os parâmetros a partir das restrições.
- As restrições que determinarão as condições de contorno são expressas através de fórmula e tabelas, por exemplo:
  - acabamento superficial como função da profundidade de corte e avanço;
  - força de corte como função da profundidade de corte e avanço;
  - limite da profundidade de corte como função da dureza do material e acabamento superficial;
  - profundidade de corte como função do avanço;
  - profundidade de corte como função de uma operação elementar a ser selecionada, entre outros.



# Algoritmo Seleção das Operações de Corte

- Determina inicialmente o sistema e dispositivo de fixação da peça e a seguir determina as operações elementares (número de passes e condições de usinagem);
- E finalmente faz um grupamento das operações elementares em operações (jobs) utilizando a matriz das anteriores;
- Após a determinação das operações define-se a velocidade de corte e escolhe-se a máquina através da Matriz de Halevi;
- E finalmente seleciona-se as ferramentas de corte.
- Parte-se das operações de usinagem, condições tecnológicas de corte e por último define-se as máquinas e ferramentas, minimizando as restrições que se impõe a cada tomada de decisão.
- Desta forma as restrições impostas pelas várias decisões tomadas ao longo das etapas do planejamento do processo são minimizadas.

# Algoritmo Seleção das Operações de Corte

- Otimização é buscada através da minimização dos número de passes de usinagem;
- Define-se os maiores valores possíveis das condições de usinagem (avanço e profundidade);
- limites da profundidade de corte função das diversas restrições:
  - determina-se a quantidade de passes;
  - define-se o avanço e profundidade de corte para cada operação. A velocidade de corte é determinada por outro método.
  - não se escolheu ainda a ferramenta e a máquina a ser utilizada.

# Tabelas de Roteamento

- Outra abordagem é a utilização de tabelas que já apresentam roteamentos típicos de usinagem para superfícies cilíndricas externas, internas e planas.
- Exemplos destes tipos de tabelas podem ser obtidos em manuais.
- Após a seleção dos processos finais de usinagem e roteamentos de todas as superfícies (críticas e menos críticas), faz-se uma análise considerando-se as features inter-relacionadas por tolerâncias.
- Um exemplo de roteamento de usinagem:
  - torneamento (desbaste) -> torneamento (semi-acabamento) -> retificação (desbaste) -> retificação (acabamento) -> super-acabamento (Tolerância IT de 3-5 e Rugosidade de 0,008-0,16 microns).

# Tabelas de Roteamento

- Após a sub-divisão da rota de processo em estágios pode-se utilizar o conceito de sobre-material para definir a quantidade de passes a ser efetuado em cada estágio das operações de usinagem.
- Este método é muito utilizado e possibilita a escolha de rotas de usinagem bastante exequível e racional apesar de não usar nenhuma forma de otimização.
- Pode-se utilizar os dois métodos em conjunto visando a otimização.

# Determinação de Sobre-materiais de Usinagem

- A quantidade de sobre-material é a diferença entre as cotas de fabricação obtidas nas operações atual e anterior.
- O sobre-material total (incluindo todas as operações) é igual à soma dos sobre-materiais referentes a cada operação, desde a matéria-prima até a peça na forma final.
- Métodos para a determinação de sobre-materiais:
  - Cálculo: pouco usado devido à ausência de dados experimentais.
  - Estimativa baseada na experiência: normalmente pouco eficiente.
  - Tabelas de sobre-materiais: dados disponíveis de manuais normalmente compilados de dados de chão-de-fábrica e experimentos.

# Determinação de Condições de Usinagem e Tempos Padrão

- As condições de usinagem podem ser obtidas de handbooks ou catálogos de fabricantes de ferramentas, ou através do método seqüencial.
- No caso da utilização de handbooks ou catálogos faz-se a seleção das condições de corte para uma dada combinação de materiais de peça e ferramenta, bem como, da geometria da ferramenta.
- O método seqüencial consiste na determinação, numa ordem definida, das condições de corte.

# Determinação de Condições de Usinagem e Tempos Padrão – Método Seqüencial

- Primeiramente, a profundidade de corte é estabelecida. Se o sobre-material puder ser removido num único passe, a profundidade de corte será igual ao sobre-material.
- A profundidade de corte, em operações de desbaste, é restringida pela potência da máquina, pela rigidez da peça, pelo método de fixação, entre outros. Algumas vezes, pode ser necessário remover o sobre-material em vários passes, reduzindo-se portanto a profundidade de corte. No caso de operações de semi-acabamento e acabamento, a usinagem é feita em geral num único passe.

# Determinação de Condições de Usinagem e Tempos Padrão – Método Seqüencial

- A próxima variável a ser selecionada é o avanço, que depende da capacidade da máquina para executar operações de desbaste, e também do acabamento superficial para as operações de acabamento e semi-acabamento.
- Finalmente seleciona-se a velocidade de corte através da equação expandida de Taylor advinda da teoria da usinagem dos metais. Outra opção é selecionar de catálogos de fabricantes em função da ferramenta. Pode-se escolher a velocidade de corte otimizada em função dos métodos de menor custo de usinagem ou menor tempo de usinagem.



# Determinação de Condições de Usinagem e Tempos Padrão – Método Seqüencial

- A seguir determina-se a potência necessária para a usinagem e compara-se com potência disponível na máquina, principalmente para operações de desbaste.
- Verifica-se também a necessidade de se utilizar fluido de corte a fim de reduzir as forças (lubrificação) e temperatura (refrigeração) de corte, bem como melhorar a qualidade superficial.

# Determinação de Condições de Usinagem e Tempos Padrão – Método Seqüencial

- A fase final do planejamento do processo consiste em estabelecer o tempo padrão para cada operação.
- Os tempos padrões num plano de processo fornecem os dados iniciais para o escalonamento da produção, escalonamento de pessoal e cálculo de custos.
- O tempo padrão é o tempo necessário para executar uma tarefa bem definida (p.ex. uma operação) sob certas condições. Um tempo padrão é composto pelo tempo de setup, tempo de processamento, tempo de manuseio, tempo de serviço e tempo de compensação.
- Em Ferreira (1996) são apresentadas tabelas e fórmulas para o cálculo dos diversos componentes do tempo padrão, em especial os modelos de tempo para as principais operações de usinagem normalmente utilizadas e que dependem das condições de usinagem definidas para a operação.

# Posicionamento da Peça

- Consiste em restringi-lá numa posição definida e correta na mesa da máquina, cantoneira ou pallet antes dela ser fixada.
- Em uma operação de usinagem, a peça no fixador deve ser restringida totalmente, ou seja, restringir todos ou alguns dos seus seis graus-de-liberdade (três translações e três rotações).
- O número de graus-de-liberdade que podem ser restringidos através do contato de uma superfície de um fixador depende também da forma da superfície de apoio do fixador.
- Algumas vezes o posicionamento redundante é utilizado, visando o aumento da rigidez e/ou estabilidade da peça, como por exemplo no torneamento onde uma extremidade da peça é fixada numa placa de três castanhas e a outra em uma contra-ponta.

# Posicionamento da Peça

- Os princípios de seleção de referências de apoio são:
  - A peça deve ficar numa posição precisa, e permanecer estável durante a usinagem.
    - Deve-se assim selecionar superfícies simples (planos, cilindros externos e internos);
    - As áreas das superfícies de referência de apoio devem ser grandes o suficiente para assegurar a estabilidade da peça durante a usinagem. Esta área deve ser capaz de acomodar o número de graus-de-liberdade que ela restringe. Uma referência de apoio deve possuir uma boa precisão e acabamento superficial. As posições relativas entre a referência e a superfície a ser usinada devem ser adequadas para uma posição suficientemente rígida, para que uma distorção excessiva não ocorra em função das forças de fixação e de corte.
  - propiciar uma condição favorável para satisfazer o princípio de coincidência de referências (PCR).
    - Deve-se buscar a coincidência entre as referências de apoio e fabricação, bem como com as referências de projeto e medição

# Fixação em um Torno

- Características de placas com três castanhas
  - Forma do segmento: segmentos cilíndricos;
  - Comprimento do segmento: comprimento de contato entre a castanha e peça deve ser de pelo menos 1,2 do segmento do diâmetro. Em qualquer caso o menor comprimento de contato não deve ser menor do que 5 mm;
  - Diâmetro da peça: dependerá das especificações da placa do torno;
  - Tipos de castanhas: as castanhas exercem uma tensão de compressão sobre a peças. Estas forças devem contra-balancear as componentes das forças de usinagem na direção tangencial e radial. As castanhas podem ser do tipo Dura para operações de desbaste (castanha com mordente de perfil serrilhado ou em losângulo, maior coeficiente de atrito) ou do tipo Mole para operações de acabamento (castanha com mordente de perfil liso/usinado, menor coeficiente de atrito).

# Fixação em um Torno

- Placa de três castanhas sem contra-ponta
  - É um dispositivo mais econômico;
  - As três castanhas garantem a concentricidade da peça em relação a árvore/fuso da máquina;
  - Peça considerada como uma viga engastada;
  - Não deve ser usada quando a razão entre comprimento e diâmetro da peça é maior que 3,5.
- Placa de três castanhas com contra-ponta
  - É considerado uma viga engastada de um lado e do outro lado uma viga apoiada;
  - Permite um maior carregamento;
  - Desvantagem: a peça necessita de um furo de centro para apoio da contra-ponta, logo o custo de usinagem e o tempo de processamento é maior;

# Fixação em um Torno

- Placa de três castanhas com contra-ponta (continuação)
  - Pode-se trabalhar com avanços e profundidade de corte maiores diminuindo o tempo de usinagem;
  - Regra: deve ser utilizado quando a razão entre comprimento e diâmetro da peça é maior que 2,5;
  - A razão entre comprimento e diâmetro da peça pode chegar até 6.
  - Deve ser usado se a razão entre comprimento do segmento de contato e o diâmetro da peça for menor que 0,8;
  - Deve ser usado se o comprimento do segmento de contato peça e castanha for inferior a 5 mm.
- Placa com pinça
  - Similar a placa com três castanha entretanto é mais precisa.

# Fixação em um Torno

- Placa com quatro castanhas independentes
  - Usado em peças não simétricas que devem ter um determinado ajuste para uma dadalinha de centro da peça;
  - Maior tempo de setup e melhor precisão.
- Placa de face (três tipos podem ser empregadas)
  - Fixação com três castanhas com furo passante;
  - Fixação com mandril;
  - Fixação entre centros.



# O Uso de Computadores em Projeto e Manufatura

## 4. O Uso de Computadores em Projeto e Manufatura

### 4.1 CAD

4.1.1 Funcionalidade oferecida pelos sistemas de CAD atuais

4.1.2 Restrições nos atuais sistemas CAD

### 4.2 CAPP

4.2.1 Abordagens de sistemas CAPP

4.2.2 Funcionalidade de sistemas de CAPP e exemplos

4.2.3 Restrições dos sistemas de CAPP comerciais

### 4.3 CAM

4.3.1 Integração ao ambiente

# Modeladores Geométricos

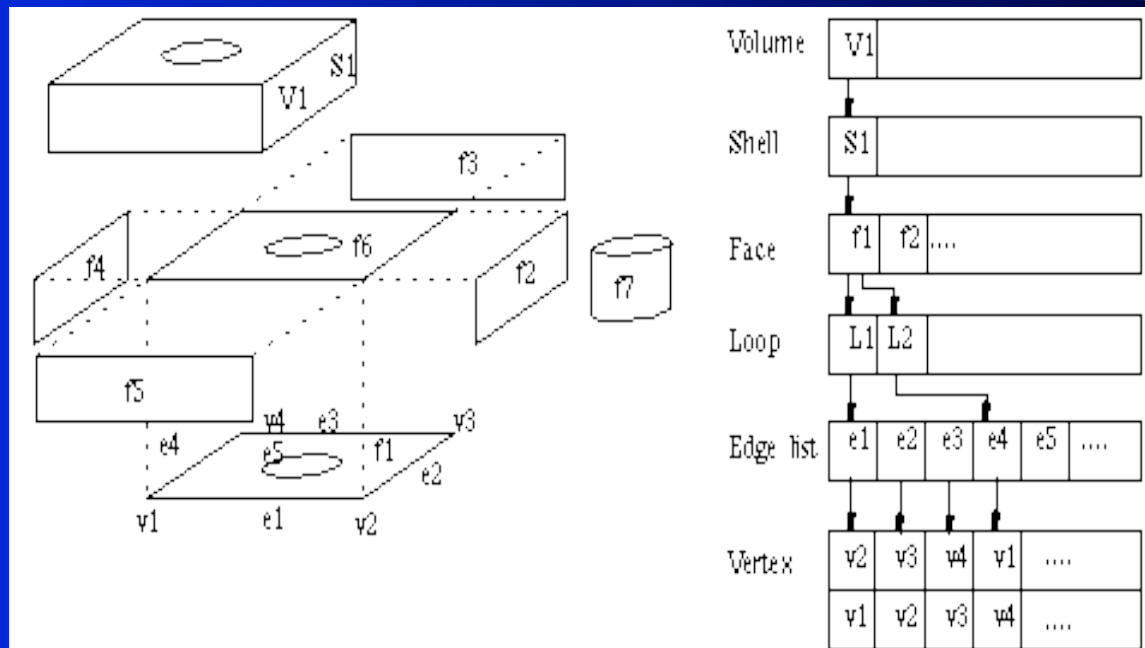
- Com modelagem wire-frames e modelagem de superfície não se consegue desenvolver modelos de produto sem ambigüidades para serem interpretados e analisados;
- Por este motivo desenvolveu-se outra técnica de modelagem denominada de modelagem de sólido.
- Normalmente em modelagem de sólido utiliza-se dois esquemas de representação:
  - Boundary representation (B-rep);
  - Constructive Solid Geometry (CSG).
- Representação geométrica mais utilizados nos modeladores geométricos:
  - modelos em wire-frame;
  - modelos de superfície;
  - modelos sólidos.

# Modeladores Geométricos

- Modelos em wire-frame contêm apenas informações sobre vértices e arestas do objeto e não se prestam para transformação em objetos sólidos.
- De forma similar modelos de superfície contêm apenas informações sobre faces.
- Modelos sólidos representam o objeto por meio de vértices, arestas e faces sem ambigüidades geométricas na descrição do objeto.

# Modelagem Sólida: B-Rep

- Boundary representation é baseado nas técnicas de modelagem de superfície, que a precedeu.
- Uma representação dos contornos/limites do modelo do produto pode ser visto como uma estrutura topológica de primitivas de baixo nível como faces, arestas e vértices que definem um sólido.



# Modelagem Sólida: CSG

- Usa objetos primitivos que podem ser combinados por operações booleanas: união, interseção e diferença.
- Modelos de CSG são árvores binárias nas quais os objetos primitivos são as folhas da árvore do modelo de produto.
- Cada primitiva é associado com uma transformação 3D que especifica sua posição, orientação e dimensões.

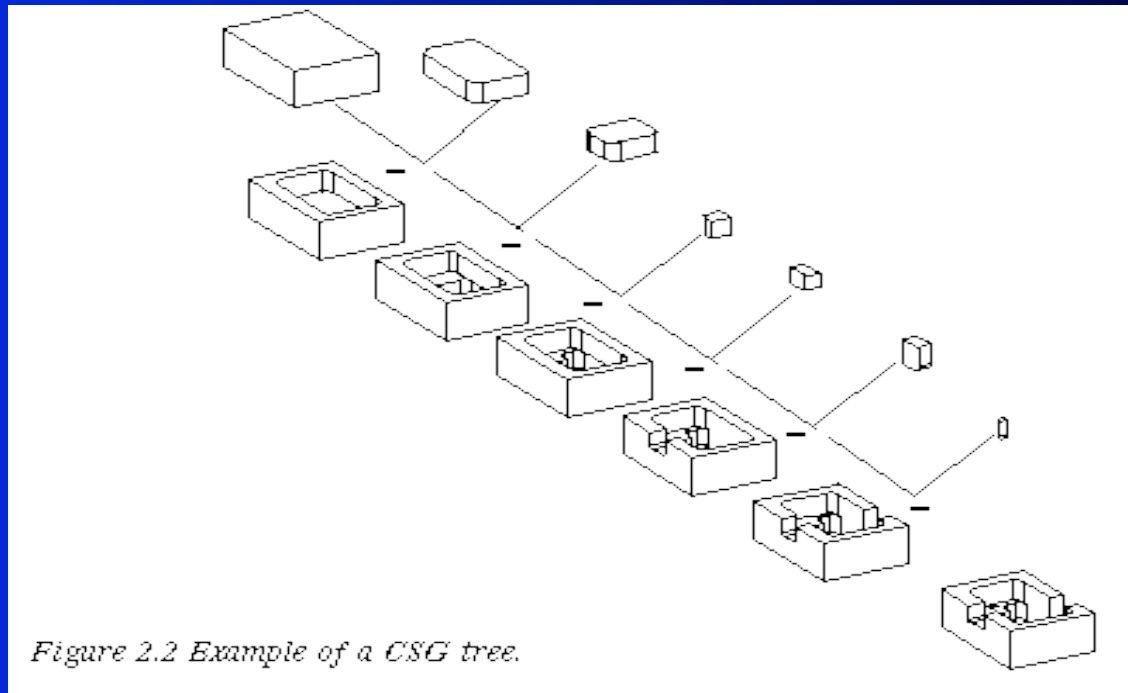


Figure 2.2 Example of a CSG tree.

# Modelagem Sólida: CSG x B-Rep

- B-rep tem como desvantagem: é tedioso manter o modelo atualizado quando mudanças acontecerem e usa muito espaço de memória.
- Uma vantagem de B-rep é que cada superfície pode ser individualmente referenciada; isto representa um modelo bem estimado (representação de tolerâncias).
- Esta vantagem de B-rep é a desvantagem de CSG; modelo não estimado.
- Uma vantagem de CSG é sua representação de alto nível combinada com o espaço de memória relativamente limitado requerido.
- Uma representação sólida híbrida é vantajosa.
- São utilizados modelos sólidos com wire-frame e modelagem de superfície. Estes geralmente são chamados de esquemas de representação non-manifold.

# Funcionalidade de Sistemas CAD

- Os sistemas de CAD mais avançados (Pro-Engineer®, I-DEAS®, Cadds®, Bravo® e Catia®) oferecem uma clara tendência para modelagem de sólido (3D).
- Os CAD oferecem modelagem baseada em features para detalhar componentes depois que a forma sólida genérica foi estabelecida (por exemplo através de esboços 2D em combinação com alguma operação de CAD).
- Estas features podem ser somadas, apagadas ou podem ser modificadas no modelo de produto.
- A modificação da forma pode ser executada de forma paramétrica ou variationally (variacional):
  - modelagem paramétrica
  - modelagem variacional

# Restrições Sistemas CAD

- Sistemas CAD restringem-se à fase de projeto detalhado. Apoio na fase de projeto conceitual e demais fases não são incluídos.

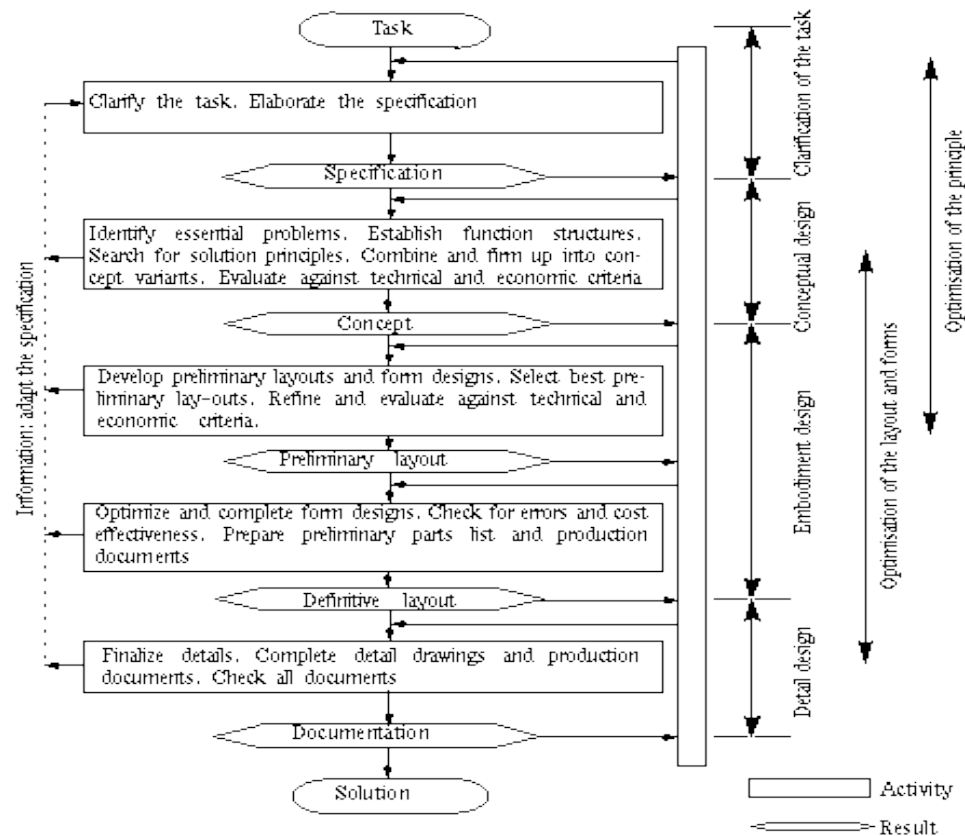


Figure 1.3 Phases in the design process as discerned by Pahl and Beitz (redrawn after [Pahl 84]).



# Restrições Sistemas CAD

- As features que são oferecidas nos sistemas de CAD atuais, normalmente são pré-definida dentro do sistema.
- Ao usuário é permitido realizar alterações dos parâmetros das features (projeto paramétrico). Estas features parametricamente modificáveis são chamadas features definidas pelo usuário.
- O termo features definidas pelo usuário é confundindo um pouco com as features geométricas que o usuário pode definir, com a Topologia e outras características não relacionadas com a geometria da feature.
  - Topologia: o modo no qual as faces, arestas e vértices estão conectados; os elementos da topologia são conectados aos elementos geométricos, i.e. superfícies são conectadas às faces, curvas às arestas e pontos à vértices

# Restrições Sistemas CAD

- A integração de sistemas de CAD com sistemas de CAPP não foi completamente estabelecida.
- Isto é em parte devido à diferença entre as features usadas no sistema de CAD e as utilizadas no sistema de planejamento do processo.
- É muito difícil para um sistema de CAPP dar informação de realimentação sobre manufaturabilidade ao projetista.
- Nenhum sistema CAD é capaz de manipular informações visando a realimentação realimentação do CAPP.
- Projeto cooperativo, um dos elementos fundamentais em CE, quase não é apoiado através de sistemas de CAD.
- A gravação e a apresentação da história de projeto não é possível na maioria sistemas de CAD, ou seja os sistemas não tem uma memória de projeto.

# CAPP

- Planejamento do Processo Auxiliado por Computador (CAPP) é o elo de ligação entre CAD e CAM.
- CAPP tem sido pesquisado desde os anos 60.
- Na década de setenta foi lançada a primeira aplicação comercial sendo direcionada para o armazenamento e recuperação de planos de processo para usinagem convencional.
- CAPP é tido como parte fundamental de um sistema de Manufatura Integrada por Computador (CIM) por ser responsável pela ligação de dados de projeto (CAD) e fabricação (CAM)
- No passado, o desenvolvimento dos sistemas auxiliados por computador foi principalmente concentrado nos sistemas CAD (projeto) e CAM (manufatura).

# CAPP Variante

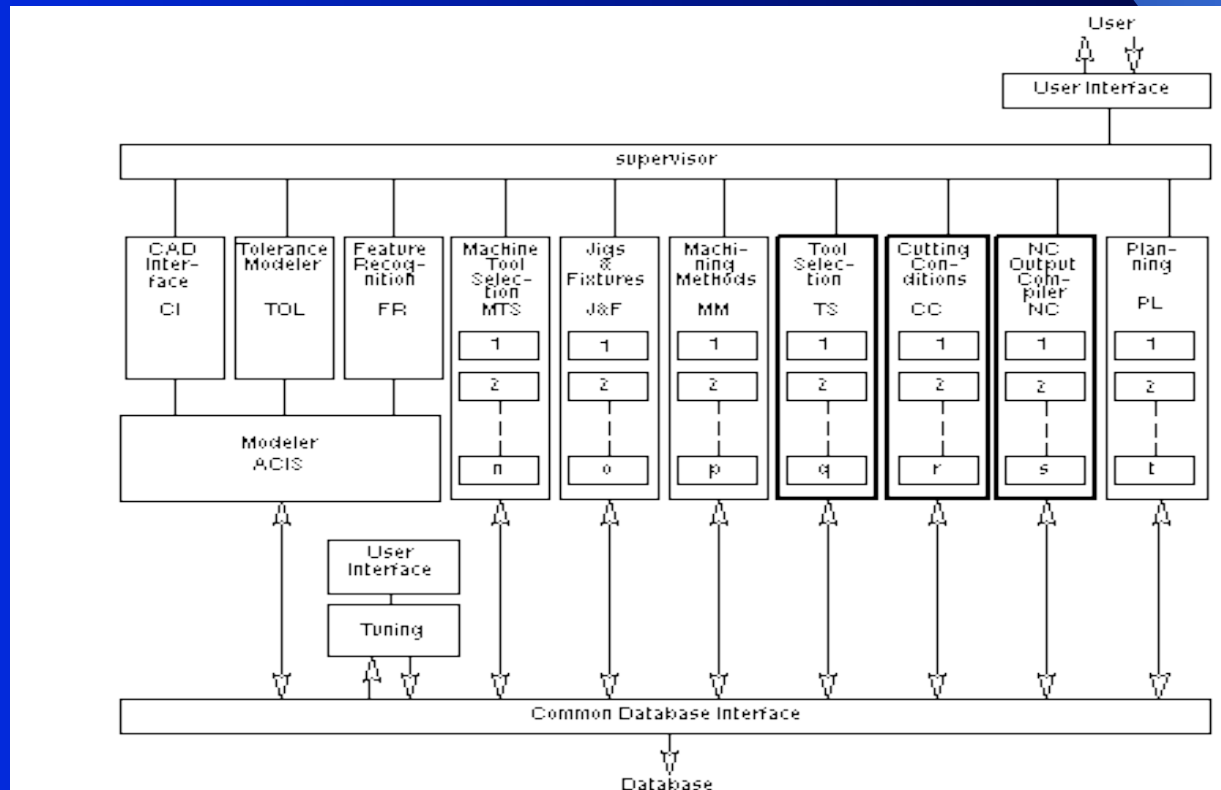
- A abordagem variante para o planejamento do processos é comparável à forma manual utilizada por um processista, onde o plano de processos para uma nova peça é obtido através de pequenas alterações executadas em um plano de processos já existente para uma peça similar.
- Utiliza-se de Tecnologia de Grupo.
- Para cada família de peças, um plano de processos padrão que contém todas as possíveis operações, é armazenado no sistema.
- Através da classificação e codificação, um código é definido para cada peça, a partir de uma série de quesitos.
- Este código é então utilizado para definir a qual família a peça pertence e qual deve ser o plano padrão associado.

# CAPP Generativo

- Um novo plano de processos é gerado para cada peça do sistema, sem a intervenção de um processista.
- São utilizadas tabelas de decisão, árvores de decisão, fórmulas, regras de produção, sistemas especialistas, redes semânticas, etc, para definir quais são os procedimentos necessários para converter um material bruto em uma peça acabada.
- A entrada de informações sobre a peça pode ser do tipo texto ou do tipo gráfica, onde as características da peça são definidas através de um módulo de CAD.
- A grande vantagem deste tipo de abordagem é que os planos de processos gerados são padronizados e completamente automatizados (grande variedade de produtos que são feitos em pequenos lotes).

# CAPP: PART e PART-S

- Os sistemas de planejamento do processo denominados **PART** (Planning of Activities Resources and Technology) e PART-S são sistemas de CAPP generativos desenvolvidos no Laboratory of Production and Design Engineering.



# CAPP: PART e PART-S

- PART e PART-S compartilham a mesma filosofia, oferecendo a mesma funcionalidade.
- Interface de CAD na qual uma representação modelo sólido de um sistema de CAD como Pro-Engineer® ou Catia® pode ser convertido na representação interna do modelador usado em PART.
- Se não foram acrescentadas tolerâncias ao modelo original, edita-se as tolerâncias no editor de tolerância.
- A sucessão de reconhecimento de features e outras atividades podem ser feitas dependendo da aplicação.
- Atividades: seleção de setup, determinação de métodos de usinagem, seleção de ferramenta de corte, seqüenciamento das operações de usinagem, geração do código G e planejamento de capacidade..

# CAPP: PART-S

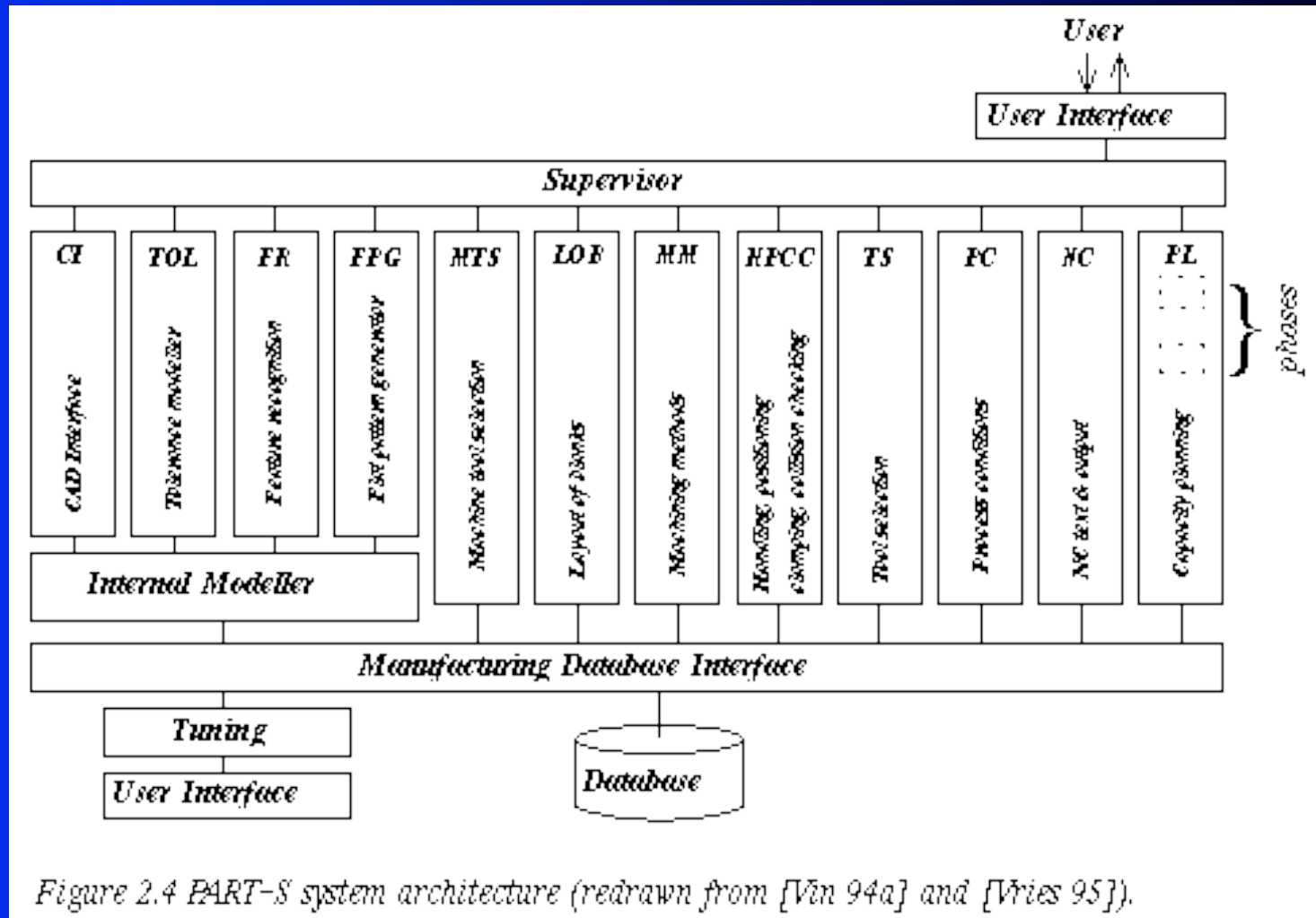


Figure 2.4 PART-S system architecture (redrawn from [Vin 94a] and [Vries 95]).



# CAM

- CAM: uso de sistemas de computação para planejar, gerenciar e controlar as operações de uma planta, através de interface computadorizada direta ou indireta com a produção:
  - Execução (monitoramento e controle por computador): Estas são as aplicações diretas nas quais o computador se conecta diretamente com o processo de manufatura com o propósito de monitorar ou controlar o processo.
  - Planejamento (aplicações de suporte à manufatura): Estas são as aplicações indiretas nas quais o computador é usado como suporte das operações de produção na planta, mas não há interface direta entre o computador e o processo de manufatura.

# Integração Projeto e Manufatura Baseado em Features

5.

## Integração Projeto e Manufatura Baseado em Features

### 5.1 Diferentes Visões sobre Features

5.2

### O Elo de Ligação Entre as Atividades de Projeto e Manufatura

### 5.3 Reconhecimento de Features

### 5.4 Mapeamento de Features

#### 5.4.1 Projeto com features de forma

#### 5.4.2 Projeto com features de manufatura

5.5 Diferença entre Projeto e Manufatura

# Integração Projeto e Manufatura Baseado em Features

- A tecnologia de features é o caminho mais adequado para se promover a integração entre as atividades de projeto, planejamento do processos, fabricação e inspeção.
- Feature é uma forma geométrica definida por um conjunto de parâmetros que têm significado especial para engenheiros de projeto e fabricação.
  - feature de forma: entidades relacionadas com a geometria e topologia de uma peça;
  - feature de tolerância: entidade relacionada com os desvios aceitáveis nas dimensões de uma peça;
  - feature de material: entidade relacionada com as propriedades mecânicas de uma peça;
  - feature funcional: entidade relacionada com a funcionalidade da peça;
  - feature de montagem: entidade relacionada às operações de montagem.
- Feature é utilizado para se referir a feature de forma

# Integração Projeto e Manufatura Baseado em Features

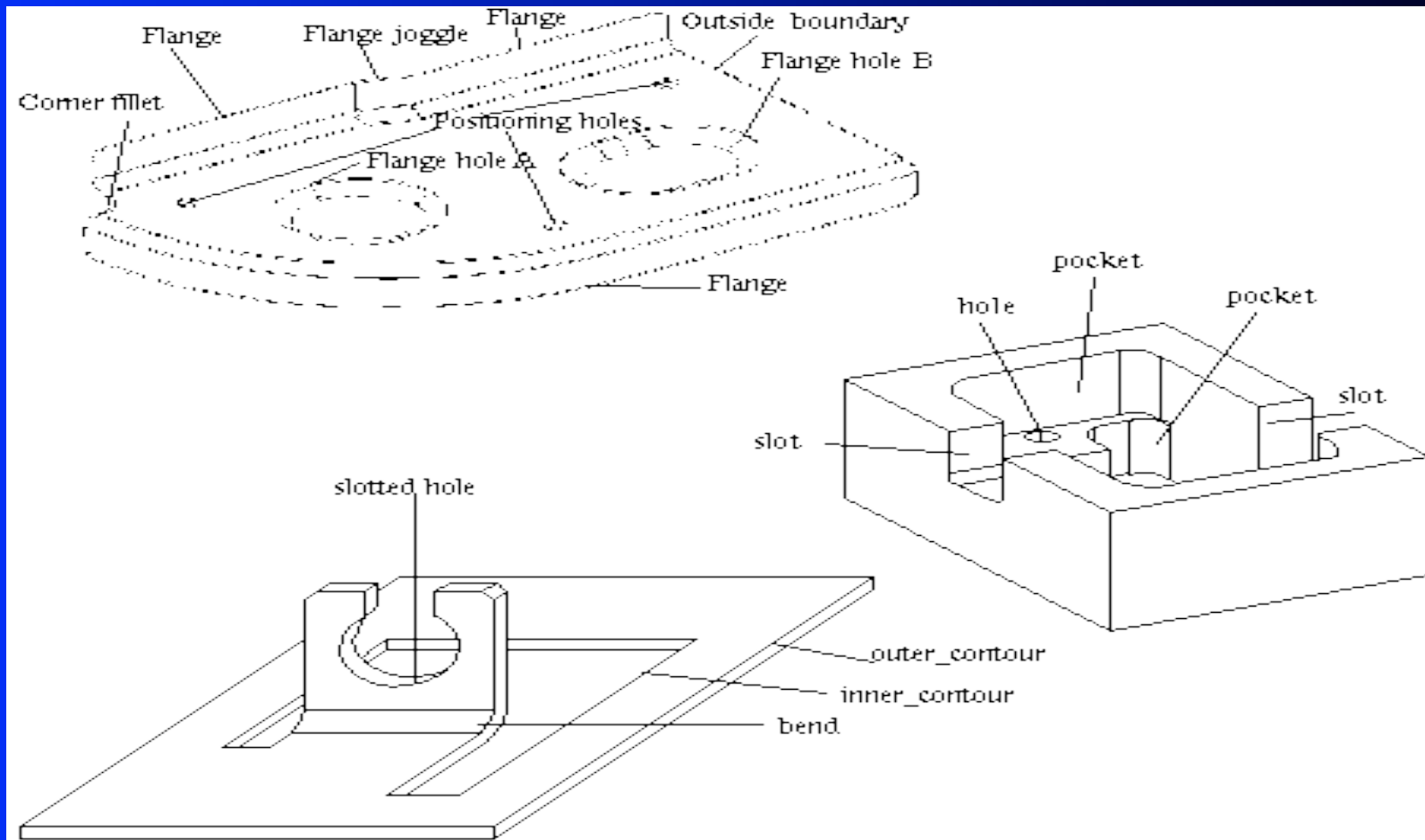


Figure 3.1 Some examples of features on different components; on top a component typical for application in aircraft and made by means of rubber pad forming (redrawn from [Kappert 93]), middle: a prismatic component suitable for P<sub>ART</sub> and on the bottom: a sheet metal component suitable for P<sub>ART-S</sub>.

# O Elo de Ligação Entre as Atividades de Projeto e Manufatura

- A utilização da tecnologia de features facilita a análise da peça quando se trabalha com CAPP.
- Os dados manipulados por um sistema CAPP devem estar na forma de features de manufatura.
- Associado as features de manufatura temos as features de usinagem. Uma feature de usinagem é constituída por:
  - Features volumétricas: é o volume de material removido pela operação de usinagem para transformar a peça bruta em peça acabada. O volume removido é denominado de Volume Delta ou Volume Removido;
  - Features de superfície: é uma coleção de faces na peça que resulta da usinagem (subtração) de uma feature volumétrica.

# O Elo de Ligação Entre as Atividades de Projeto e Manufatura

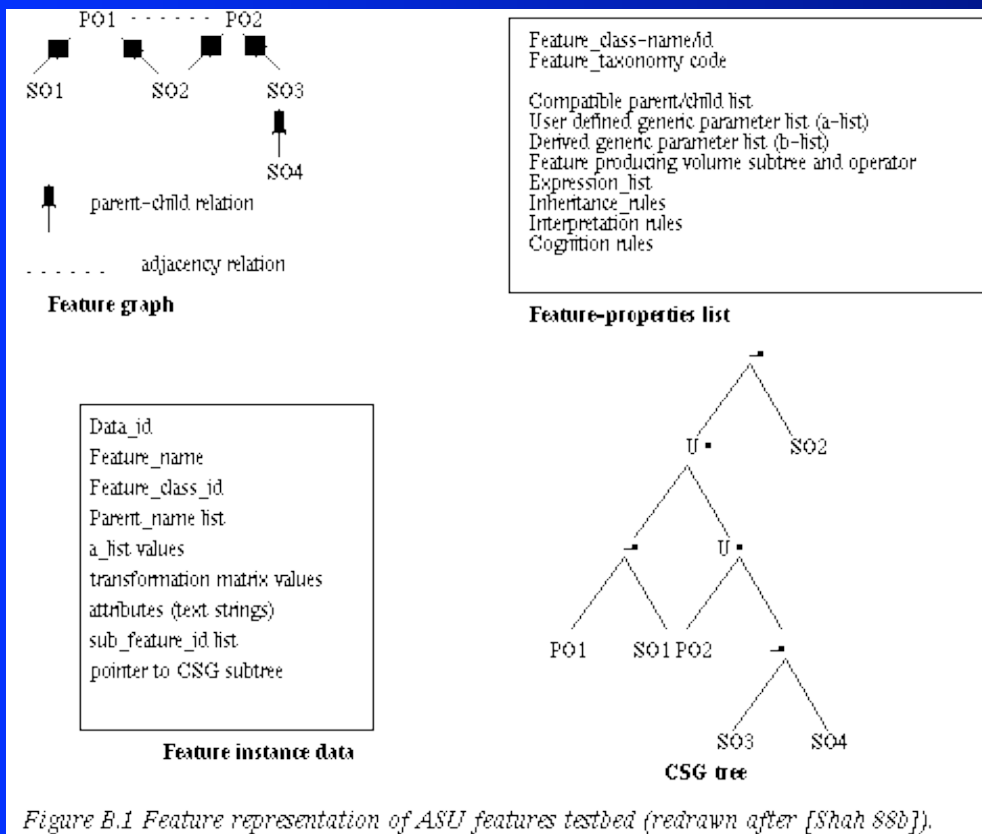


Figure B.1 Feature representation of ASU features tested (redrawn after [Shah 88b]).

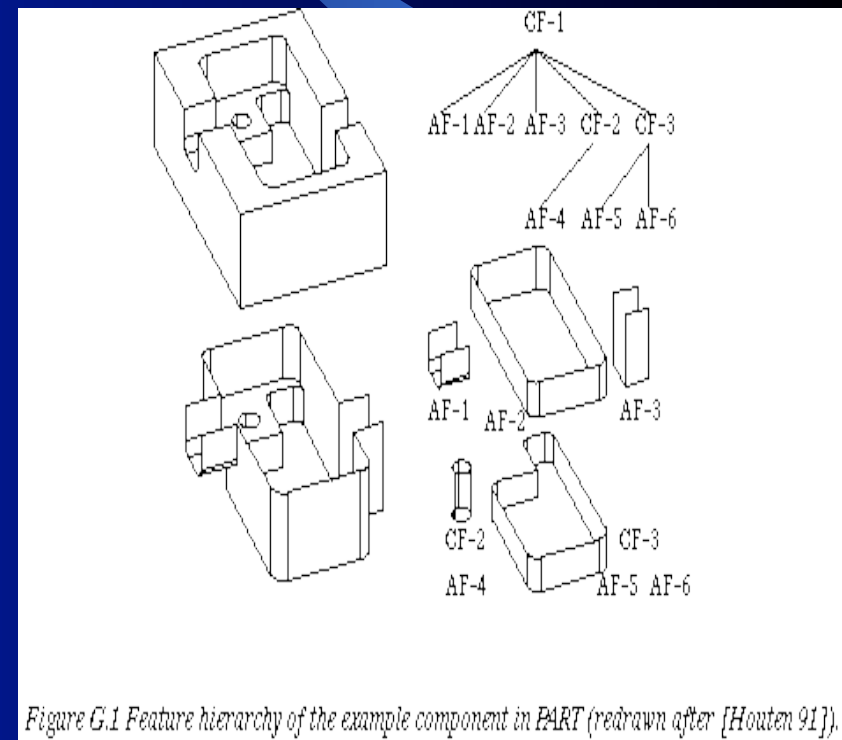


Figure G.1 Feature hierarchy of the example component in PART (redrawn after [Houten 91]).

# O Elo de Ligação Entre as Atividades de Projeto e Manufatura

- A modelagem baseada em feature é definida como um elemento físico da peça que tem algum significado específico de engenharia, devendo satisfazer as seguintes condições:
  - ser um elemento físico da peça;
  - se mapeável para uma forma genérica;
  - ter um significado para engenharia ;
  - ter propriedades que se possa prever.

# AP224: Mechanical Product Definition for Process Planning Using Machining Features

## Machining Features

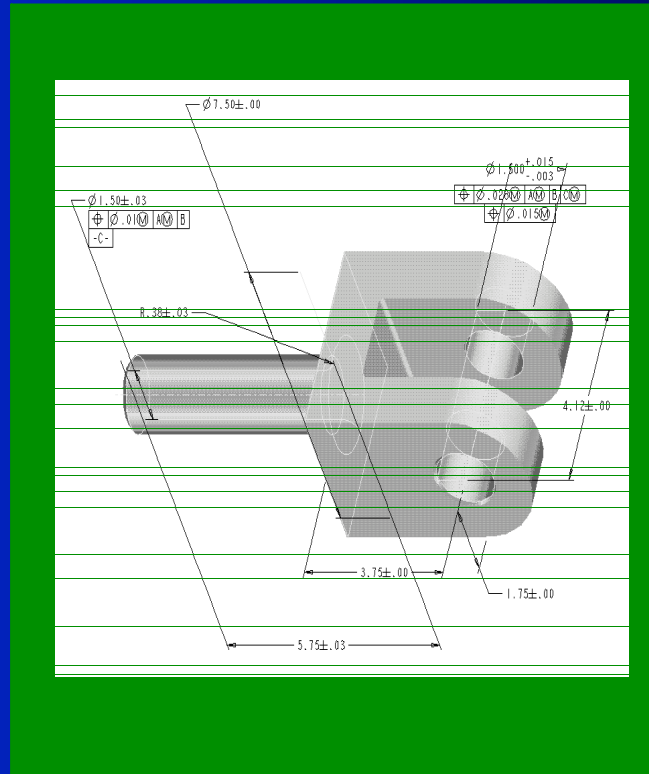
- Boss
- Hole
- Fillet
- Groove
- Pocket

## Measurement Limitations

- Angularity
- Flatness
- Radial Dimension
- Material Condition Modifier
- Tolerance Range

## Part Administration Data

- Approval
- Person in Organization



## Manufacturing Part Properties

- Material Property
- Part Property
- Process Property
- Hardness

## Feature Definition Items & Profiles

- Path
- Taper
- Profile
- Bottom Condition
- End Types

## Shape Representation

- Brep Model
- Explicit Base Shape
- Block Base Shape
- Ngon Base Shape
- Cylindrical Base Shape



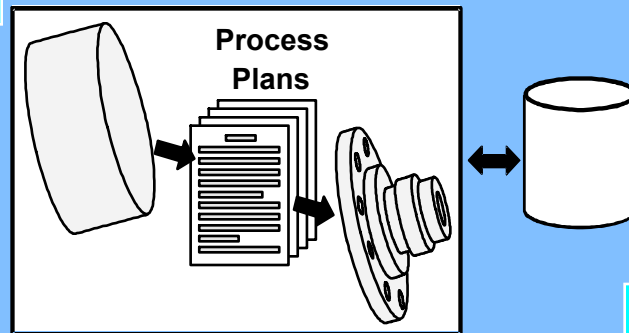
# AP 213: Numerical Control (NC) Process Plans for Machined Parts

## Administration Information

- Responsible Organisations
- Contracts
- Approvals
- Revisions
- Specifications

## Geometric Shapes

- Advanced BREP Solids
- Facetted BREP Solids
- Manifold Surfaces with Topology
- Wireframe with Topology
- Surfaces and Wireframe without Topology



## Manufacturing Resources

- Machines
- Materials
- Fixtures
- Tools
- Workcell/Workstations
- NC Program Reference

## Design Data

- Drawings & Illustrations
- Tolerances
- Surface Finish

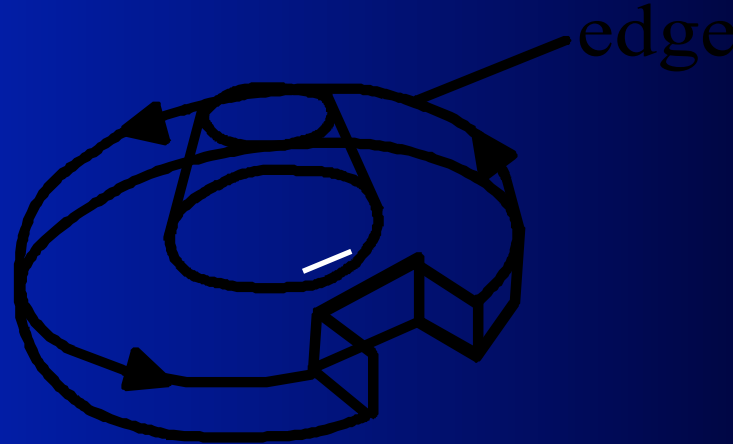
## Manufacturing Activities

- Material Removal
- Setup\Teardown
- Part Handling
- Validation
- Sequencing
- Instructions
- Rates & Times

# Edge-Based Wireframe AIC (Part 501)

- Wireframe 3D shape information for wireframe modeling using topological constructs to establish connectivity
- Curves include both elementary and complex (free form/sculptured)
- Application areas include drawing generation, electrical networks, and limited visualization

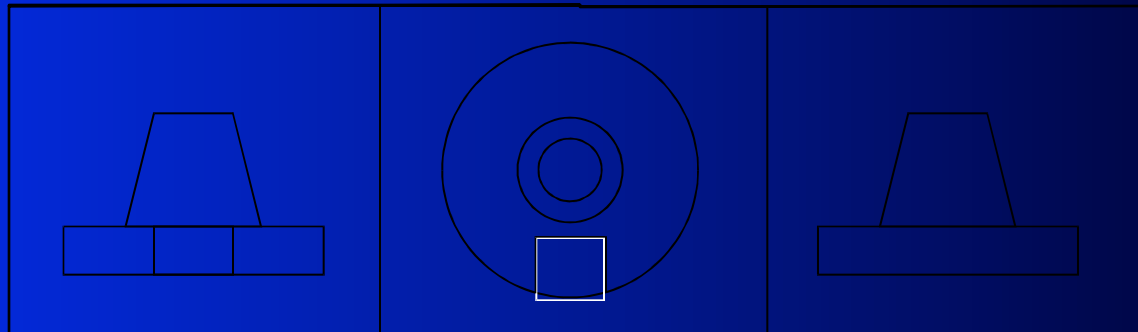
Example:



# Geometrically Bounded 2D Wireframe AIC (Part 503)

- Grouping of curves relevant for 2-dimensional wireframe modeling without topological constructs
- Curves include elementary and complex
- Application areas include drawing generation and visualization limited to 2-dimensional views

Example:

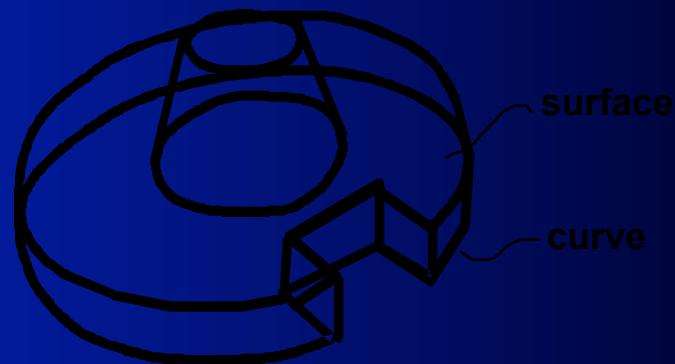


2D views

# AIC507: Geometrically Bounded Surface

- Grouping of surfaces and curves relevant for surface modeling without topological constructs
- Includes elementary and complex curves and surfaces
- Application areas include NC machining, FEA, and limited interference checking

Example:



# O Elo de Ligação Entre as Atividades de Projeto e Manufatura

- Existem essencialmente duas formas de se fazer a preparação de dados de um produto, com base em features de manufatura, para o planejamento do processos:
  - reconhecimento de features de manufatura a partir de um modelo sólido;
  - mapeamento de features de projeto em features de manufatura.

# Mapeamento de Features

- Neste tipo de abordagem, uma biblioteca de features de projeto ou de manufatura é colocada à disposição do projetista.
- Projeta-se a peça através da instanciação das features presentes nesta biblioteca.
- Desta forma podemos distinguir duas categorias de sistemas de projetos baseados em features:
  - projeto com features de forma;
  - projeto com features de manufatura.

# Projeto com Features de Forma

- O modelo da peça é representado em termos de features de projeto.
- As features de manufatura são obtidas através da conversão ou mapeamento das features de projeto para o domínio da manufatura:
  - um-para-um;
  - re-parametrização variante;
  - agregação discreta;
  - decomposição discreta;
  - conjugação.

# Projeto com Features de Forma

- Comparando a abordagem de CAD baseado em features com a de reconhecimento de features, esta abordagem permite uma redução significativa no esforço empreendido para a comunicação CAD/CAPP.
- Por outro lado, ao utilizar um sistema de projeto por features, o projetista deve se limitar à utilização das features presentes na biblioteca.
- Esta é uma desvantagem do projeto por features em relação ao reconhecimento de features.



# Projeto com Features de Manufatura

- O projetista é forçado a definir a geometria da peça usando um conjunto de features associadas com um processo de manufatura específico;
- Sistema QTC (Quick Turnaround Cell), First Cut e Cybercut.
- Para usinagem, as features disponíveis para o projetista são limitadas as features negativas e todas são subtraídas da peça bruta.
- A vantagem: As features de usinagem estão diretamente disponíveis no modelo da peça não sendo necessário o reconhecimento ou mapeamento de features.

# Projeto com Features de Manufatura

- A imposição deste método é a sua restrição.
- Assume que o projetista tem amplo conhecimento de manufatura.
- Força o projetista a pensar em termos de features de manufatura. Normalmente, o projetista está interessado, inicialmente, na forma da peça e nos aspectos funcionais.
- Normalmente esta abordagem é empregada na modelagem de peças prismáticas.

# Projeto com Features de Manufatura

- Associa o volume a ser removido de material da peça diretamente a feature de usinagem através da subtração de material da peça bruta em função da ferramenta de corte selecionada.
- Utiliza-se de um modelador sólido do tipo CSG.
- Trabalha com operações booleanas de subtração de features a partir da peça bruta até chegar à geometria desejada da peça acabada.
- Na furação o volume de material removido está associado ao diâmetro da ferramenta. Define-se uma operação de subtração de um volume cilíndrico com determinadas dimensões de diâmetro (ferramenta) e comprimento (profundidade de corte).

# Sistemas CAPP Voltados Para Operações de Torneamento

## 6. Sistemas CAPP Voltados Para Operações de Torneamento

### 6.1 ROUND

#### 6.1.1 Arquitetura de ROUND

### 6.2 TECHTURN (Technological Oriented Turning System)

#### 6.2.1 Módulos do sistema TECHTURN

#### 6.2.2

#### AUTOPLAN um Sistema de Planejamento do Processo Automatizado

#### 6.2.3 Análise do sistema AUTO-PLAN

### 6.3 CAPP Grima

#### 6.3.1 A estrutura do sistema

#### 6.3.2 Hierarquia de features

#### 6.3.3 A célula de manufatura

#### 6.3.4 Estratégias de usinagem

#### 6.3.5 Análise do sistema CAPP

#### 6.4 Sistema de Planejamento de Processos de Usinagem

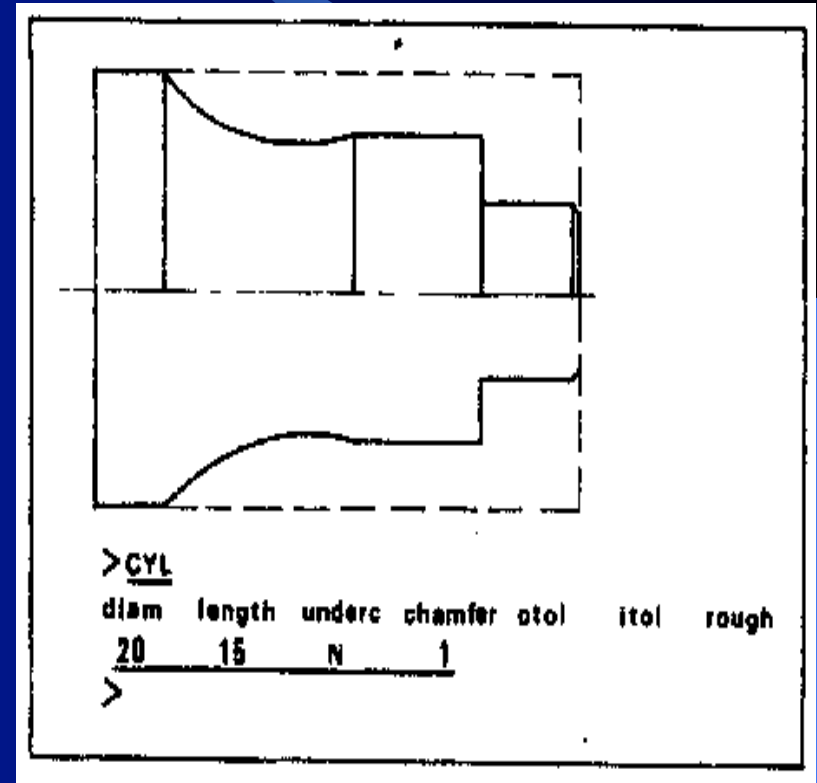
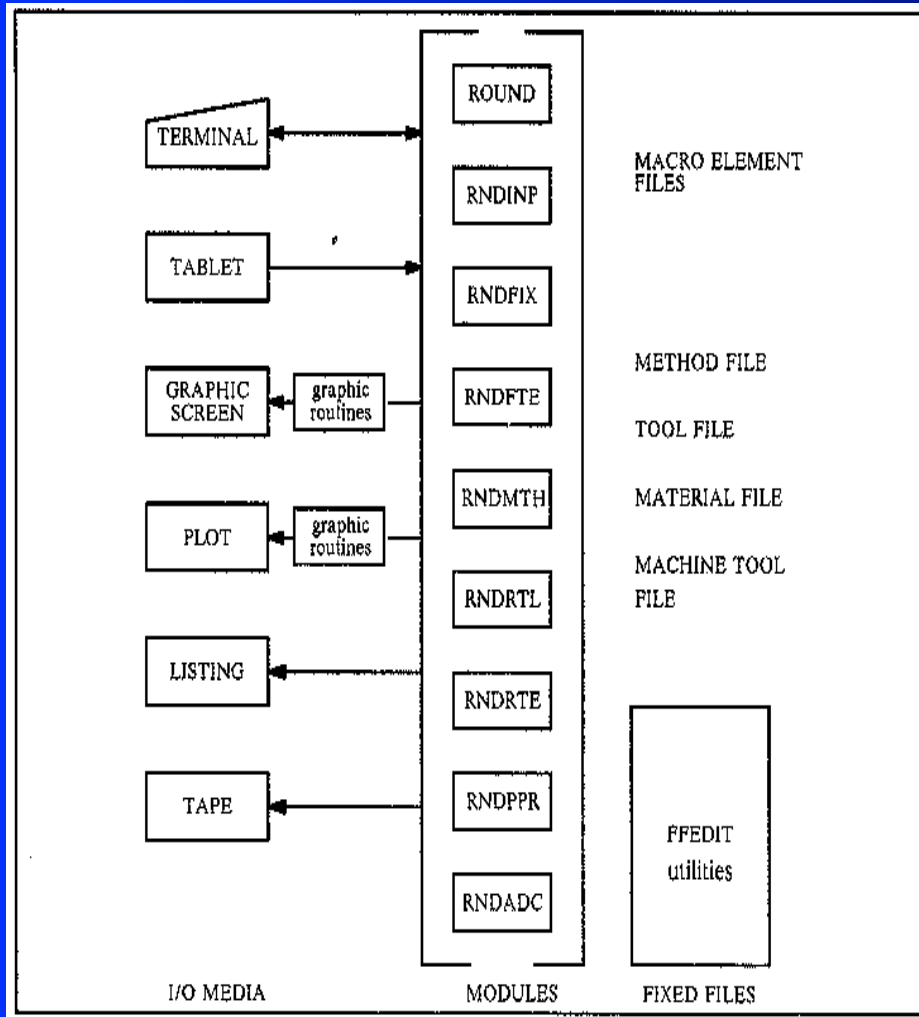
# Sistemas CAPP Voltados Para Operações de Torneamento

- Neste capítulo são apresentadas diversas arquiteturas de sistemas CAPP.
- Abordagem de features e desenvolvidos para operações de torneamento tanto de caráter acadêmico como comercial.
- Sistemas ROUND (HOUTEN, 1991), AUTO\_PLAN e TECHCUT (HUANG, 1988), CAPP Grima (REZENDE, 1996) e Seicos Sigma-sum 10L Multi Control (HITACHI, 2001).

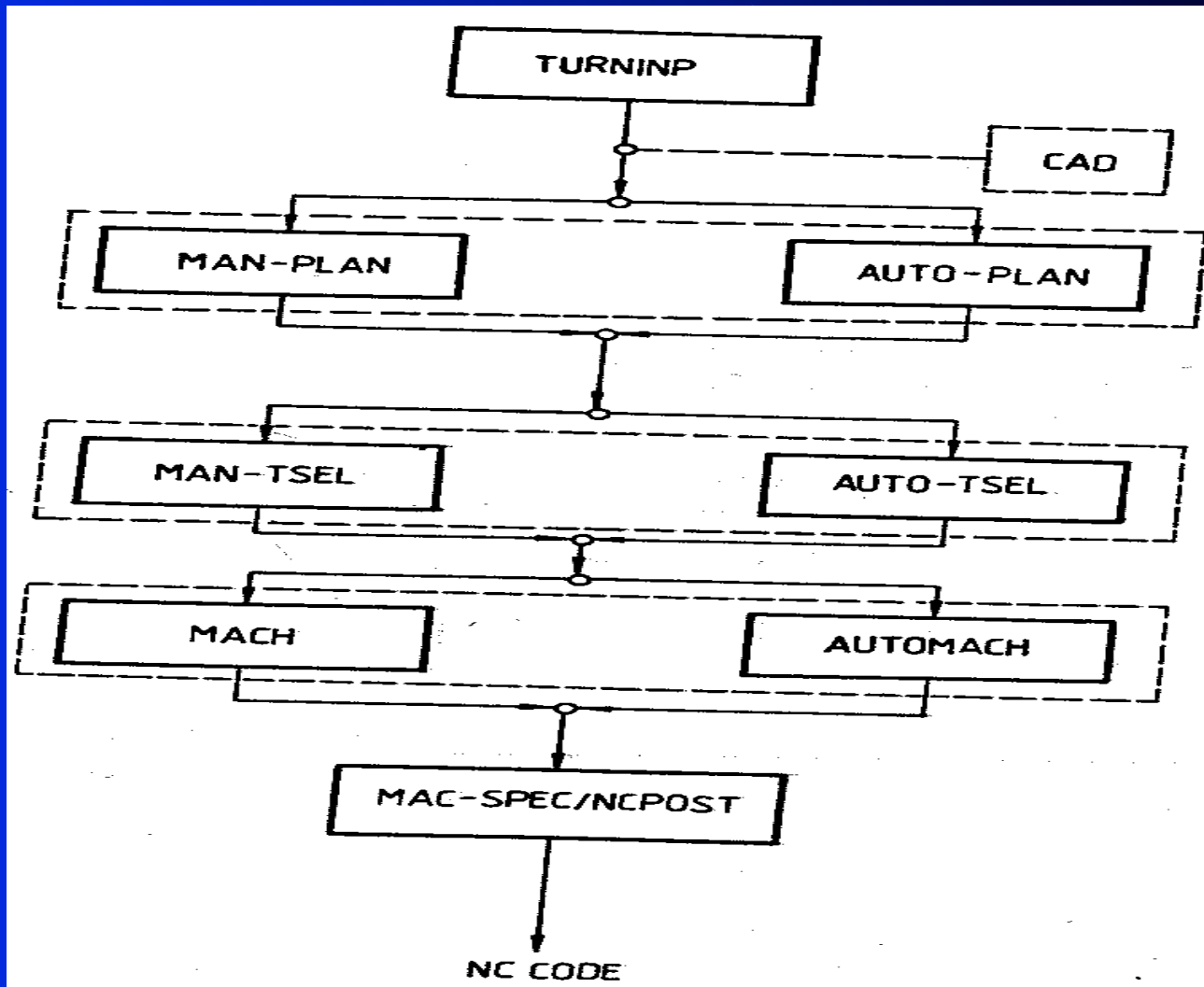
# ROUND – Arquitetura Modular

- especificações geométricas (RNDINP);
- dispositivos de fixação (RNDFIX);
- seleção de ferramentas de corte para operações de acabamento (RNDFTL);
- cálculo de condições de usinagem para operações de acabamento (RNDFTE);
- determinação dos métodos de desbaste (RNDMTH);
- seleção de ferramentas de desbaste (RNDRTL);
- cálculo de condições de corte para operações de desbaste (RNRTE);
- pós-processador (RNDPPR);
- módulo que prepara set-point para sistema de monitoramento do processo (RNDADC).

# ROUND – Arquitertura Modular

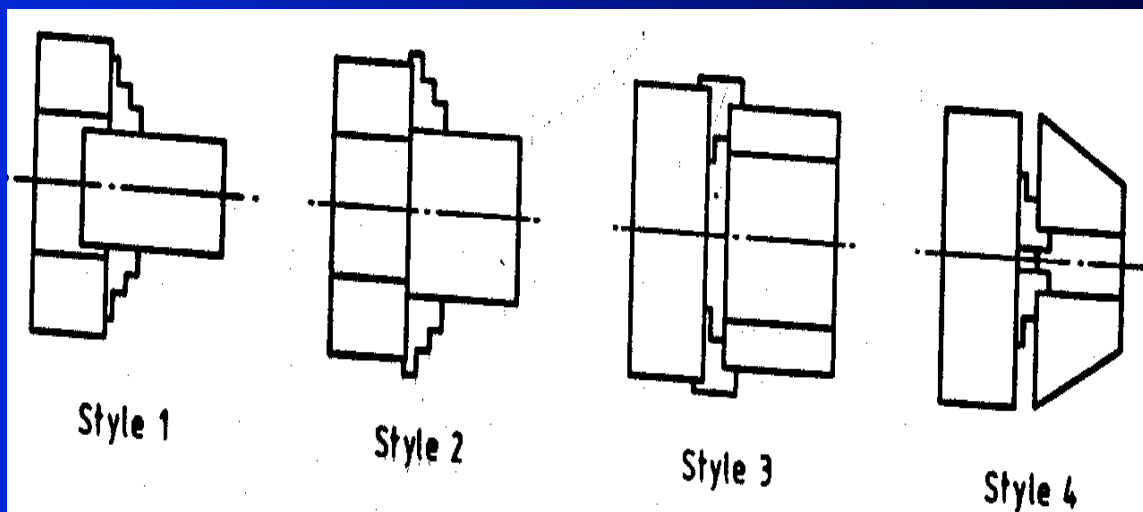
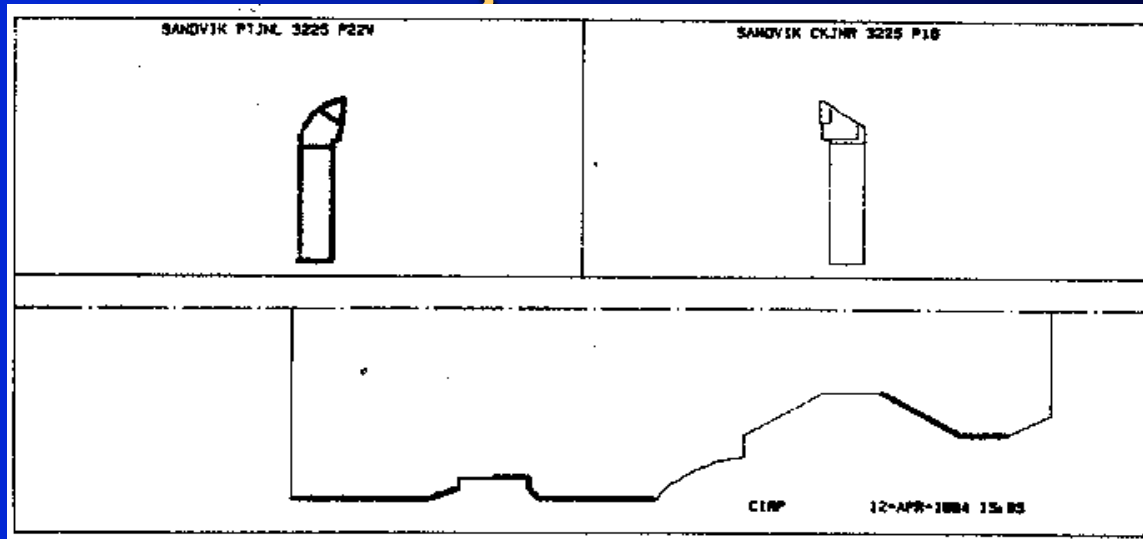


# TECHTURN – Fluxograma

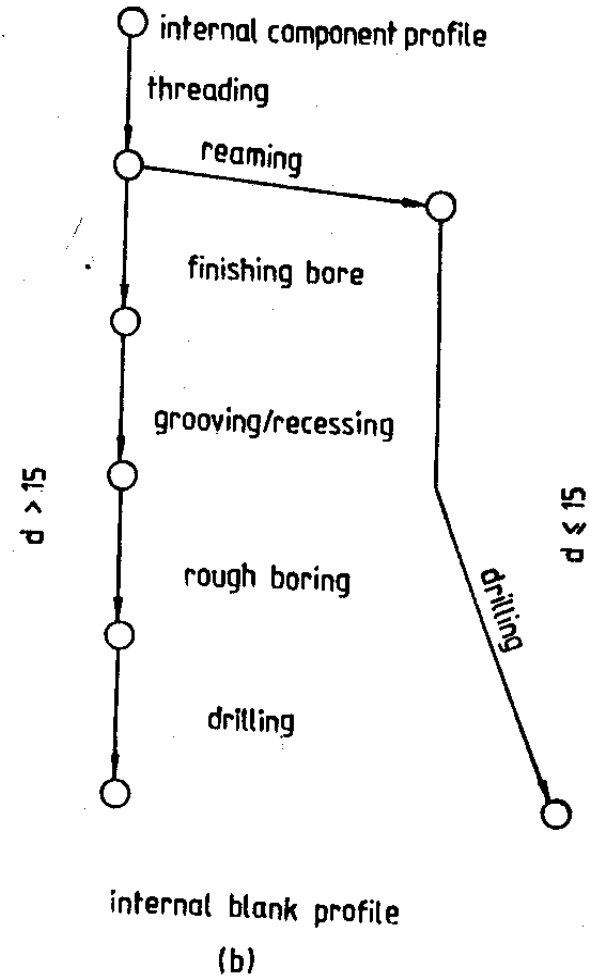
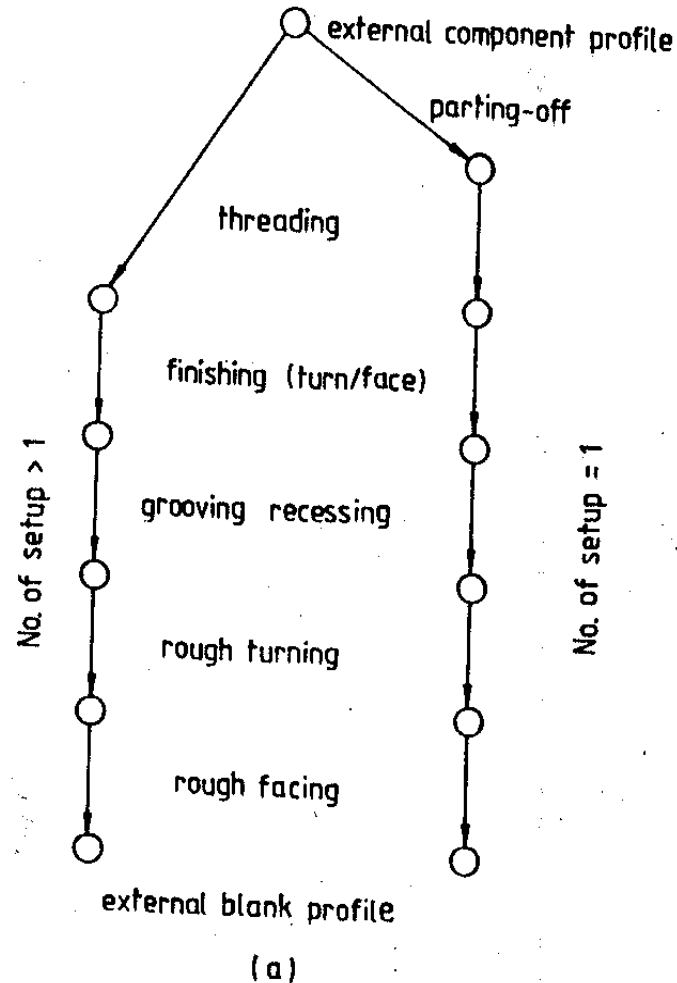




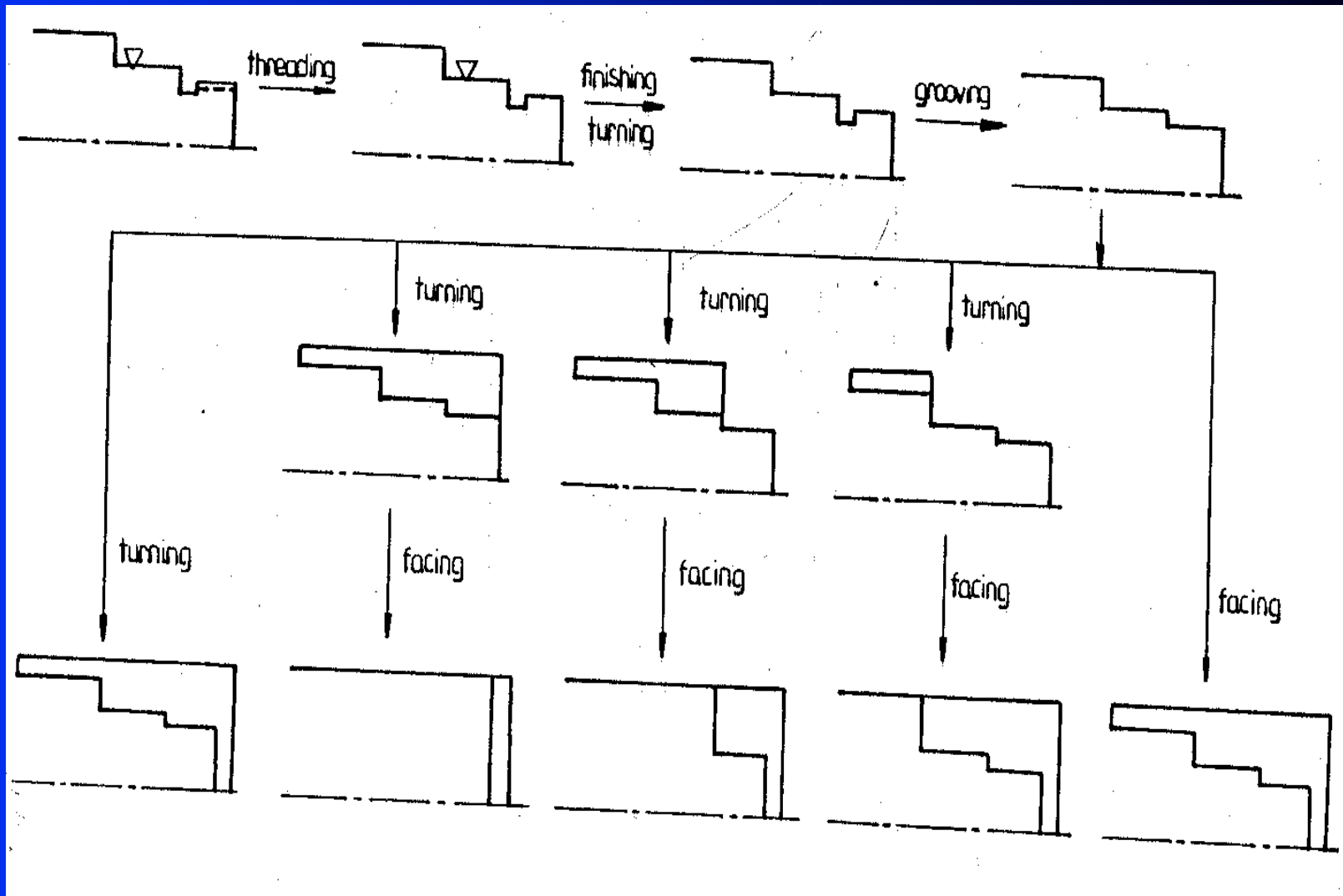
# TECHTURN – Ferramentas e Sistema de Fixação



# TECHTURN – Planejamento de Operações (Árvores de Decisão)



# TECHTURN – Planejamento de Operações (Procedimento A.D.)



# TECHTURN – Seqüência Usinagem

- se tem perfil interno remova a maior quantidade de material possível através de operações de furação;
- desbaste do perfil externo através de faceamento ou operações de torneamento;
- execute as operações de sangramento externo;
- execute operação de furação nas features que não podem ser usinadas por operações de mandrilamento;
- execute mandrilamento de desbaste no perfil interno;
- execute as operações de sangramento interno;
- acabamento dos elementos externos;
- rosqueamento externo;
- alargamento das features que não podem ser usinadas por operações de mandrilamento;
- acabamento do perfil interno;
- rosqueamento interno.

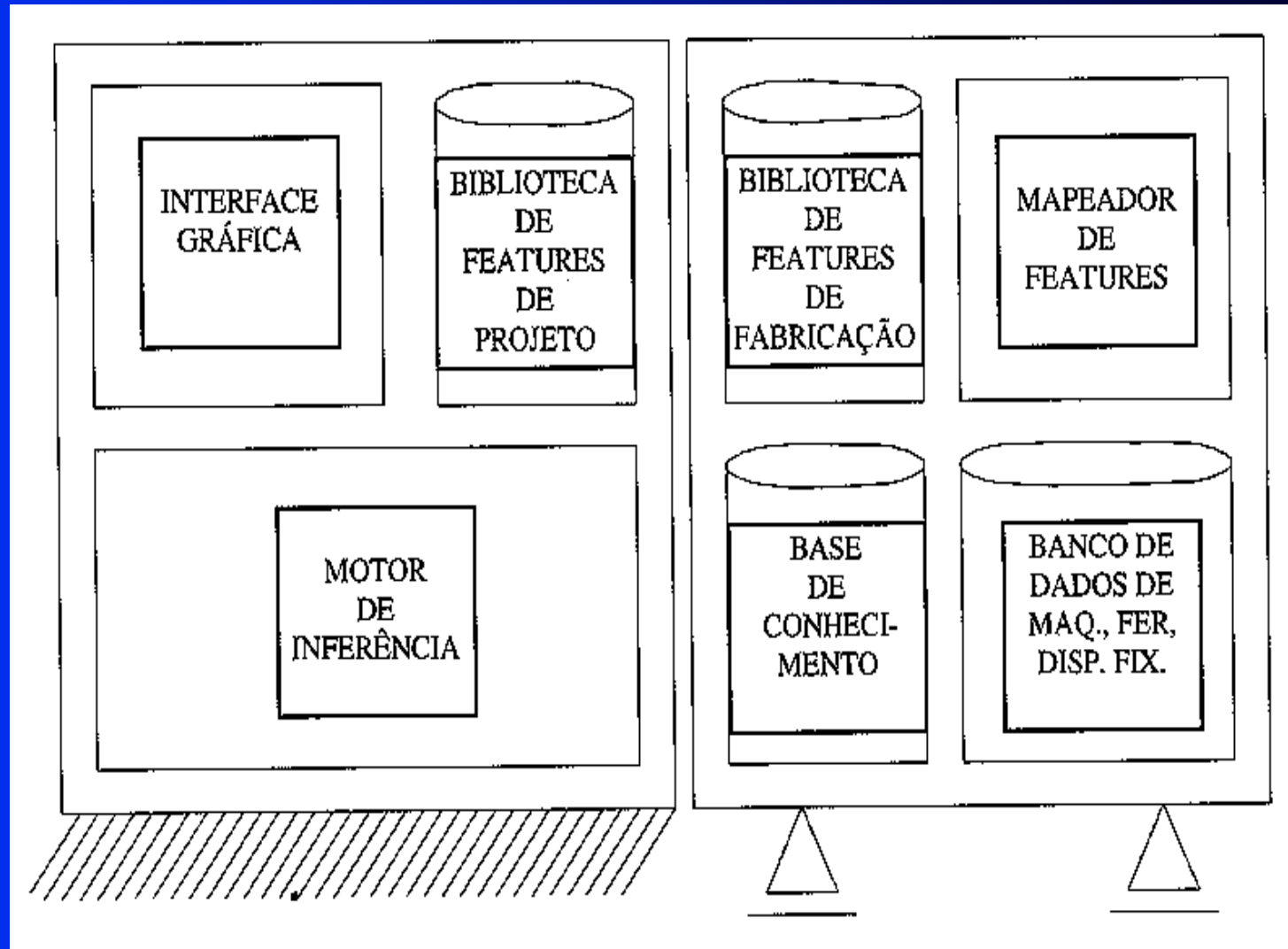
# CAPP Grima

- Executa as seguintes tarefas de forma automática:
  - análise do desenho da peça;
  - seleção de superfícies de referência para a fabricação;
  - seleção de métodos de usinagem;
  - divisão da rota de processo em etapas;
  - seleção de máquinas-ferramentas;
  - seleção de ferramentas de corte;
  - seleção de dispositivos de fixação.

# CAPP Grima – Estrutura do Sistema

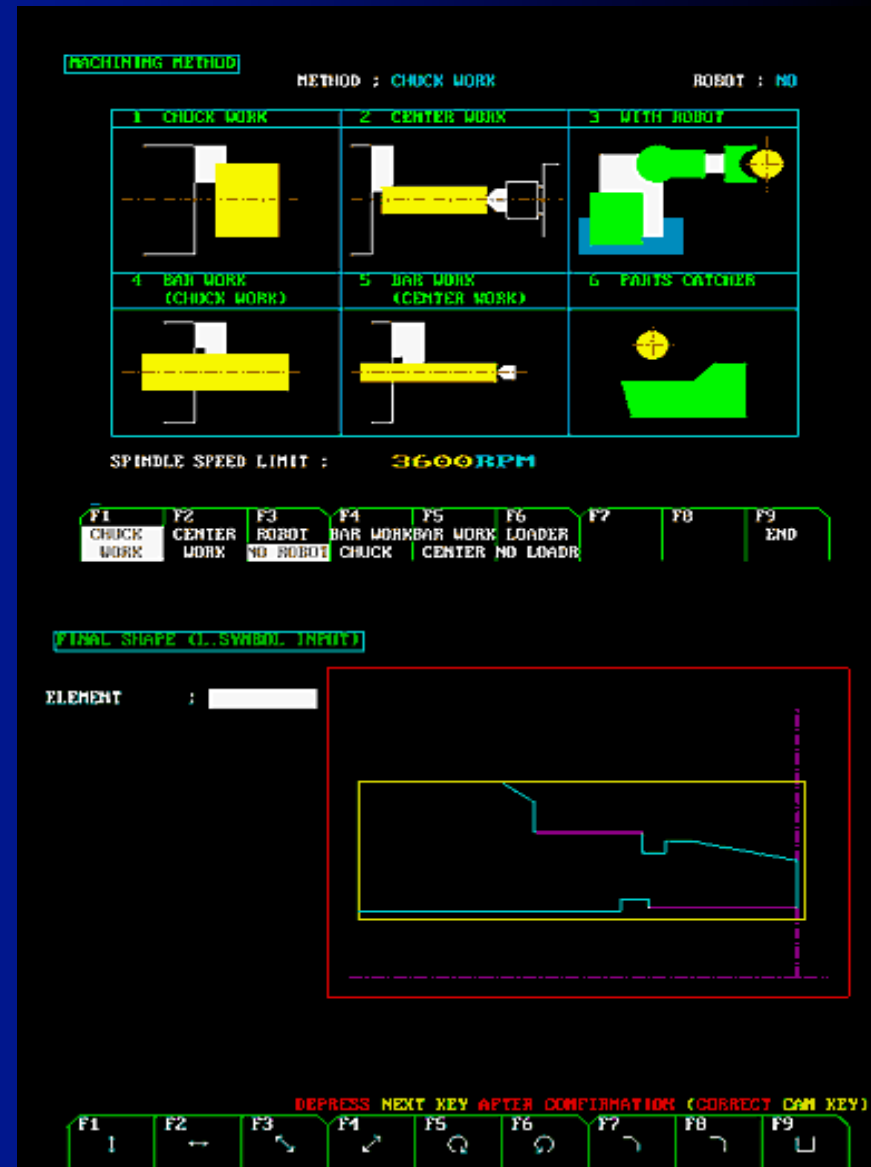
- FASE 1 - Definição do desenho de projeto da peça: criação do desenho de projeto com base na biblioteca de features de projeto (GUI baseada no AutoCAD® + Lisp).
- FASE 2 - Criação de um plano de processos para a peça:
  - transformação de features de projeto em features de fabricação ou mapeamento de features para a criação do desenho de fabricação;
  - atribuição de operações de usinagem a cada feature;
  - seleção da máquina utilizada para cada operação;
  - seleção da ferramenta utilizada para cada operação;
  - seleção do dispositivo de fixação utilizado para cada operação;
  - definição da seqüência de operações.

# CAPP Grima - Arquitetura do Sistema



# Seicos Sigma 10L Multi Control

- Este é um software integrado aos CNCs de centros de torneamento da Hitachi Seiki.
- Consiste em uma interface gráfica (front end) para realizar as atividades de planejamento do processo baseado em features de projeto, fazendo-se a entrada de dados da geometria da peça bruta e da geometria final da peça.





# Lógica de Decisão em CAPP Generativo

## 7. Lógica de Decisão em CAPP Generativo

### 7.1 Árvores de Decisão

#### 7.1.1 Código de Computador

#### 7.1.2 Dados

### 7.2 Tabelas de Decisão

### 7.3 Inteligência Artificial

#### 7.3.1

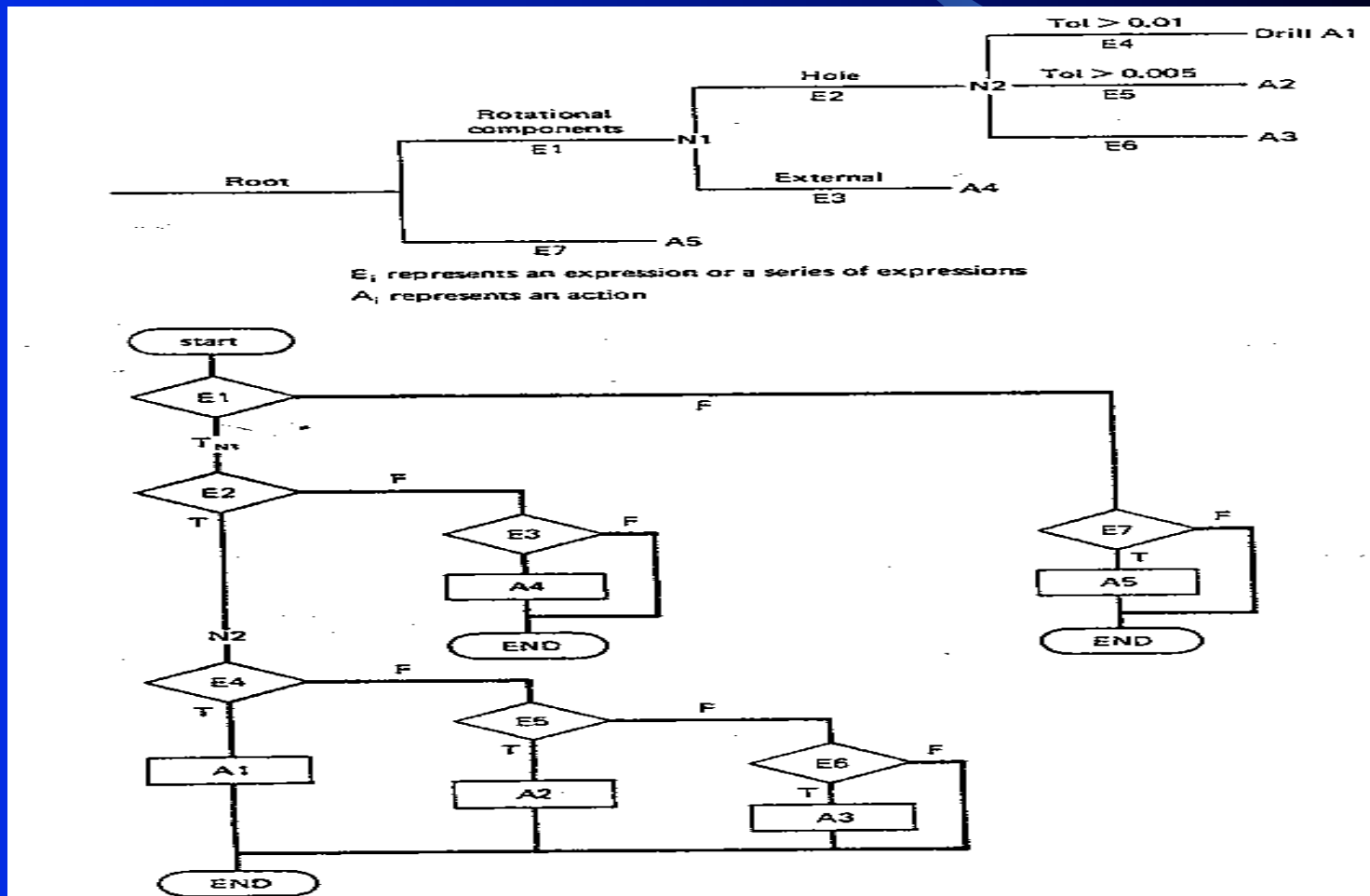
#### Abordagem através de sistemas multi-agentes (MAS)

#### 7.3.2 Sistemas especialistas

### 7.4 Qual Modelo de Tomada de Decisão Utilizar ?

# Árvores de Decisão

- Condições (IF) são colocadas nos ramos da árvore, e ações pré-determinadas podem ser encontradas na junção de cada ramo.



# Tabelas de Decisão

- Pode-se trabalhar com uma tabela de decisão a partir da representação através de árvore de decisão e vice-versa.

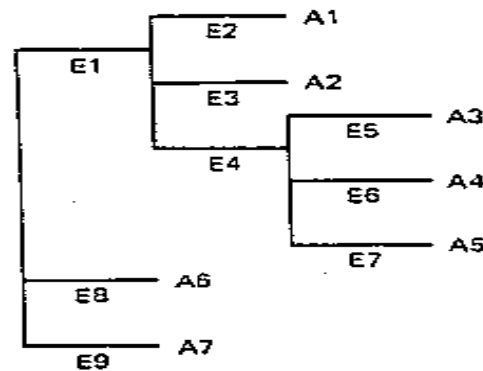
## Expression definition

Q1	Hole diameter ?
E1	$&1 > 0.0$
Q2	True position ?
E2	$&1 \leq 0.002$
E3	$\{&1 \leq 0.01\} . \text{AND} . \{0.002 < &1\}$
E4	$&1 > 0.01$
Q5	Tolerance ?
E5	$&1 \leq 0.002$
E6	$\{&1 \leq 0.01\} . \text{AND} . \{0.002 < &1\}$
E7	$0.01 < &1$
A1	Rapid travel out, true position = 0.01
A2	Finish bore, true position = 0.02
A3	Finish bore, tolerance = 0.01
A4	Semifinish bore, tolerance = 0.02
A5	Drill, diameter = 0
Q8	Slot ?
Q9	Internal thread ?
E8	$&1$
E9	$&1$
A6	Mill
A7	Tap

## Tree structure definition

0	→ OR (E1 E8 E9)
E1	→ AND (E2 E3 E4)
E2	→ A1
E3	→ A2
E4	→ AND (E5 E6 E7)
E5	→ A3
E6	→ A4
E7	→ A5
E8	→ A6
E9	→ A7

## Decision tree



Hole	x	x	x	x	x		
Diameter > 0.0	x	x	x	x	x		
Slot						x	
Internal thread							x
T.P. ≤ 0.002	x						
0.002 < T.P. ≤ 0.01		x					
0.01 < T.P.			x	x	x		
Tol ≤ 0.002			x				
0.002 < Tol ≤ 0.01				x			
0.01 < Tol					x		
Rapid travel out	x						
Finish bore		x	x				
Semifinish bore				x			
Drill					x		
Mill						x	
Tap							x
T.P. = 0.01	x						
T.P. = 0.02		x					
Tol = 0.01			x				
Tol = 0.02				x			
Diameter = 0					x		

# Inteligência Artificial

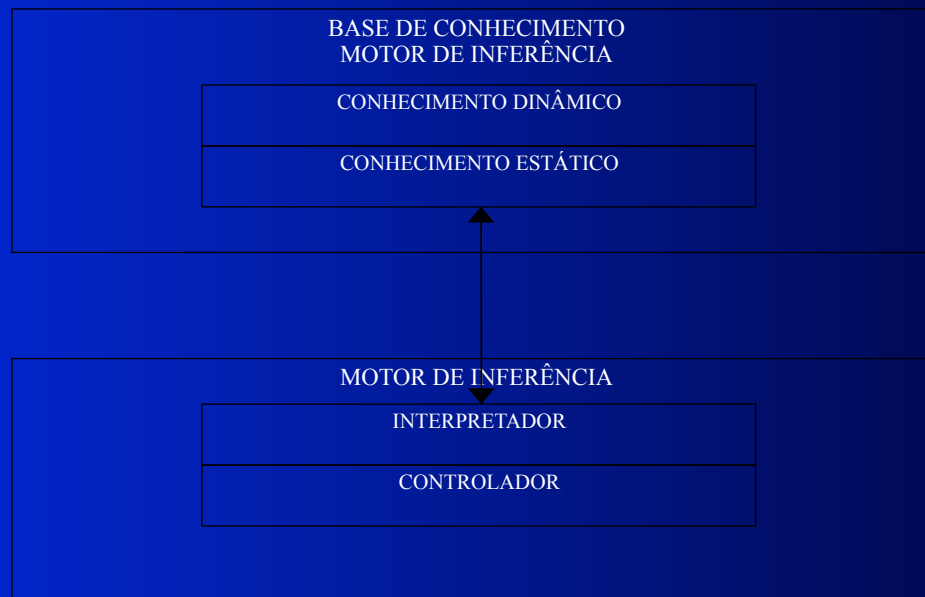
- A maioria dos métodos utilizados na pesquisas de CAPP são baseados em:
  - lógica difusa;
  - ou um mix de métodos usando redes neurais, lógica difusa e sistemas especialistas.
- Algumas aplicações de algoritmos genéticos podem ser achadas.
- Técnica de AI são usadas em funções específicas como seleção de ferramentas de corte, seqüenciamento das operações, reconhecimento de padrões, etc.
- Os próximos desenvolvimento de sistemas de CAPP é a integração de técnicas de AI dentro do campo de inteligência artificial distribuído, como em uma arquitetura computacional baseada em Agentes.

# Sistemas Multi-Agentes (MAS)

- MAS distribui as atividades de planejamento do processo para múltiplos agentes especializados e coordena-os de maneira a obter a solução global.
- O uso de MAS tem mostrado que a inteligência distribuída melhora a eficiência do processo de decisão, sendo que cada agente tem seu próprio conhecimento e é responsável por uma tarefa específica.
- Um agente é uma entidade que pode atuar em um ambiente, comunicar-se com outros agentes e cujo o comportamento é resultado de suas observações, conhecimento e interação com outros agentes.
- Um agente pode ser usado para o modelo de dados (máquinas, ferramentas, dispositivos, etc), como um supervisor, funções matemáticas ou um operador.

# Sistemas Especialistas

- São programas de computador que se utilizam de conhecimento e procedimentos de inferência para resolver problemas bastante complexos que necessitam, para a sua solução, de um conhecimento bastante específico.
- Sistemas especialistas são softwares que procuram imitar a forma de raciocínio de um especialista no assunto, para a solução de um determinado problema.



# Modelo de Tomada de Decisão - Tese

- Arquitetura baseada em sistemas MAS é a mais atrativa.
- Pode-se utilizar diversos tipos de agentes trabalhando cooperativamente e de forma distribuída na resolução dos diversos problemas associados ao planejamento do processo.
- Exemplo, pode-se utilizar um sistema de gerenciamento de base de dados relacional (Matriz de Halevi) (MySQL® ou SQL®) para compartilhar as informações dos recursos disponíveis de manufatura (máquinas, ferramentas, informações de materiais, dispositivos de fixação, etc)
- Ter os agentes como os resolvedores das atividades de planejamento do processo. Os agentes podem ser implementados utilizando diversas abordagens na sua lógica de decisão: sistemas especialistas baseado em regras de produção, lógica difusa, redes neurais, tabelas de decisão, entre outros.

# Planejamento do Processo com Alternativas

## 8. Planejamento do Processo com Alternativas

### 8.1

### Razões para Utilização de Planos de Processo Alternativos

### 8.2 Grafos E/OU (AND/OR)

### 8.3 Redes de Petri

#### 8.3.1

### Modelagem do Planejamento do Processo Através de PNs



# Planejamento do Processo com Alternativas

- O plano de processo para uma peça ou lote deve satisfazer os requisitos de tolerância considerando também o carregamento da máquina e a eficiência do processamento.
- Devido aos aspectos dinâmicos do planejamento do processo que influenciam o comportamento do ambiente, cada plano de processo deve conter alternativas para cada operação.
- Carregamento excessivo de certas máquinas, mudanças constantes nos produtos, mudanças necessárias no processamento entre lotes de fabricação, entre outros, exigem que se tenha planos/métodos alternativos a fim de melhorar a performance do sistema de manufatura, como uma célula ou um sistema flexível de manufatura.
- Abordagens baseadas em Grafo E/OU e Redes de Petri.

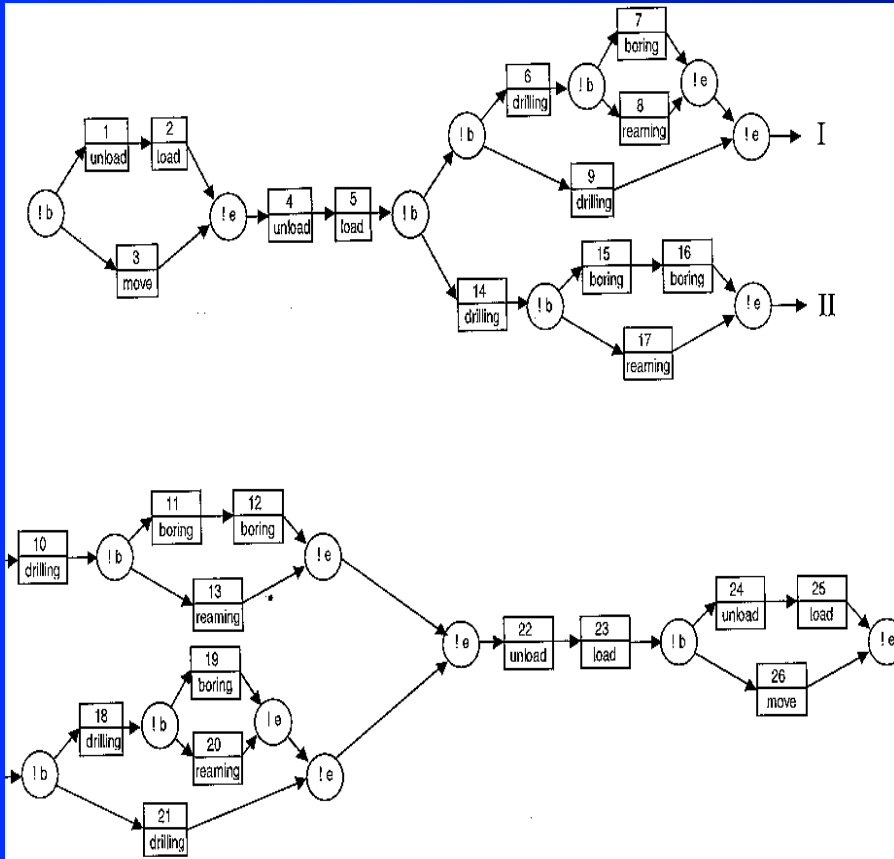
# Planejamento do Processo com Alternativas

- Uma determinada máquina pode estar em manutenção ou pode estar ocupada fabricando outra peça ou um lote.
- A indisponibilidade de uma determinada ferramenta de corte no magazine da máquina especificada, pode ser substituída por uma ferramenta alternativa especificada no planejamento do processo com alternativas.
- O tamanho do lote pode influenciar a escolha da operação. Para pequenos lotes uma certa operação pode resultar em um tempo de fabricação menor. Por outro lado para lote com quantidade maior outra operação pode ser mais apropriada para diminuir o tempo de fabricação, até mesmo se operações posteriores necessitarem de setup de uma nova ferramenta.

# Grafo E/OU (AND/OR)

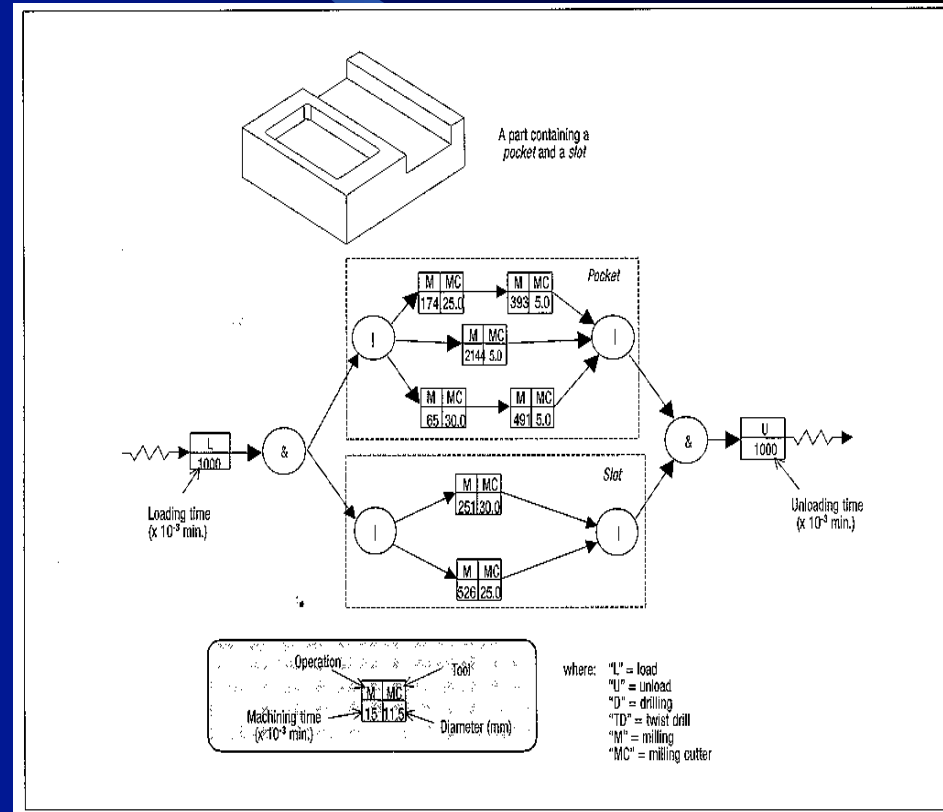
- Grafos E/OU são uma excelente forma de representação de planos de processos com alternativas pois o grafo mapeia com grande refinamento uma estrutura para representar o plano de processo.
- Um nó AND/E ("&") significa que todos os caminhos possíveis nos ramos devem ser seguidos, mas a seqüência pode ser qualquer.
- Um nó OR/OU ("|") significa que um dos caminhos originário deste nó deve ser escolhido. Informações detalhadas são apresentadas em cada nó do grafo (por exemplo: operação, ferramenta, diâmetro da ferramenta e tempo de usinagem) para melhor entendimento do conteúdo do plano de processo. Outras informações podem ser incluídas como fixações e máquinas.

# Grafo E/OU (AND/OR)



Process plan string:

((((1 2 \*) 3 I) 4 5 (((((6 (7 8 I) \*) 9 I) 10 (((11 12 \*) 13 I) \*) (14 ((15 16 \*) 17 I) ((18 ((19 20 I) \*) 21 I) \*) I) 22 23 ((24 25 \*) 26 I) \*)



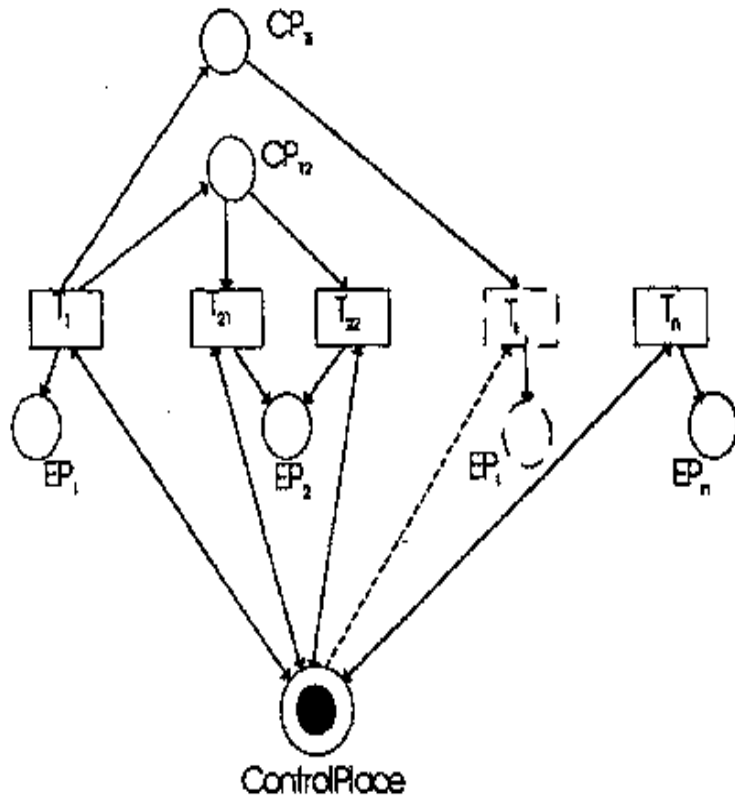
# Redes de Petri

- A representação de planos de processos não lineares :
  - monta-se uma tabela (tabela de usinagem) onde as operações de usinagem estão associadas com as entidades de projeto (superfícies e features de manufatura) e os relacionamentos de precedência são estabelecidos;
  - constrói-se a PNs baseados nos dados da tabela de usinagem;
  - determina-se na PNs todas as possíveis soluções dos planos de processos construindo um grafo de exeqüibilidade representando todas as possibilidades.
  - aplica-se um método heurístico para reduzir o tamanho do grafo de exeqüibilidade e determina-se a solução ótima.

# Redes de Petri - Regras Modelagem

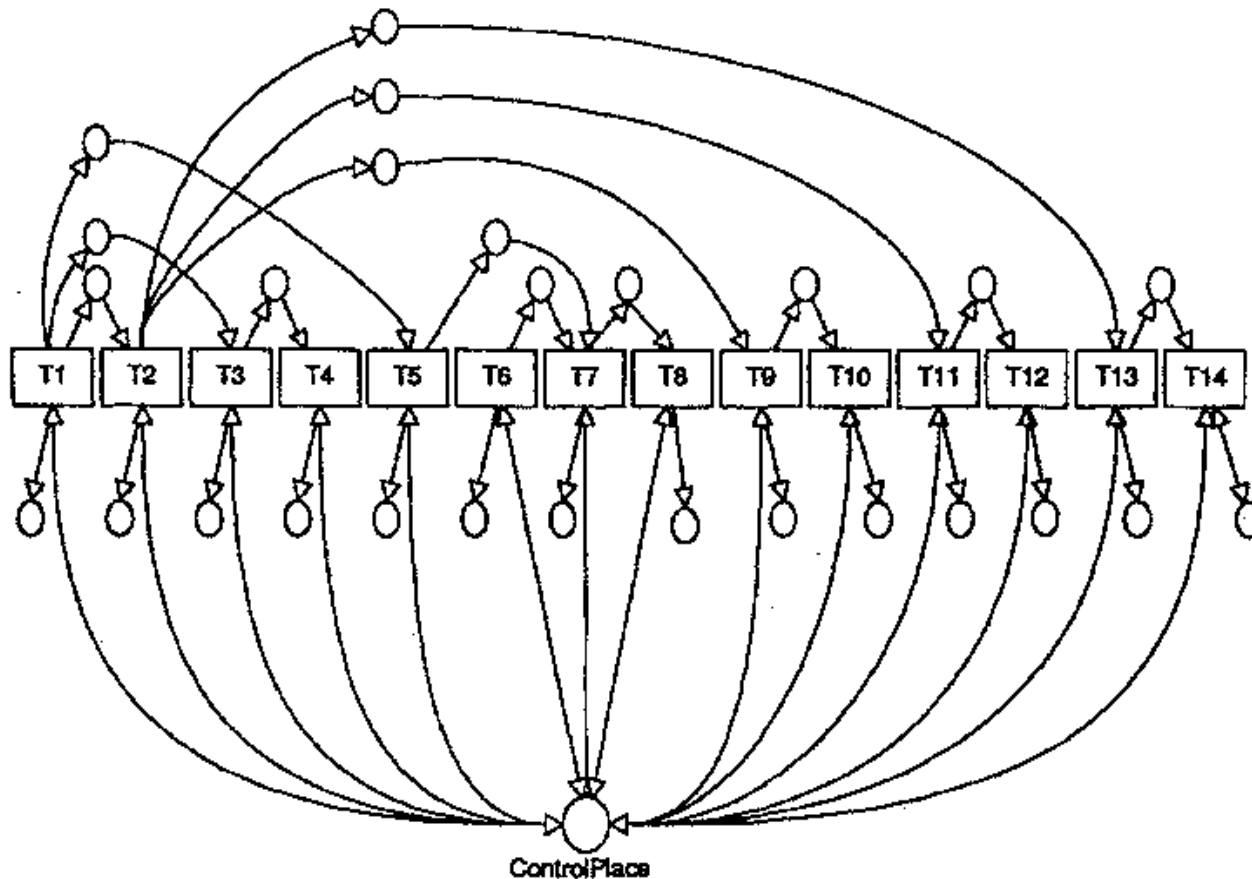
- Cada operação de usinagem é representado por uma transição  $T_i$  ( $i=1, \dots, n$ ).
- Operações de usinagem alternativas para uma features são representadas por transições  $T_{ij}$  usando o mesmo lugar de entrada e saída.
- Existem um lugar (ControlPlace) de entrada/saída comum com um token inicial (marcação inicial) para todas as transições.
- Para cada transição  $T_i$  é criado uma lugar de saída sem transição sucessora. Este lugar-fim  $EP_i$  após receber um token da transição correspondente faz o disparo indicando que esta transição tem realmente sido disparada e não pode ser disparada novamente.
- Para cada transição sucessora  $T_m$  de uma transição  $T_i$  é criado um lugar de saída  $CP_{im}$  de  $T_i$  o qual é um lugar de saída para a correspondente transição sucessora  $T_m$ . Este tipo de lugar representa o tipo de conhecimento dado por uma precedência de relacionamento de restrição.
- Todos os arcos tem peso um.

# Redes de Petri - Regras Modelagem



	Preparation	Rough	1/2-Finish	Finish	Post-finish
Face 1		MillFAC1			
Step 1		MillSTP1			
Slot 1		RoughSLT1		FinSLT1	
Pocket 1		RoughPOC1		FinPOC1	
Pocket 2		RoughPOC2		FinPOC2	
Hole 1					
Hole 2	CenterHOL1	DrillHOL1			
Hole 3					
Hole 4	CenterHOL2	DrillHOL2			
Hole 5					
Hole 6	CenterHOL3	DrillHOL3			
Hole 7					

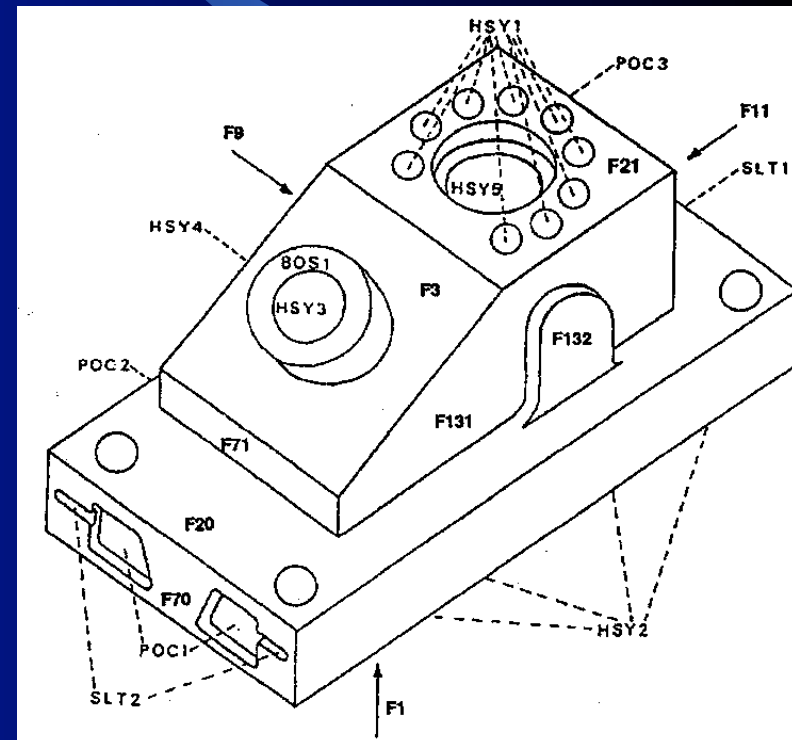
# Redes de Petri - Exemplo





# Redes de Petri - Exemplo

No.	Operation	Tool	Axis position	Table position
1	MillFAC1	TOOL1	0	0
2	MillSTP1	TOOL2	0	0
3	RoughSLT1	TOOL3	0	0
4	RoughPOC1	TOOL3	0	0
5	RoughPOC2	TOOL3	0	0
6	CenterHOL1	TOOL6	0	0
7	CenterHOL2	TOOL6	90	90
8	CenterHOL3	TOOL6	90	270
9	DrillHOL3	TOOL8	90	270
10	DrillHOL2	TOOL8	90	90
11	DrillHOL1	TOOL7	0	0
12	FinSLT1	TOOL4	0	0
13	FinPOC1	TOOL5	0	0
14	FinPOC2	TOOL5	0	0



# Implantação Infra-Estrutura no Grima

- Com o intuito de viabilizar o desenvolvimento das atividades definidas no plano de doutorado foi necessário implantar uma infra-estrutura computacional mínima no laboratório do Grima através da instalação e configuração de uma estação de trabalho baseado no sistema operacional Linux para arquitetura 386.
- Foi feita a instalação de uma distribuição Linux em um computador Pentium III e configurado uma série de serviços (ftp, http, ssh, mysql, tomcat servelets, xdm, lpd) para trabalharem em uma arquitetura cliente/servidor e que serão utilizados no desenvolvimento da tese.

# Conclusão

- Esta disciplina foi de grande validade para o desenvolvimento do tema de doutoramento
- Foi possível estudar e consultar uma grande quantidade de referências sobre planejamento do processo com um profundo detalhamento sobre as atividades a serem realizadas pelo processista em uma abordagem manual até a utilização de sistema de planejamento do processo auxiliados por computador, principalmente os CAPP ditos generativos e baseados em features.
- As várias atividades a serem realizadas no planejamento do processo e os métodos, algoritmos e lógicas de decisão utilizados na resolução destes problemas foram pesquisados e relacionados.

# Conclusão

- Este estudo servirá de base para a definição da metodologia e arquitetura a ser desenvolvida para tese de doutorado.
- A tendência atual é utilizar arquiteturas baseadas em sistemas multi-agentes (MAS);
  - utilização de técnicas de representação do conhecimento como sistemas especialistas;
  - sistemas distribuídos, redes de computadores baseados no protocolo TCP/IP;
  - base de dados relacional para compartilhamento de informações (máquinas, ferramentas, dispositivos de fixação, bibliotecas de features, etc);
  - modelagem baseada em features, modelagem de sólidos através de ACIS, entre outros.

# Conclusão

- A próxima disciplina permitirá o estudo da integração de CAD/CAPP/CAM voltada para internet tendo como referência o sistema CyberCut da Universidade de Berkeley e outros sistemas desenvolvidos no mundo.
- A disciplina atual permitiu que se adquirisse um profundo conhecimento dos aspectos voltados ao CAPP.
- Com a análise efetuada nos sistemas de CAPP apresentados na literatura foi possível conhecer como se processa a tomada de decisão para resolver os complexos problemas relacionados ao planejamento do processo, que como já foi dito, cada decisão tomada impoem uma série de restrições para as decisões a serem tomadas posteriormente.