

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PAULO ROBERTO NEGRATO FILHO

PLANEJAMENTO DE UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO USANDO CAPP



Trabalho apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção de título de
graduado em Engenharia Mecânica

Engenharia Mecânica

Orientador:
Prof. Dr. Edson Gomes

São Paulo
2002

Escola Politécnica da Universidade de São Paulo

PAULO ROBERTO NEGRATO FILHO

PLANEJAMENTO DE UM PROCESSO DE FABRICAÇÃO USANDO CAPP

**Trabalho apresentado à Escola
Politécnica da Universidade de São
Paulo para obtenção de título de
graduado em Engenharia Mecânica**

Engenharia Mecânica

**Orientador:
Prof. Dr. Edson Gomes**

**São Paulo
2002**

RESUMO

Neste trabalho, apresenta-se uma proposta de implantação de um planejamento de processos de fabricação usando um programa simples desenvolvido em linguagem Pascal. A abordagem é parcial, ou seja, apenas algumas etapas do planejamento dos processos foram automatizadas, quais sejam, as de mais fácil implementação computacional e as que representam maior dificuldades para serem realizadas manualmente.

Num primeiro momento, apresentam-se as bases teóricas e técnicas utilizadas na geração do código do programa. Para tanto, traçam-se as bases do planejamento de processos auxiliado por computador e conceitos importantes relacionados ao planejamento de processos de fabricação, como seleção das máquinas, escolha dos parâmetros de corte, seleção dos dispositivos de fixação, etc.

Logo depois, descrevem-se, resumidamente, parte dos dados técnicos utilizados na criação dos bancos de dados do programa. Nessa parte do trabalho, as tabelas utilizadas são apresentadas e é dada pequena amostra de como foi criado o banco de dados relativo àquela informação e também é delineado o método utilizado para trabalhar com a mesma.

Após a apresentação desses dados, parte-se para a proposta da peça a ser fabricada e, com ela, as características do projeto (tolerâncias macro e micro-geométricas, tamanho do lote, material, etc). Descrevem-se, ainda, todos os passos para a realização dos planos de processo a partir dos dados de entrada do problema.

Por último apresentam-se, por meio de uma tabela, os dados da simulação realizada pelo programa para algumas condições de entrada, em que se pode constatar as vantagens da implantação de um sistema automatizado de planejamento de processos comparativamente ao sistema manual.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO.....	01
2. O PLANEJAMENTO DE PROCESSO AUXILIADO POR COMPUTADOR.....	04
2.1 OS BANCOS DE DADOS TECNOLÓGICOS.....	05
2.2 VANTAGENS DO CAPP.....	08
3. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS	12
3.1 PARÂMETROS RELEVANTES.....	13
3.2 A ESCOLHA DO PROCESSO DE USINAGEM.....	15
3.3 PLANEJAMENTOS DE PROCESSO E PRODUÇÃO.....	16
3.4 A ANÁLISE DA PEÇA A SER FABRICADA.....	17
3.5 O AGRUPAMENTO DOS PROCESSOS EM CONJUNTOS.....	18
3.6 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS.....	19
3.7 SEQUENCIAMENTO DE OPERAÇÕES.....	20
3.8 ANÁLISE FUNCIONAL DE DESENHOS TÉCNICOS.....	23
3.9 DIMENSIONAMENTO E TOLERANCIAMENTO DA PRODUÇÃO.....	24
3.10 SELEÇÃO DOS PROCESSOS PRIMÁRIOS.....	25
3.11 ANÁLISE GERAL DE ERROS DE POSICIONAMENTO.....	26
3.12 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES.....	29
3.13 SELEÇÃO DA FORMA DO INSERTO E TIPO DE SUPORTE.....	32

4. METODOLOGIA EMPREGADA.....	34
5. O PROJETO.....	40
6. MODELO E IMPLEMENTAÇÃO DOS PARÂMETROS.....	44
6.1 MODELO DE CUSTO.....	44
6.2 MODELO DE RUGOSIDADE SUPERFICIAL.....	45
6.3 MODELO DE TOLERÂNCIAS.....	48
6.4 MODELO DE EQUIVALÊNCIA.....	50
6.5 MODELO DE AVANÇO E PROFUNDIDADE DE CORTE.....	53
6.6 MODELO DE SELEÇÃO DO INSERTO.....	57
6.7 MODELO DE OUTROS PARÂMETROS DE CORTE.....	58
6.8 MODELO DAS MÁQUINAS E FERRAMENTAS.....	61
7. RESULTADOS OBTIDOS.....	64
8. CONCLUSÃO.....	65
9. BIBLIOGRAFIA.....	67



1 INTRODUÇÃO

Neste trabalho, apresentaremos a implementação do planejamento de processo auxiliado por computador à criação dos planos de processos de determinadas peças. O nível de detalhamento aqui observado não será, evidentemente, o mais completo, visto que, além de isto requerer informações de processos não disponíveis (mais específicos), não é o objetivo deste trabalho acadêmico.

Primeiramente, devemos lembrar que o objetivo de qualquer processo de manufatura é transformar uma idéia num produto que possa ser vendido. Neste contexto, o planejamento de processo é um elo importante no ciclo de manufatura.

As funções do **planejamento do processo** são selecionar e definir os processos a serem executados em uma peça de maneira econômica, de acordo com as especificações do projeto, verificando as condições de venda (como volume de vendas e prazos).

O documento resultante do planejamento do processo, conhecido como **plano de processo**, é a base para se realizar o planejamento da produção e serve como referência à produção propriamente dita. Por isso é que se considera o planejamento do processo como o elo de ligação entre o projeto e o planejamento da produção e também o chão-de-fábrica.

O desenvolvimento de um plano de processo inicia-se, geralmente, a partir de um desenho do produto. A partir das informações de projeto, o **processista** passa a seqüenciar as operações. Em uma fase posterior, essas operações são detalhadas, sendo que o nível de detalhe depende das características da empresa.

Há até poucos anos atrás, o processista documentava o plano de processo utilizando a forma manuscrita e, em alguns casos, digitava em sistemas PCP



(Planejamento e Controle da Produção). Esta forma de planejar o processo de fabricação continua sendo empregada em várias empresas de manufatura.

Contudo, este modo de planejamento possui uma **baixa produtividade**, pois 63% do tempo é gasto com a redação do plano. Junto a isto, o tempo utilizado em cálculos diversos e em recuperação de informações totalizam 29% , ou seja: 92% do tempo é empregado em funções que não agregam valor diretamente, e apenas 8% é utilizado em funções como concepção e análise.

Nesse contexto, nos últimos 30 anos, ocorreram muitos avanços no desenvolvimento de planejamento de processos **automatizados** de fabricação. Isso deve-se, em grande parte, à acentuada queda no preço dos computadores, que se tornaram menores e de mais fácil aquisição.

Sistemas CAPP são usados em processos de usinagem, estampagem, montagem mecânica e soldagem, entre outros. As abordagens são, em geral, **parciais** quanto à solução do problema, com critérios variados na busca da solução. Isso quer dizer que apenas algumas etapas são automatizadas, quais sejam, as de mais fácil implementação computacional e que requereriam muito tempo para serem realizadas manualmente. E é isso que será feito neste trabalho.

A função de planejamento de processo numa indústria, por sua vez, diz respeito à definição dos parâmetros das atividades de manufatura a partir do desenho do produto e das restrições **estratégicas** da empresa e do mercado, tais como necessidades de materiais, planejamento e cálculos de capacidade, informações para controle de fábrica, padrões de desempenho e rendimento, etc.

Podemos dizer, diante do exposto, que o planejamento de processo é a *determinação sistemática de métodos detalhados pelos quais peças ou partes de um conjunto maior podem ser fabricados econômica e competitivamente desde estágios iniciais (na forma de material bruto) até estágios finais (na forma de produto desejado)*.



As atividades desempenhadas no planejamento do processo sofrem uma variação enorme de empresa para empresa, pois cada uma possui um padrão de documentação e uma lógica de trabalho que depende dos costumes da empresa e característica dos produtos. Logo, as funções desempenhadas pelos técnicos de processos de uma empresa variam bastante. Tentaremos aqui, gerar um software geral, simplificado, sem levar em conta as especificidades de cada caso concreto.

Concluindo de todo o exposto acima, a **tarefa fundamental** do planejamento de processo é realizar o chamado plano de produção ou de processo, que contém as descrições do processo completo de fabricação, com as máquinas, operações, tempos e ferramentas com as devidas regulagens. Para tanto, o setor de planejamento executa desde a avaliação da necessidade da aquisição de máquinas, via relatório de carga máquina, a qual é uma folha de cálculo para verificar a **capacidade da máquina** em relação ao programa de vendas ou produção, até o estudo de sua disposição na fábrica, projeto de dispositivo, ferramentas e outros meios de produção, estimativas de tempos a priori e a posteriori da sua aquisição, etc.



2. O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS AUXILIADO POR COMPUTADOR.

Basicamente, existem três tipos de sistemas CAPP, ou seja, que se valem de algum nível de automação para realizar os planos de processos. São eles:

1. Interativo - O CAPP Interativo confecciona um plano de processo de uma peça pela primeira vez a partir de uma "folha em branco". Este tipo de sistema CAPP é bastante utilizado onde os planos de processo não possuem dados semelhantes que permitam o reaproveitamento de informações.

O sistema CAPP Interativo possui uma característica de permitir a geração de qualquer plano de processo, porém o **tempo** de sua confecção não é muito satisfatório. Um aumento da produtividade e qualidade deste tipo de sistema CAPP acontece através da utilização de padrões de planejamento, tais como operações padrão e cadastro de recursos padrão.

2. Variante - Um sistema variante permite encontrar e copiar um plano **semelhante**, para servir de base para o novo plano de processo de uma nova peça. Este plano pode ser obtido a partir de um produto com geometria próxima à do produto original ou através da parametrização de planos de produtos semelhantes em famílias. Com isso, consegue-se uma padronização maior dos planos de processos e uma elevada velocidade de geração de planos de processo.

As alterações ou ajustes nos planos de processos podem ser realizados utilizando o sistema CAPP Interativo. Neste ponto, é importante ressaltar a necessidade de se atualizar os planos através de padrões de planejamento, pois assim a consistência da seqüência de operações é mantida para apoiar futuras **reutilizações** dos planos.



3. Automático - O sistema CAPP automático gera um plano de processo a partir do reconhecimento de features e do processamento de regras ou algoritmos baseados nos features. Os **features**, de maneira simplificada, podem ser considerados como a descrição técnica e geométrica de regiões de um produto, normalmente provinda de um sistema CAD.

Este tipo de sistema pode gerar informações de alta precisão numa velocidade bastante elevada. Entretanto, tais sistemas são difíceis de serem abrangentes. Sua aplicação é mais viável em indústrias com itens muito semelhantes e normalmente de baixa complexidade.

Um grande problema desta solução é o seu **tempo de implantação** elevado e a dificuldade de se levantar a "Inteligência" (regras) do sistema automático. Além disso, essa "Inteligência" deve ser flexível para se ajustar às constantes alterações de ferramentas, projetos e materiais dos produtos, novas máquinas e técnicas de produção.

2.1 OS BANCOS DE DADOS TECNOLÓGICOS

Um **sistema de informações** para o planejamento de processos e também para o CAPP corretamente projetado, deve ser capaz de utilizar informações e fornecer serviços de especificação de ferramental, de análise e determinação do desempenho global das unidades de fabricação, de determinação das máquinas a serem utilizadas, de levantamento das estatísticas de manutenção dessas máquinas, de programas de robôs e máquinas CNC, de sequenciamento de processo, de parâmetros desses processos, das formas de arranjo físico das máquinas, etc..

Essas informações são organizadas, em geral, através de **bases de dados** (BO) ou de informações. As questões mais importantes a serem feitas antes de se começar a projetar essa BO são: "quem" vai usar o BO, "quando" e "para que".



Observe que "quem" pode ser qualquer sistema, máquina ou operador/administrador humano, "quando" implica em qual seqüência e se é em tempo real ou off-line, e "para que" pergunta em quais aplicações o dado ou informação será utilizada.

Antes, porém, de tratar da questão da geração e armazenamento de dados em sistemas CAPP, deve-se citar as estruturas de BO que lhes são auxiliares e, até mesmo, imprescindíveis, como as chamadas BO para a estrutura do produto.

Nesta BO, cada peça componente dos produtos de uma empresa tem seus dados cadastrados, dados esses importantes para a composição da necessidade da matéria-prima e origem de sua obtenção, dados de tecnologia de grupo, dados qualificadores e especificadores de cada peça, features, dados quanto à situação da peça (se é produzida, descontinuada ou anulada), etc.

Assim, numa empresa que possua integração entre as suas diversas atividades, a existência de um sistema de BO como o citado torna-se necessário para a execução do planejamento de processo automático, vinculando as suas informações àquelas necessárias para a determinação do processo de fabricação de maneira correta.

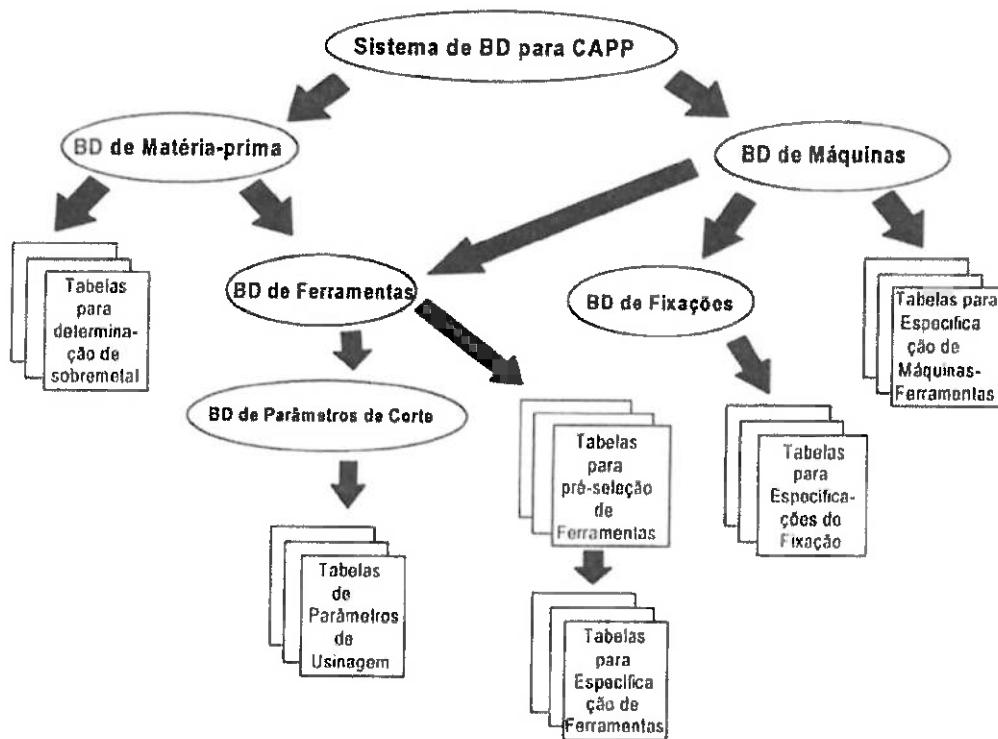
Após a geração do plano de processo por um sistema CAPP, essa informação, por sua vez, deverá poder ser utilizada por outros sistemas da empresa, tal como a área de produção, contabilidade (cálculo de custos), programação de produção e o próprio planejamento.

Os meios de acesso e de consulta rápidos e amigáveis são outros pré-requisitos. A forma de armazenamento através dos campos identificados da maneira correta (via relacional, hierárquica ou em rede) visando se tornar comum tanto à área de projeto como à de processo, à de programação, e à de produção, com a seleção de informações através de níveis hierárquicos, é outro requisito indispensável para a integração da manufatura.



Dentre os vários sub-BDs possíveis aí encontram-se os BD de:

- ✓ matéria-prima;
- ✓ máquinas-ferramentas (avanços, rotações, potências, dimensões disponíveis);
- ✓ ferramentas (geometria, materiais, fabricantes);
- ✓ fixações;
- ✓ dispositivos;
- ✓ meios de controle de qualidade;
- ✓ seqüência de processos;
- ✓ parâmetros de processos;





2.2 VANTAGENS DO CAPP

As características do planejamento de processo convencional, que dependem da experiência do processista, resultam em problemas que podem ser resolvidos pela aplicação do computador. As informações produzidas pelo **CAPP**, sigla que significa **Computer-Aided process planning**, tornam-se padronizadas, eliminando-se a inconsistência de planos obtidos por processistas diferentes.

A **qualidade da documentação** enviada ao chão-de-fábrica eleva-se também, garantindo o domínio do processo. Em relação ao processo manual, o sistema CAPP tem as seguintes vantagens:

1. **Racionalização do Processo:** o plano de processo gerado pelo computador tende a ser mais consistente, lógico e eficiente, devido à experiência dos profissionais que elaboram o programa.
2. **Maior Produtividade:** o sistema computadorizado requer menor esforço e comete menos erros. Os processadores têm acesso direto ao banco de dados e muitos cálculos são automatizados.
3. **Maior Legibilidade:** nos sistemas CAPP, os textos padrões e as figuras geradas no CAD facilitam a interpretação do plano de processo de fabricação.
4. **Integração com outros softwares:** os sistemas de planejamento de processo podem ser projetados para operar com outros pacotes de softwares, tendo em vista a integração do fluxo de informações. É o caso dos programas CAD e dos sistemas de dados de usinagem.



5. **Redução do tempo de planejamento:** um dos principais ganhos com a implantação do CAPP é o aumento da produtividade de planejamento do processo. Com isto é possível elaborar os planos de processos com um número reduzido de processistas e curto período de tempo.
6. **Agilidade nas revisões:** com o CAPP, cada operação do processo pode ser facilmente revisada. O histórico das revisões pode ficar armazenado em uma base de dados, possibilitando o acompanhamento de todas as modificações.
7. **Padronização dos processos:** o uso do CAPP pode permitir que todos os parceiros trabalhem com um modelo único de plano de processo, garantindo uma padronização da documentação de processos da fábrica, além de garantir a padronização dos termos adotados.
8. **Aumento da qualidade dos processos:** Com o uso do CAPP podem-se adicionar outros tipos de informações aos planos de processos, além das informações descritivas. Assim pode-se fazer uso de informações visuais através de fotografias, gráficos, desenhos, ou então outras instruções detalhadas do processo, como listas dos componentes montados em cada operação, instruções de controle e dispositivos necessários, por exemplo.

Existem ainda várias outras vantagens, como a redução drástica de **papel impresso**, agilidade na elaboração e alteração de uma especificação de projeto, alta confiabilidade nos dados (por estarem automatizados com fórmulas de cálculos), definição de hierarquia para aprovação de projeto, entre outras. As consequências do uso de CAPP nas outras áreas da empresa são:



- ✓ diminuição de refugos
- ✓ diminuição do custo das ferramentas
- ✓ diminuição de lead-time
- ✓ criação de **padrões** de engenharia.

O planejamento de processo pode ser usado com vantagem mesmo para **lotes pequenos**. Nestes casos, deve-se encontrar um compromisso econômico entre os tempos de planejamento e de manufatura direta. Para estimar estes custos, podemos utilizar uma fórmula básica para o custo total necessário para se produzir um lote de peças:

$$C = Q \cdot C_d \cdot x T_d + C_t \cdot x T_p + C_s \cdot x T_s$$

onde :

C= Custo Total (R\$)

Q= Números de peças no lote

C_d = custo da mão de obra direta (R\$/hora)

T_d = tempo de manufatura direta (horas)

C_t = custo da mão de obra indireta (R\$/hora)

T_p = tempo de trabalho indireto (horas)

C_s = custo de mão-de-obra de suporte (R\$/hora)

T_s = tempo de trabalho de suporte (horas)

O Planejamento de processo pode também ser visto como uma série de **decisões**, decisões que devem especificar o processo de maneira única. Uma vez que o planejador toma uma decisão, essa decisão se torna uma restrição para todas as outras decisões que se seguem. Por exemplo, uma máquina selecionada



impõe restrições quanto à potência disponível para uma operação de corte, o torque disponível no eixo, a profundidade máxima de corte, a velocidade máxima de corte, as dimensões máximas das peças de trabalho, o número de ferramentas que podem ser usadas, tempos de manuseio e setup, etc.

restrições impostas por:

modificam as variáveis dependentes:

	AVANÇO	PROF. CORTE	VEL. CORTE
MÁQUINA-FERRAMENTA			
• potência disponível	■■■	■■■	■■■
• torque admissível	■■■	■■■	
• rotações existentes			■■■
• avanços possíveis	■■■		
FERRAMENTA DE CORTE			
• largura de corte		■■■	
• espessura de cavaco	■■■		
• força de corte	■■■	■■■	
• desgaste admissível	■■■	■■■	■■■
MATERIAIS: PEÇA-FERRAMENTA			
• vida da ferramenta			■■■
• forma do cavaco	■■■	■■■	
PEÇA			
• acabamento superficial	■■■	■■■	



3. CONSIDERAÇÕES TÉCNICAS SOBRE OS MÉTODOS DE PLANEJAMENTO DE PROCESSOS

Neste capítulo apresentaremos as **técnicas básicas** para realização de um planejamento de processos (manual ou automatizado). Justamente por este motivo, talvez seja esta a parte mais importante deste trabalho, pois apresenta as **bases** que nos permitem realizar o escopo do mesmo.

O domínio das operações de usinagem compreende, além de um grande número de tipos de processos específicos, uma grande quantidade de parâmetros que o condicionam, podendo-se tê-lo de forma mais ou menos otimizada conforme os critérios que se adotem para essa análise. Para tanto, torna-se necessário caracterizar o processo de usinagem, mostrando a complexidade das interações entre os seus diversos condicionantes.

Para tanto, é preciso ter em mente que sempre uma escolha feita numa etapa do processo, implica em restrições em futuras escolhas.

Lembremos, inicialmente, que os processos de usinagem compreendem aqueles que, *ao conferir à peça a forma, ou as dimensões, ou o acabamento, ou ainda uma combinação qualquer destes três itens, produzem cavaco* [Ferraresi]. Entenda-se por **cavaco** a porção de material da peça retirada pela ferramenta, caracterizando-se por apresentar, em geral, uma forma geométrica irregular. Para os vários processos de usinagem, pode-se adotar a classificação contida também em [Ferraresi]:

- torneamento
- fresamento
- aplanaamento
- serramento
- furação



- brochamento
- alargamento
- roscamento
- rebaixamento
- retificação
- mandrilamento
- lapidação
- denteamento
- afiação

Cada um destes processos pode possuir sub-classificações conforme, por exemplo, a posição e a trajetória da ferramenta em relação à peça. Desta forma pode-se ter um torneamento cilíndrico ou um de faceamento, uma furação em cheio ou escalonada, e assim por diante.

3.1 PARÂMETROS RELEVANTES

1. Tipo da operação de usinagem

1.1 Tipo de processo -torneamento, furação, fresamento, retificação, etc.;

- Modo de operação -desbaste versus acabamento;
- Método (torneamento, fresamento, etc.)
- Máquina (potência, rotações, avanços, etc.)
- Preparação (fixações, porta-pastilha, etc.)
- Ferramenta (material da ferramenta, geometria, etc.)
- Peça (usinabilidade, geometria, tolerâncias, etc.)
- Auxiliares para usinagem (fluído de corte, etc.)
- Ambiente (segurança, toxicidade, etc.)



1.2. Parâmetros da Máquina-Ferramenta

- tamanho e rigidez
- potência disponível para velocidade e avanço
- níveis de velocidade do fuso e de avanço
- tipo da máquina -convencional ou CNC
- capacidades de precisão e resolução de posicionamento
- tempos operacionais

1. 3. Parâmetros da Ferramenta de Corte

- tipo do material da ferramenta (aço rápido, metal duro, cerâmica, etc.)
- composição química do material da ferramenta
- propriedades mecânicas e físicas (dureza, resistência ao desgaste, etc.)
- tipo da ferramenta (broca de furação, pastilha de aresta única de contato, cabeçote, de fresar, etc.)
- geometria da ferramenta (raio de ponta, ângulos de ataque, ângulos de alívio, número de dentes, etc.)
- dados relacionados ao custo da ferramenta
- dados relacionados aos tempos de troca da ferramenta

1. 4. Características da Peça

- material-tipo básico e grau específico
- dureza e resistência mecânica
- tamanho e forma geométrica
- tolerâncias dimensionais desejadas
- acabamento superficial desejado



- condições iniciais da superfície, das dimensões e de tratamento térmico da peça(peça bruta)

1. 5. Parâmetros Operacionais além do Avanço e Velocidade de Corte

- profundidade de corte
- fluido de corte, se houver
- rigidez da peça
- fixações e guias.

3.2. A ESCOLHA DO PROCESSO DE USINAGEM E DE SEU SEQUENCIAMENTO

Decidido que o processo a ser utilizado é o de usinagem para a execução de determinada peça, a próxima etapa que um sistema CAPP ideal deve completar é a definição de quais operações dentre as diversas do domínio de usinagem serão as escolhidas. Como já citado, nas indústrias com setores de planejamento tradicionais, essa atividade é exercida por uma equipe de profissionais com grande experiência na atividade e na sua implementação no chão-de-fábrica, de forma que eles utilizam o seu conhecimento especialista, determinando qual a melhor seqüência de operações e sub-operações.

Assim, por exemplo, a determinação de uma seqüência hipotética faceamento -torneamento -tratamento térmico-retificação cilíndrica é feita da observação do desenho da peça, da interpretação das relações entre os seus elementos, correlacionando-os com os resultados das operações dos vários processos possíveis de serem utilizados, levando ainda em conta as exigências de tolerância dimensional, acabamento superficial, do tipo de material e de dureza da peça.



3.3 O PLANEJAMENTO DE PROCESSO E O PLANEJAMENTO DA PRODUÇÃO

O planejamento de processo é o primeiro passo na organização do **plano de manufatura**. Porém, o tempo e uso das instalações industriais não são levados em conta. Certamente não é o mais adequado preparar planos de gerenciamento e controle de produção sem se assegurar da implementação física do plano de processo em primeiro lugar. Na linha oposta de pensamento, não é econômico criar um plano de projeto que seja baseado em equipamentos não disponíveis na fábrica, o que iria exigir um gasto desnecessário ou que se usasse equipamentos vitais para outras operações de manufatura da empresa.

Se o propósito é a produção econômica, então é de extrema importância que se atinja um equilíbrio ótimo entre a ocupação das máquinas e os tempos de se movimentar materiais para o processo. Máquinas pouco ocupadas indicam capital imobilizado e, portanto, custos extras. Movimentos desnecessários implicam em custos extras na medida que são uma forma de **desperdício**.

Um planejador de processo deve, portanto, estar consciente das instalações disponíveis na fábrica e sempre tomar o cuidado de não sobrecarregar as máquinas. Mas como não há meios de se saber a priori (antes da execução do plano) qual máquina estará **sobrecarregada** e qual com carga menor que desejável senão por estimativas e suposições, o planejador de processo deve oferecer alternativas.

O balanceamento do carregamento das máquinas é algo que **foge** à responsabilidade do planejador de processo. Na realidade, é impossível conhecer o carregamento sem que se conheça o processo. É um círculo vicioso, e normalmente o planejador de processo simplesmente irá selecionar a 'melhor' máquina. Assim aproximadamente 30% das máquinas estarão sobrecarregadas e



o resto com sub-carga. Esta situação, junto com as disruptões usuais do chão de fábrica, faz com que o gerenciamento da produção seja uma tarefa muito difícil.

Uma das maiores dificuldades é o fato de se ter um caminho fixo. O caminho determina o fluxo do trabalho no espaço da planta e lista a seqüência de estações de trabalho requeridos para produzir um item. O **caminho** é derivado a partir das informações do plano de processo e apresentado como exigência ao planejamento da produção. Esta metodologia possui uma desvantagem principal: O planejamento da produção usa a informação técnica contida no plano de processo como dados de entrada. Mas estes dados não revelam ou refletem as intenções básicas do planejador de processo e, portanto, não são adequados para se produzir uma solução ótima de planejamento da produção.

Esta situação tem sido considerada recentemente com vistas a ganhar tempo para o ciclo de produção e reduzir os custos de manufaturas. Este novo enfoque é chamado **engenharia simultânea**. Entretanto, os ideais da engenharia simultânea são muito difíceis de serem aplicados, pois requerem bom relacionamento entre as equipes de projeto e de manufatura, principalmente.

3.4 A ANÁLISE DA PEÇA A SER FABRICADA

As informações básicas disponíveis para o processista são as seguintes:

- Forma geométrica
- Dimensões e suas tolerâncias
- Tolerâncias geométricas
- Rugosidade superficial
- Tipo de material e sua dureza
- Tamanho do material bruto (dado pela sua tolerância A)
- Número de peças no lote.



Com base nessas informações, o engenheiro processista deve ser capaz de definir a **sequência de operações** de usinagem necessárias para produzir a peça aplicando-se uma série de **decisões lógicas**. Cada informação possibilita uma escolha:

- A natureza do material, por exemplo, dá uma indicação do tipo de usinagem a ser usado.
- Se a forma geral da peça evidencia uma boa rigidez, garantido a sua estabilidade durante a usinagem, não são necessários dispositivos únicos ou especiais para se fixar a peça na máquina.
- Se número de peças requeridas no lote é de porte médio, não se justificam dispositivos especiais.

Estas observações gerais representam uma **estimativa** inicial dos métodos de produção requeridos para a fabricação da peça, e são baseadas em avaliações técnicas e econômicas bem conhecidas por planejadores de produção. Para se completar esta análise, um estudo mais detalhado dos métodos de produção deve ser feito. O objetivo é determinar um meio lógico de se definir a seqüência de operações de usinagem, de acordo com os requerimentos de precisão da peça enquanto que, ao mesmo tempo, respeitando-se o aspecto econômico.

3.5 O NECESSÁRIO AGRUPAMENTO DE PROCESSOS EM CONJUNTOS

Para se satisfazer tolerâncias de posição e orientação é necessário agrupar operações na mesma tarefa de tal modo que a máquina e a ferramenta possam ser usados com a melhor acurácia. Uma sucessão de diferentes colocações e fixações para a execução da seqüência de operações produziria um acúmulo indesejado de tolerâncias, que é, evidentemente, indesejável.



3.6 SELEÇÃO DE FERRAMENTAS

A próxima etapa é selecionar as **máquinas e ferramentas** apropriadas para executar as tarefas definidas anteriormente. Os principais critérios de seleção são:

- O número de ferramentas necessárias para executar as diferentes operações.
- O tamanho do lote, que deve ser considerado para o cálculo do tempo de preparação.
- A precisão das operações selecionadas.

A informação disponível sobre o equipamento de usinagem fornecerá detalhes sobre as capacidades das máquinas e o planejador de processos é guiado por essa informação ao considerar os tempos de preparação de operações das máquinas, o custo do uso de máquinas, a flexibilidade dos tipos de máquinas e assim por diante. Em empresas modernas, arquivos computadorizados de máquinas dão suporte para a tomada de decisões rápida e razoável.

A escolha de máquinas operatrizes é basicamente entre máquinas **universais** e máquinas **especiais**. No caso de máquinas universais, o custo do uso da máquina é alto e a colocação de ferramentas é mais demorada. A fixação da peça num único dispositivo requer a transferência de tolerâncias, o que diminui as tolerâncias de produção e aumenta os custos de produção, fazendo com que nem todas as máquinas sejam usadas eficientemente. Por outro lado, pelo fato do dispositivo ser único, é mais econômico e a máquina é mais flexível. Máquinas universais são geralmente usadas para **peças únicas ou em lotes pequenos**.

No caso de máquinas especiais, as dimensões são executadas como dimensões diretas. O custo da máquina é mais baixo e os custos de operadores são menores, além da preparação ser mais simples. Porém, os dispositivos são



especiais e mais caros. Máquinas especiais são geralmente usadas para produção em massa ou lotes grandes.

3.7 SEQÜENCIAMENTO DE OPERAÇÕES DE ACORDO COM RELAÇÕES DE PRECEDÊNCIA (OU ANTERIORIDADE)

As operações definidas anteriormente devem ser ordenadas de acordo com relações de precedência ou anterioridade baseados em limitações técnicas e econômicas. As diferentes categorias de anterioridades podem ser classificadas da seguinte maneira:

- dimensões com uma anterioridade de referencial
- tolerâncias geométricas com referências de dados como anterioridades
- limitações tecnológicas ditadas pela necessidade de se executar cenas seqüências de operações
- limitações econômicas que reduzem o custo de produção e o desgaste ou inutilização de ferramentas de alto custo, etc

Tendo definido todas as anterioridades, é possível agora encontrar a seqüência correta de operações. Mas deve ser lembrado que esta seqüência é o resultado da definição de anterioridades relevantes. Isto não é uma decisão fácil de ser chegada. A consistência das anterioridades depende muito da experiência do planejador de processos.

A definição das anterioridades é sempre feita por meio de tabelas do tipo (antes da operação x, realizar as operações y,z e w), como a tabela seguinte:



Execute these operations													Before executing these operations																	
1a	1b	2a	2b	3	4a	4b	5	6aR	6aF	6bR	6bF	7	8	9	10	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13		
1a				X												1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
1b					X											1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
2a	X					X	X									3	2	2	2	2	2	2	1	2a						
2b		X				X	X									3	2	2	2	2	2	2	2	1	2b					
3																3														
4a							X					X	X	X	X	5	5	4	3	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
4b								X	X							2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
5																1	5													
6aR								X	X	X						3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
6aF								X	X		X					3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
6bR									X							1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
6bF										X						1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1		
7																2	1	7												
8																3	2	1	8											
9																2	2	2	2	9										
10																1	1	1	10											
																3	5	7	8	9	4a	4b	1b	2b	6aR	6bR	6aF	6bF		
																	10		1a	2a										

No lado direito (os níveis), ou seja, o número de anterioridades para cada superfície é indicado. Essas operações de matriz podem ser facilmente implementadas num computador, por meio de vetores de ordem 2. Veremos essa implementação nos capítulos seguintes.

De maneira similar, um outro método para seqüenciar operações, baseado num uso da teoria de gráficos é também adequado para produzir um tratamento computadorizado. A dificuldade em ambos os casos encontra-se somente na definição de anterioridades, que pode resultar em condições contraditórias. Em tais situações, é o trabalho do planejador de processos (ou no caso de quem cria o software em CAPP), tomar decisões para resolver o conflito, através da mudança de prioridades respeitando-se as condições funcionais mais severas.

Neste ponto encontramos umas das principais dificuldades em se elaborar um plano completo de processo automatizado. Não basta automatizar operações como calcular determinados parâmetros e encontrar os valores de outros parâmetros em tabelas e gráficos. É necessário também tomar decisões que



requerem um certo nível de **inteligência** que, num caso totalmente automatizado, deve ser simulado.

Após ter estabelecido a ordem de execução das operações individuais, é possível efetuar os agrupamentos necessários. Em particular, quando tolerâncias de posição entre feitos devem ser respeitados.

Depois de escolher os grupos de operações, torna-se necessário agora definir **dispositivos de posicionamento** adequados para localizar com precisão a peça no sistema de coordenadas da máquina-ferramenta em operação. Além disso, a peça deve ser segurada firmemente de modo que forças externas causadas pelo corte ou pela gravidade não possam mudar a localização da peça e destruir sua estabilidade. A primeira prioridade é claramente para a função de posicionamento que influencia diretamente a precisão da peça.

Para simplificar o problema de localização e para criar um ponto próprio de origem para o projeto de dispositivos, costuma-se usar o **princípio de isostatismo**, que é aplicado usando-se o 'princípio dos seis pontos'. Isto consiste em definir seis pontos de contato na peça que definem a sua posição de maneira única, isto é, se a peça é removida da sua fixação original, ela pode ser retornada exatamente à sua posição anterior. Para peças em lotes, o princípio significa que as peças são fixadas duma maneira idêntica com relação ao sistema de referencial da máquina.

Tendo definido a seqüência de operações e os dispositivos de fixação, devemos agora estabelecer um arquivo de planejamento de processos para a peça. Entretanto, para completar o pacote de informações a ser dado ao **departamento de produção**, é necessário adicionar outros dados complementares ao arquivo de processo, tais como:

- comprimentos exatos dos cortes a serem executados.



- detalhes sobre as condições de usinagem para cada operação (profundidade de corte, avanço, lubrificação, tipo de ferramenta, velocidade de corte, comprimento do segmento usinado, tempo de usinagem)
- descrição dos instrumentos de inspeção necessários para checar os diferentes feitos e garantir o nível de conformidade com os desenhos de especificação.

Os parâmetros de usinagem para cada operação são calculados de acordo com os valores práticos encontrados em handbooks (por exemplo, Metcut Research Associates, 1972) ou provenientes da **experiência**. Eles podem ser determinados mais completamente usando-se fórmulas, que calculam seus valores ótimos, descritos nos próximos capítulos do trabalho. Ambos os métodos são usados no desenvolvimento do banco de dados técnicos, embora somente o segundo será aqui implementado.

3.8 ANÁLISE FUNCIONAL DE DESENHOS TÉCNICOS

Quando um **desenho técnico** de uma peça mecânica é despachado ao departamento de planejamento de produção, este desenho deve ser considerado como um contrato que deve ser honrado em todos os seus detalhes. Este desenho, preparado pelo departamento de projetos, expressa os requerimentos funcionais que foram definidos, tendo em vista a funcionalidade da peça na estrutura do produto final.

A peça é definida de tal maneira que quando montada com todo o resto do mecanismo, ela irá satisfazer todas as suas funções técnicas e que terá dimensões e tolerâncias tais que possibilitarão a sua montagem em sub-partes de uma maneira completamente intercambiável. É claro que o projetista também deve



considerar a **manufaturabilidade da peça** e tentar encontrar a tecnologia mais adequada para produzí-la. Para ser completo, o projeto deve incorporar métodos e meios de inspecccionar as peças acabadas de uma maneira econômica, garantindo assim a qualidade delas. Respeitar todas estas condições, que podem ser contraditórias umas com outras, é obviamente uma tarefa difícil.

O conceito de 'engenharia concorrente' tenta oferecer uma infraestrutura de atividades de modo a oferecer uma solução para este problema.

3.9 DIMENSIONAMENTO E TOLERANCIAMENTO DA PRODUÇÃO

Como já foi dito, uma peça é definida por um desenho de engenharia que fornece a informação completa sobre a sua geometria e outros dados adicionais. O desenho é o meio fundamental de comunicação entre o projetista, o planejador de processo e todas as outras funções da empresa; ele é o meio através do qual as intenções e os desejos do engenheiro são expressos de uma maneira não-ambígua.

O dimensionamento e o toleranciamento convertem o desenho técnico em uma linguagem poderosa, onde podem ser expressas minúsculas variações das intenções do projetista. Devido à impossibilidade de se executar as dimensões prescritas de modo exato, algumas variações nas dimensões são aceitáveis, essas variações são chamadas de tolerâncias.

Projetistas não são planejadores de processo. No entanto, o que eles têm em mente durante o estágio do projeto afeta significativamente o processo de manufatura e o planejamento do processo. Os projetistas não analisam todos os detalhes do processo de manufatura, mas na maior parte do tempo trabalham por intuição. Porém, peças que foram projetadas com um processo específico de manufatura em mente podem ser muito difícil de se fabricar e o processo tem de ser mudado.



O projetista deve levar em conta o processo de manufatura que irá produzir a peça projetada. Cada **processo de manufatura** possui vantagens, capacidades e limitações intrínsecas. O custo de produção de uma peça pode ser minimizado se os seus feitos, dimensões e tolerâncias estão dentro da capacidade de processos disponíveis. Senão, o custo pode resultar excessivamente alto ou a produção chegar a ser simplesmente impossível. Projetistas não definem o plano de processo, mas tentam direcionar rumo à utilização de processos existentes, de preferência um que seja disponível no seu próprio chão de fábrica.

3.10 SELECIONANDO OS PROCESSOS PRIMÁRIOS DE MANUFATURA

Os seguintes **fatores de projeto** influenciam na escolha de um plano de manufatura:

1. Quantidade
2. Complexidade de forma
3. Natureza do material
4. Tamanho da peça
5. Espessura da seção transversal
6. Acurácia dimensional
7. Custo do material bruto, possibilidade de defeitos e porcentagem de refugo.
8. Processos subsequentes

A escolha do processo deve ser feita, inicialmente, com base em **fatores econômicos**. As diferenças em tempo direto de manufatura obtidas pelos diferentes processos podem ser significativas. Por exemplo, o tempo direto gasto para moldar uma peça de complexidade moderada com uma matriz metálica é aproximadamente 25 segundos: para produzir a mesma peça usando-se



processos de remoção de material pode exigir aproximadamente uma hora. Porém, o custo de uma matriz metálica é alto. Deve-se, portanto, estabelecer uma solução de compromisso adequada.

3.11 ANÁLISE GERAL DE ERROS DE POSICIONAMENTO

Quando uma peça mecânica é posicionada num dispositivo, pronta para ser usinada ou medida, a sua **posição e orientação real no espaço** nunca é conhecida precisamente devido a erros de seus localizadores no dispositivo e erros de geometria na superfície da peça. Estes **erros** são geralmente os mais importantes, porque eles foram acumulados desde o estágio de projeto. Erros em localizadores são normalmente menores, mas eles ainda podem influenciar a acurácia da peça porque a colocação das ferramentas na máquina operatriz são feitas de acordo com referências de dados, que são agora imprecisos, tendo sido mudados por erros nos localizadores.

Por considerações econômicas, é aconselhável usar a **máxima profundidade de corte e velocidade de avanço**. Porém, a usinagem sob essas condições resultará numa grande força de corte, e por isso grandes forças de fixação serão necessárias. Tais forças podem deformar a peça. Portanto, é recomendado **que se reduzam as forças de fixação** através de um aumento do coeficiente de fricção.

Isto pode ser realizado usando-se castanhas de superfície rugosa (diamante ou serrada) para cortes de desbaste, e lisa (castanhas usinadas) para cortes de acabamento.

O projeto de dispositivos e mecanismos para a fixação da peça na máquina operatriz não é diferente de qualquer outro projeto mecânico. A posição da fixação deve obedecer aos requerimentos de acurácia e respeitar as relações entre os segmentos da peça. Também deve ser assegurado que a peça não se move



enquanto sendo usinada, que os mecanismos de fixação não interfiram com o movimento da ferramenta ou aumentem a sua trajetória, e que haja uma saída fácil para remoção do cavaco.

Alguns pontos adicionais que devem ser considerados são:

- garras devem ser colocadas e seguras firmemente diretamente sobre a superfície de suporte do dispositivo;
- garras devem sempre fazer contato com a peça nos seus pontos mais rígidos;
- as forças de corte devem ser apontadas em direção aos posicionadores e não às garras;
- as forças de agarramento devem ser apontadas na direção dos posicionadores sólidos e de tal maneira que mantenham a peça no dispositivo;
- a superfície de montagem da peça deve ser plana e suportada uniformemente, sem distorção, pelas forças de fixação;
- os posicionadores de fixação devem estar o mais longe possível uns dos outros;
- posicionadores devem ser colocados de maneira a evitar cavacos e outros materiais estranhos na medida do possível;



- a peça deve ser capaz de ser carregada no dispositivo em uma única posição;
- guias de furação devem ser usadas na medida do possível;

Devemos ter sempre em mente que os **dispositivos e mecanismos** são constituídos como acessórios para o processamento da peça, e o seu objetivo é permitir que a peça seja agarrada firmemente na máquina. Em muitos casos, especialmente ao se trabalhar com pequenos lotes, o custo de tais acessórios pode ser maior que o custo de usinagem propriamente dito. Para tornar a manufatura mais econômica, alguns métodos reduzem ambos o custo direto de **dispositivos e mecanismos** e o custo de configurá-los:

.**Tecnologia de Grupo** (G1) (Ham. Hitomi e iishida. 1985) Existem muitas definições de TECNOLOGIA DE GRUPO. Aqui o termo significa que peças com formas, dimensões, tecnologias de produção e funções similares são agrupados de modo que pequenos e médios lotes podem ser produzidos usando-se tecnologias de produção em massa.

Isto é conseguido através do uso de **ferramentas** e dispositivos comuns e do processamento seqüencial das peças. Em outras palavras, a tecnologia de grupo consiste em tornar grupos de máquinas para processar famílias de componentes numa linha de manufatura ou numa 'célula de manufatura',

Para usar as ferramentas ao máximo, as operações devem ser arranjadas de modo que o máximo número de peças da família possam ser processadas com uma única configuração, o que significa que dispositivos e acessórios que aceitem todos os membros da família devem ser construídos.



.**Fixação modular** : também é um método de lidar com grupos de peças. Neste caso, o dispositivo de fixação é composto de blocos de construção montados de uma maneira adequada. Um plano base possui canais em formato de 'T' ou uma matriz regular de furos de localização. Os canais são paralelos entre si para assegurar o alinhamento acurado de elementos de fixação. Elementos estruturais de grande porte como placas de ângulo, **placas de agarramento** e blocos são usados e têm os mesmos canais em formato de 'T' para alinhar, localizar e montar outros elementos ao conjunto.

Furos de posicionamento de precisão junto com furos rosqueados para alinhar, localizar e montar elementos de fixação também são partes do sistema modular de fixação.

3.12 CONSIDERAÇÕES COMPLEMENTARES SOBRE PARÂMETROS DE CORTE

1. A relação entre a **velocidade de corte** e a **vida** da ferramenta indica que, na medida em que a velocidade de corte aumenta, a vida da ferramenta diminui. A priori, qualquer velocidade de corte pode ser usada. A decisão é menos sobre qual **velocidade de corte** usar e mais sobre como selecionar a vida da ferramenta.

Com a redução da vida da ferramenta, aumentando-se assim a **velocidade de usinagem**, o custo ou tempo direto de usinagem será reduzido enquanto que se aumenta o custo de ferramenta e a tempo de troca da ferramenta. Existe uma vida ótima da ferramenta. Um aumento ou diminuição da velocidade de corte daquele valor ótimo aumentará o custo ou o tempo de usinagem.

2. A **seleção da velocidade de corte** geralmente se baseia na experiência do planejador. Entretanto, deve ser lembrado que a seleção da velocidade de corte é uma decisão mais econômica do que tecnológica e deve ser vista como uma



vanável que pode ser modificada (dentro dos limites de contorno, é claro) para se atingir uma usinagem econômica.

3. A vida da ferramenta é geralmente definida como o **tempo de corte** em minutos antes de se produzir uma determinada **área de desgaste** para uma dada condição de usinagem. Isto significa que a vida da ferramenta depende de um máximo aceito para o desgaste da ferramenta e envolve, portanto, uma questão de concordância e padronização. A norma ISO 3865 define os valores de desgaste de ferramenta (ISO 3685 para torneamento e ISO 8688 para fresamento)

4. A velocidade ótima de corte é calculada separadamente para cada operação. Quando se atinge a vida da ferramenta, esta deve ser trocada. O procedimento de troca de ferramenta é como se segue para muitas máquinas: a máquina deve ser parada; o **segurador** de ferramenta deve ser movido até a posição de troca de ferramenta. A ferramenta é então trocada e o segurador da ferramenta é movido de volta à sua posição de trabalho. O tempo de troca da ferramenta compõe-se de dois elementos:

- tempo de **preparo** para a troca da ferramenta
- tempo de **troca**.

Geralmente, várias ferramentas são usadas para usinar uma peça. O tempo total de usinagem (e o seu custo) é uma soma dos tempos (e custos) de cada operação. Isto pode levar a uma situação não-econômica.

5. Para selecionar a **máquina operatriz**, em primeiro lugar, devemos escolher a melhor máquina dentre as disponíveis. Se a melhor máquina para uma operação em particular foi selecionada, um tempo adicional no cômputo geral dos tempos de



fabricação deve ser incluída para levar em conta a transferência da peça dessa máquina para outra (e vice-versa). Se se tem a liberdade de poder modificar a seqüência de operações, eventualmente uma economia do tempo de transferência pode ser feita.

É claro que o tempo (e o custo) de transferência é uma função da **quantidade** de peças desejadas. Para pequenas quantidades, o melhor compromisso pode ser usinar a peça numa única máquina. Essa escolha resultará num tempo grande de usinagem, mas eliminará o tempo de transferência. Para grandes quantidades, entretanto, o melhor compromisso pode ser executar cada operação com a melhor máquina, o que reduzirá o tempo de usinagem mas aumentará o tempo de transferência, mas a soma dos dois tempos representará um mínimo.

6. Algumas máquinas podem estar **desgastadas** e, portanto, com sua capacidade de precisão abaixo do nominal ou padrão. Se as tolerâncias da peça não podem ser mantidas por uma dada máquina, essa máquina simplesmente não consegue executar a operação que exige essa tolerância. Porém, a máquina pode ser mais adequada para outras operações, como de desbaste, devido ao seu baixo custo de operação. Assim, a máquina permanece como uma alternativa viável.

7. O primeiro passo na seleção da máquina é baseado no tipo de máquina e em suas dimensões físicas. Para peças **circulares simétricas**, por exemplo, só se considera a família de máquinas de torneamento. Um torno é definido parcialmente pelo espaço máximo existente entre o eixo de rotação e as trilhas sobre os quais a caixa de ferramentas nela se move. Este espaço determina a **dimensão física** da máquina. Peças cujos feitios tenham dimensões que não



sejam compatíveis com a dimensão física da máquina, não podem ser fixadas ou não permitem o acesso da ferramenta, impossibilitando a operação.

Nesta etapa, somente as máquinas que absolutamente não conseguem executar as operações necessárias são excluídas de considerações futuras.

8. O Segundo passo na seleção da máquina deve levar em conta que a máquina cuja **potência máxima** é menor do que a potência mínima requerida por uma operação não será capaz de executar a operação. Portanto, aquela combinação pode ser retirada da matriz de possíveis máquinas sem afetar o plano de processo otimizado, a não ser que, é claro, não haja mais outras máquinas disponíveis.

Por outro lado, uma máquina com muito mais potência do que a requerida não tem nenhuma vantagem sobre outras máquinas de menor potência, mas ainda suficientes para a operação. Tal máquina também pode ser excluída da matriz, a não ser que o seu custo de operação seja menor que o das outras máquinas ou ela tenha uma velocidade de rotação maior que a das outras e essa velocidade é requerida por uma ou mais operações da lista.

3.13 SELEÇÃO DA FORMA DO INSERTO E DO TIPO DE SUPORTE DA FERRAMENTA

Para que a ferramenta seja capaz de remover material através de corte, o **ângulo da aresta principal de corte** deve ter uma inclinação mínima de 30 graus na direção da superfície sendo usinada. Quanto maior for esse ângulo, melhor será o resultado da usinagem. Também, a aresta lateral de corte não deve riscar ou tocar a superfície usinada. Portanto, deve-se usar um ângulo de folga mínimo de 30 graus. Os ângulos da ferramenta são sempre medidos a partir da linha de centro da máquina. Os ângulos reais das ferramentas dependem do tipo da ferramenta e



da forma do inserto. Os fabricantes de ferramentas não oferecem um número infinito de tipos de **suporte de ferramenta** para acomodar todos os ângulos de corte ou formas de insertos. Assim, a ferramenta selecionada deve ser a melhor adequação às necessidades.

Em qualquer máquina específica, há restrições quanto ao número de ferramentas que podem ser acopladas. Além do mais, trocas de ferramentas são refletidos em tempos e custos adicionais de fabricação. Assim, é recomendado, de um ponto de vista econômico, usar um **número mínimo** de ferramentas, contanto que isso não gere nenhum problema ao processo. Neste estágio de planejamento de processos, as máquinas já foram definidas assim como as operações a serem efetuadas nelas. O problema a ser encarado é como selecionar ferramentas para as tarefas.

O primeiro passo na seleção de ferramentas consiste em tomar decisões sobre o conjunto operações que irão usar a mesma ferramenta. Para se chegar a esta decisão, as operações devem ser divididas em **operações internas e externas** identificando-se também os segmentos da peça que requeiram ferramentas especiais, tais como rosqueadores ou ferramentas para realizar ranhuras, sulcos ou rasgos.

Os requerimentos para o projeto do inserto são:

- dureza maior que a do material sendo trabalhado
- redução no desgaste do inserto
- habilidade de reter a dureza na temperatura elevada de corte
- resiliência e tenacidade para poder resistir a carregamentos cílicos de impacto
- inércia química ao material da peça e ao fluido de corte.



4. METODOLOGIA EMPREGADA

A metodologia usada para atingir o objetivo deste trabalho é dividir o processo de manufatura em várias atividades, num **arranjo serial**. Geralmente, cada atividade é responsável por um estágio diferente do processo todo, cada estágio representando uma disciplina e um treinamento únicos. Neste capítulo apresentamos as etapas resumidamente, pois muitos dos tópicos já foram tratados em capítulos anteriores.

O planejamento de processos pode então ser definido por uma seqüência de atividades, quais sejam:

A) Interpretação das especificações contidas nos **desenhos** de projetos de uma peça, principalmente dimensões e tolerâncias, tolerâncias geométricas, rugosidade superficial, tipo de material, tamanho da peça bruta, número de peças no lote, etc.

B) Seleção dos processos e ferramentas que são candidatos potenciais para produzir a peça e os seus feitos, respeitando-se juntamente todas as restrições impostas nas especificações.

A seleção de ferramentas necessárias para uma tarefa específica envolve muitos parâmetros, tais como a forma e o material do inserto (a parte cortante propriamente dita), o tipo de suporte de inserto, o método de fixação do inserto, etc.

C) Determinação das **tolerâncias** de produção e das dimensões de colocação que asseguram a execução apropriada das tolerâncias de projeto, escolhendo-se as dimensões de produção por critérios de comodidade e capacidade dos sistemas de manufatura.



D) Seleção das superfícies de trabalho inicial e as superfícies de referência para assegurar uma execução precisa das operações de produção , simultaneamente com a seleção dos dispositivos de fixação e a verificação da estabilidade da peça sendo trabalhada neles.

E) Sequenciamento das operações em função das prioridades impostas por restrições tecnológicas e de precisão. Segue abaixo um exemplo de matriz de anterioridades, extraído de [HALEVII].

Before executing these operations														Execute these operations														
1a	1b	2a	2b	3	4a	4b	5	6a	6b	7	8	9	10		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	
X															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
															3	2	2	2	2	2	2	1	2					
															3	2	2	2	2	2	2	2	1	2				
															(3)													
															5	5	4	3	1	(3)								
															2	2	1	1	1	1	(3)							
															1	(3)												
															3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
															3	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
															1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
															2	1	(7)											
															3	2	1	(3)										
															2	2	2	2	(9)									
															1	1	1	1	10									
															3	5	7	8	9	4a	4b	1b	2b	3b	4b	5b	6b	
																10												

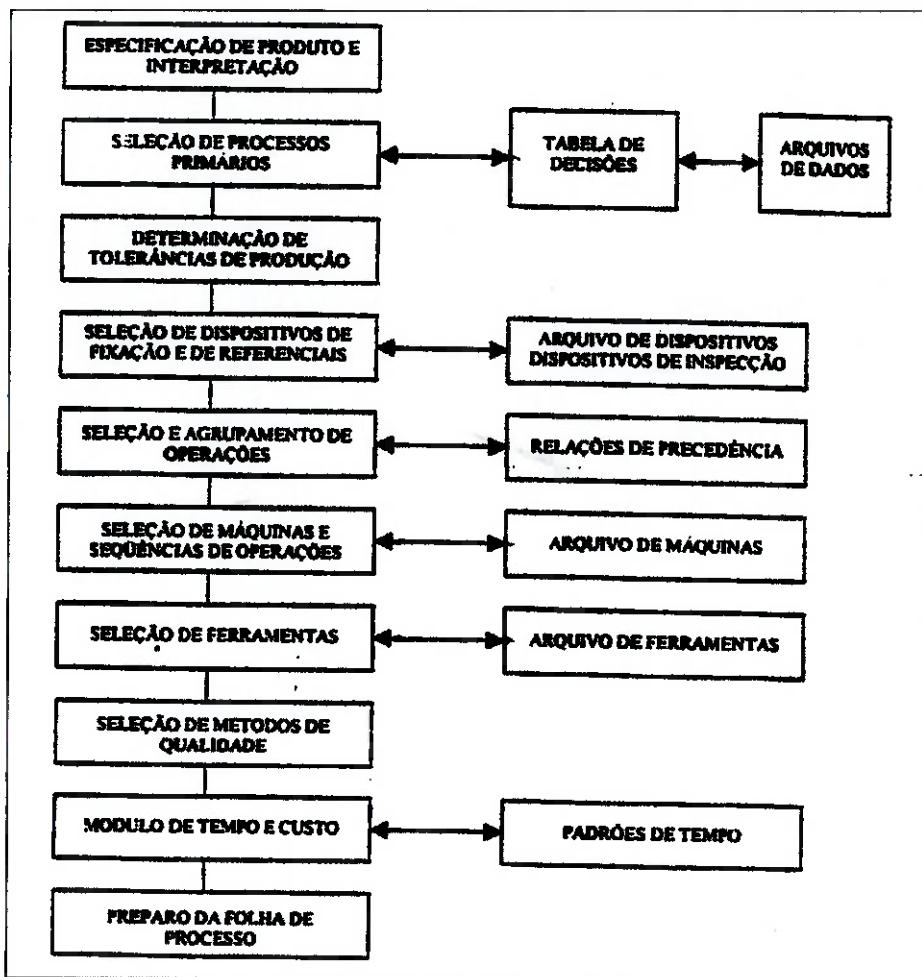
Fig. 16.2 Matrix of anteriorities.

- F) Agrupamento das operações elementares a serem realizadas numa mesma máquina de modo a reduzir o tempo de operação, respeitando-se no processo os requerimentos de precisão.
- G) Seleção das máquinas para executar as operações tecnológicas, levando-se em conta o número de peças a ser produzido. Aqui, devemos ter em mente que operações que requerem uma potência menor do que a

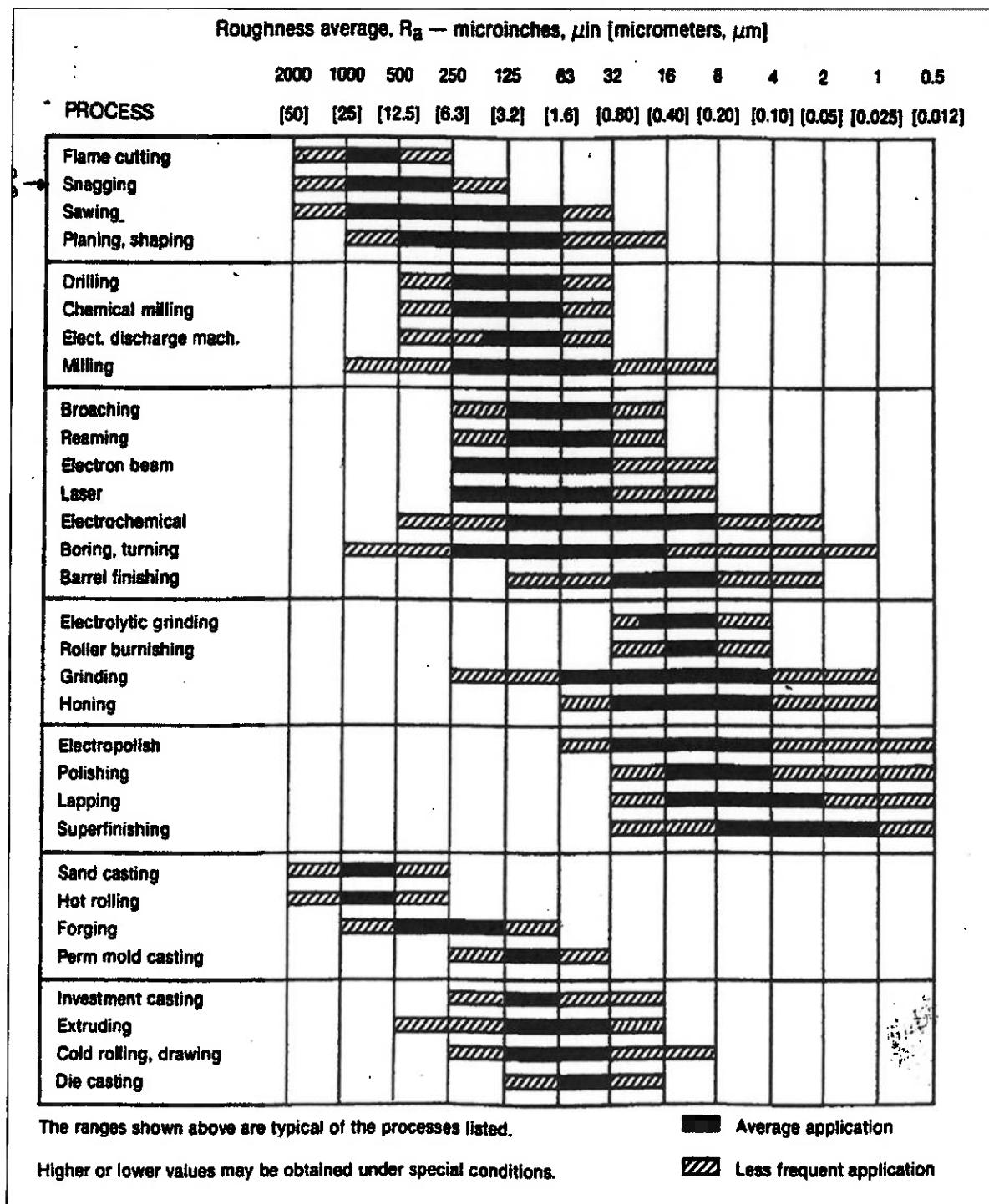


capacidade de uma máquina podem ser executadas por aquela máquina sem aumentar o **tempo de usinagem** (mas também sem poder reduzi-lo). Operações que requerem uma potência maior do que a capacidade de uma máquina, na maioria das vezes, também podem ser executadas por aquela máquina, mas em condições ineficientes, o que aumenta o tempo de usinagem. Com relação à precisão, não pode haver compromissos: uma máquina sem precisão não pode produzir uma peça com tolerâncias estreitas, não importa quanto tempo seja gasto na tentativa.

- H) Seleção dos métodos e instrumentos de inspeção para garantir a conformidade da peça final com relação aos requerimentos funcional e de qualidade.
- I) Determinação das condições de processo para cada operação elementar, possibilitando o cálculo dos tempos e custos de trabalho para realizar a avaliação econômica do trabalho.
- J) Preparo das folhas de processo num **arquivo de plano de processo** que será transferido ao departamento de manufatura para execução.



Como vimos, o desenvolvimento de planejamentos de processos depende da existência de dados sobre ferramentas, máquinas, padrões de tempo, etc. Como exemplo, apresentamos a seguir uma tabela que poderia ser utilizada para relacionar os processos de fabricação à faixa de rugosidade que pode ser obtida com os mesmos: (extraído de [HALEVI]).





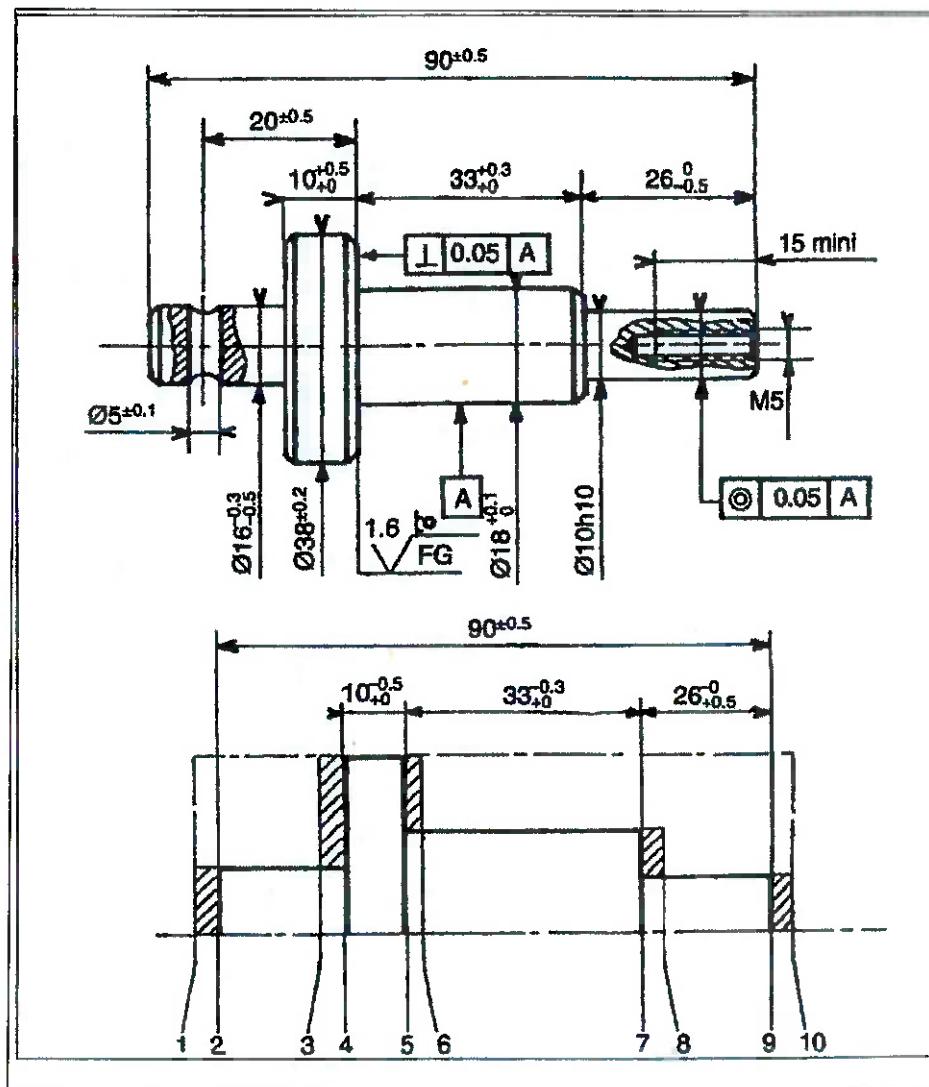
Evidentemente, o montante de trabalho que deve ser realizado antes que as decisões finais sobre um plano de manufatura possam ser tomadas é enorme.

O **enfoque moderno** do planejamento de processo auxiliado por computador é uma tentativa de transferir **uma parte** do trabalho manual do planejador do processo através do uso de banco informatizado de dados e algoritmos computadorizados para a seleção de seqüências e condições de operações de manufatura. No entanto, é sempre bom lembrar, o **ideal** de um sistema de planejamento de processo completamente automatizado ainda está longe de ser concretizado, exceto para aplicações especiais em condições específicas e bem definidas.



5. O PROJETO

A idéia básica do projeto a ser implementado é a confecção de um software apropriado (em sistema Pascal) através do qual seja possível elaborar um completo planejamento de processo para uma peça como disposta na figura abaixo, na qual estão especificadas todas as tolerâncias estipuladas.





Simula-se, então, uma situação real na qual a fábrica deve produzir lotes de peças com as tolerâncias estabelecidas no pedido do cliente. Deve cobrir, portanto, várias **faixas de tolerâncias** em diferentes pontos da peça. Cada pedido é enviado então para o software utilizado, que elabora um plano de processo adequadamente (utilizando-se para tanto de diversas tabelas de dados, algumas das quais referentes às máquinas disponíveis na empresa.). O resultado é um plano de processo completo para aquele lote de peças.

Parâmetros de entrada:

- ✓ Todas as dimensões da peça: o formato da peça não pode ser alterado para utilização do programa; entretanto, há a liberdade de se alterarem quaisquer das dimensões características da peça. Por exemplo, alterar o comprimento da peça de 90 para 75 mm.
- ✓ Todas as tolerâncias dimensionais envolvidas: esta entrada seria função das necessidades do cliente. Se a peça for utilizada para funções mais nobres, as tolerâncias serão mais estreitas e assim por diante.
- ✓ Todas as tolerâncias superficiais envolvidas.
- ✓ Custo das ferramentas: obtido facilmente de uma cotação no mercado.
- ✓ Custo da mão-de-obra direta
- ✓ Custo da mão-de-obra indireta
- ✓ Tempo de troca da ferramenta



- ✓ Tempo de troca da peça
- ✓ Lista das máquinas disponíveis, com suas potências, máximas rotações, precisão e custo das mesmas
- ✓ Matéria-prima e suas características físicas (ex:dureza)
- ✓ Dimensões da peça em bruto

A grande **vantagem** desta solução para o problema é a de que com alguns dados referentes à rugosidade e tolerâncias dimensionais é possível gerar planos de processo para uma enorme gama de peças que atendam a diversas aplicações e requisitos diferentes apresentados pelas necessidades dos diversos clientes.

Outra vantagem é a **facilidade de implementação**, pois a geometria já está previamente definida.

Uma desvantagem deste tipo de abordagem, que não estará atrelado a nenhum sistema CAD, é que a solução será sempre para a forma da peça apresentada e não valerá para outras formas. No entanto, como estamos interessados num caso de formato único de peça, alterando-se somente as tolerâncias e dimensões características da mesma, essa desvantagem não é tão importante aqui.

Até porque muitas vezes isto ocorre na indústria: deve-se produzir diversas peças, semelhantes, porém com tolerâncias e dimensões diferentes em função de suas aplicações, por exemplo.

Para que o projeto apresentado seja **viável** economicamente é necessário que a empresa que o implemente apresente uma certa gama de possibilidades de venda em cima de peças geometricamente semelhantes.

Se for possível realizar um número grande de processos alterando-se apenas parâmetros numéricos, as vantagens do processo informatizado, como meio de obtenção do plano de processo são muito grandes. Isso porque, para cada novo pedido, se não houvesse a implementação computadorizada, seria



necessária fazer um reprojeto das máquinas necessárias, bem como estipular-se os parâmetros como velocidade de corte, avanço , etc. (tudo novamente).

Isso requereria muito tempo, o que levaria a empresa a produzir apenas **poucas peças**, deixando de lado as vendas por encomenda e, consequentemente, perdendo uma fatia do mercado.

Por outro lado, se a empresa trabalha apenas com a venda de poucos modelos, com pouca variação dos parâmetros, o processo auxiliado por computador (CAPP) não é muito vantajoso, sendo preferível adotar o processo manual.



6. MODELO E IMPLEMENTAÇÃO DOS PARÂMETROS

Nesta seção, apresentaremos a implementação propriamente dita, ou seja, a transposição dos **dados** obtidos na literatura na forma de tabelas e gráficos para a forma como o computador os consegue interpretar (na forma de uma estrutura de dados). Para tanto, dividiremos este capítulo em seções, cada uma envolvendo um banco de dados. Não será aqui apresentado todo o código do programa (que totaliza mais de 200 páginas), mas somente as etapas mais importantes.

6.1 Modelo de Custo

O custo para fabricação de uma determinada peça pode ser expresso por:

$$C = Q \cdot C_d \cdot x T_d + C_t \cdot x T_p + C_s \cdot x T_s$$

onde :

C= Custo Total (R\$)

Q= Números de peças no lote

C_d = custo da mão de obra direta (R\$/hora)

T_d = tempo de manufatura direta (horas)

C_t = custo da mão de obra indireta (R\$/hora)

T_p = tempo de trabalho indireto (horas)

C_s = custo de mão-de-obra de suporte (R\$/hora)

T_s = tempo de trabalho de suporte (horas)

A implementação computacional em pascal desta etapa foi realizada da seguinte forma:



```
function custo(pecas,mo,md,mi,ti,ms,ts:real):real;
```

```
var aux.aux1,aux2,aux3 : real ;  
begin  
    aux1:= pecas * mo *md ;  
    aux2:= mi * ti ;  
    aux3:= ms*ts ;  
    aux := aux1 + aux2 +aux3 ;  
    custo:=aux ;  
end ;
```

6.2. Modelo de rugosidade superficial para os processos básicos:

Tabela 1: Faixa de Rugosidade para os processos básicos

Processo	Rugosidade Mínima(μm)	Rugosidade Máxima(μm)	Tipo de Máquina
Formas Circulares Simétricas			
Torneamento	0.8	25.0	Torno
Retifica	0.1	1.6	Retífica
Brunimento	0.1	0.8	Afiadeira
Polimento	0.1	0.5	Polidor
Lapidação	0.05	0.5	Lapidador
Formas prismáticas			
Fresamento	0.8	25.0	Fresa
Retífica	0.1	1.6	Retífica
Brunimento	0.1	0.8	Afiadeira
Polimento	0.1	0.5	Polidor
Lapidação	0.05	0.5	Lapidador



Furos, Roscas			
Furação	1.6	25.0	Torno, Fresa
Escareamento	0.8	6.3	Torno, Fresa
Alargamento	0.8	10.0	Torno
Fresamento Periférico	0.8	15.0	Fresa
Retífica	0.1	1.6	Retífica
“Burnishing”	0.2	0.4	“Burnishing”
Mandrilagem	0.8	6.3	Mandril
Fresamento	0.8	25.0	Fresa

Implementação computacional em pascal:

```
type processo = record
    titulo:char      ;
    max : real       ;
    min : real       ;
    end      ;
program capp      ;
var    teste: array[1..10] of processo  ;
begin
{discriminação do primeiro processo:torneamento }

    teste[1].titulo:= ' torneamento' ;
    teste[1].min:  = 0,8           ;
    teste[1].max: = 25            ;
```



{Segundo processo: retífica }

```
teste[2].titulo: = 'retífica' ;  
teste[2].min:   = 0,1 ;  
teste[2].max:  = 1,6 ;
```

{terceiro processo: brunimento }

```
teste[3].titulo: = 'brunimento' ;  
teste[3].min:   = 0,1 ;  
teste[3].max:  = 0,8 ;
```

{quarto processo: polimento }

```
teste[4].titulo: = 'polimento' ;  
teste[4].min:   = 0,1 ;  
teste[4].max:  = 0,5 ;
```

{quinto processo: lapidação }

```
teste[5].titulo: = 'lapidacao' ;  
teste[5].min:   = 0,05 ;  
teste[5].max:  = 0,5 ;
```

{ analogamente para os outros processos, que foram ocultos no relatório para evitar
repetições}

end.



6.3. Modelo de tolerância para os diferentes processos:

Tabela 2: Capacidade de Tolerância geométrica dos processos básicos

Processo:	Tolerância(mm)			
	Paralelismo	Perpendicularidade	Concentricidade	Angularidade
Torneamento	0.01-0.02	0.02	0.005-0.01	0.01
Fresamento	0.01-0.02	0.02	-----	0.01
Furação	0.2	0.1	0.1	0.1
Alargamento	0.005	0.01	0.01	0.01
Retífica	0.001	0.001	0.002	0.002
Brunimento	0.0005	0.001	0.002	0.002
Superacabamento	0.0005	0.001	0.005	0.002

```
type capacidade = record
    titulo:char;
    paralelismo : real;
    perpendic : real;
    concentric : real;
    angularidade : real;
end;

program capp ;
var    teste2: array[1..10] of capacidade;

begin
{primeiro processo : torneamento }

teste2[1].titulo:= 'torneamento' ;

```



```
teste2[1].parallelismo : =0,01 ;  
teste2[1].perpendic : =0,02 ;  
teste2[1].concentric : =0,005 ;  
teste2[1].angularidade: =0,01 ;
```

{segundo processo : fresamento }

```
teste2[2].titulo: ='fresamento' ;  
teste2[2].parallelismo : =0,01 ;  
teste2[2].perpendic : =0,02 ;  
teste2[2].concentric : =9999 ;  
teste2[2].angularidade: =0,01 ;
```

{terceiro processo :furacao}

```
teste2[3].titulo: ='furacao' ;  
teste2[3].parallelismo : =0,2 ;  
teste2[3].perpendic : =0,1 ;  
teste2[3].concentric : =0,1 ;  
teste2[3].angularidade: =0,1 ;
```

{quarto processo: retifica}

```
teste2[4].titulo: ='retifica' ;  
teste2[4].parallelismo : =0,001 ;  
teste2[4].perpendic : =0,001 ;  
teste2[4].concentric : =0,002 ;  
teste2[4].angularidade: =0,002 ;
```



{quinto processo: brunitimento}

```
teste2[5].titulo: = 'brunitimento' ;  
teste2[5].paralelismo : =0,0005 ;  
teste2[5].perpendic : =0,001 ;  
teste2[5].concentric : =0,002 ;  
teste2[5].angularidade: =0,002 ;
```

{ analogamente para os outros processos, que foram ocultos no relatório para evitar
repetições}

end.

6.4 Modelo de equivalência

Para se considerar a tolerância dimensional, existe uma relação **empírica** entre a tolerância dimensional e a rugosidade superficial, de modo que uma tolerância dimensional mínima requer uma rugosidade superficial mínima.

As tolerâncias geométricas devem ser consideradas como os critérios a serem verificados no que diz respeito à **capacidade** do processo. Para satisfazer as tolerâncias geométricas, porém, deve-se levar em conta muitos outros fatores como a fixação, a seleção da máquina, etc.

Tabela 3: Conversão entre tolerância dimensional e rugosidade superficial

Tolerância (mm)	Rugosidade Superficial (μm)
<0.05	>0.20
0.010	0.32
0.015	0.45
0.020	0.80



0.030	1.00
0.040	1.32
0.050	1.60
0.060	1.80
0.080	2.12
0.100	2.50
0.150	3.75
0.200	5.00
0.250	6.25
0.350	9.12
0.600	12.50
1.000	25.00

Implementação computacional em pascal:

```
function transformadinrug(tol:real):real;
var    aux,aux1 : real ;
{criação das variáveis a serem usadas }
begin
  aux :=tol
; 
  if      aux<=0,005   then goto 1;
  if      aux = 0,01     then goto 2;
  if      aux = 0,015    then goto 3;
  if      aux = 0,020    then goto 4;
  if      aux = 0,030    then goto 5;
  if      aux = 0,040    then goto 6;
  if      aux = 0,050    then goto 7;
  if      aux = 0,060    then goto 8;
```



```
if      aux = 0,080  then goto 9;  
if      aux = 0,100  then goto 10;  
if      aux = 0,150  then goto 11;  
if      aux = 0,200  then goto 12;  
if      aux = 0,250  then goto 13;  
  
1: aux1:=0,2      ;  
2: aux1:=0,32     ;  
3: aux1:=0,45     ;  
4: aux1:=0,80     ;  
5: aux1:=1,00     ;  
6: aux1:= 1,32    ;  
7: aux1:= 1,60    ;  
8: aux1:= 1,80    ;  
9: aux1:=2,12     ;  
10: aux1:= 2,50   ;  
11: aux1:= 3,75   ;  
12: aux1:= 5,00   ;  
13: aux1:= 6,25   ;  
  
transformadinrug:=aux1           ;  
end    ;
```



6.5. Modelo de Avanço e Profundidade de Corte

Sendo A_{smax} a máxima profundidade de corte de acordo com as especificações da peça, podemos usar as tabelas abaixo para encontrar os outros parâmetros de corte, quais sejam: avanço, máxima profundidade de corte e rugosidade superficial obtida.

Tabela 4: Avanço e Profundidade de corte como uma função da rugosidade superficial para operações de torneamento

Ra(μm)	$f_{\max}(\text{mm/rev})$	BHN=100	a_{\max} (mm)				
			200	250	300	350	400
0.8	0.08	0.64	0.37	0.31	0.26	0.24	0.22
1.0	0.10	0.80	0.46	0.39	0.33	0.30	0.27
2.0	0.20	1.61	0.92	0.77	0.67	0.59	0.53
3.0	0.30	2.41	1.38	1.16	1.00	0.89	0.80
4.0	0.36	3.22	1.85	1.54	1.34	1.18	1.06
5.0	0.40	4.02	2.31	1.93	1.67	1.48	1.33
6.0	0.44	4.82	2.77	2.32	2.00	1.77	1.59
7.0	0.48	5.63	3.23	2.70	2.34	2.07	1.86
8.0	0.51	6.43	3.69	3.09	2.67	2.36	2.12
9.0	0.54	7.23	4.15	3.48	3.00	2.66	2.39
10.0	0.57	8.04	4.62	3.86	3.34	2.9	2.65
11.0	0.60	8.84	5.08	4.25	3.67	3.2	2.92
12.0	0.62	9.65	5.54	4.63	4.01	3.5	3.18
13.0	0.65	10.45	6.00	5.02	4.34	3.8	3.45



Tabela 5: Rugosidade Superficial como uma função do avanço para operações de torneamento

Avanço (mm/rev)	Rug(µm)					
	D=20	D=30	D=35	D=35	D=50	D=50
	Z=2	Z=2	Z=3	Z=4	Z=4	Z=6
0.1	---	---	---	---	---	---
0.2	0.6	0.8	0.5	---	---	---
0.3	1.2	1.9	1.0	0.6	0.8	---
0.4	2.2	3.4	1.8	1.0	1.4	0.6
0.5	3.5	5.2	2.7	1.5	2.2	1.0
0.6	5.0	7.5	3.9	2.2	3.2	1.4
0.7	6.8	10.2	5.3	3.0	4.3	1.9
0.8	8.9	13.3	6.9	4.0	5.6	2.5
0.9	11.2	16.8	8.8	5.0	7.0	3.2
1.0	14.0	20.0	10.8	6.0	8.7	3.9

Tabela 6: A_s Max como uma função do avanço e da profundidade de corte

Avanço (mm/rev)	Prof. de corte(mm)					
	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
0.1	0.10	0.13	0.15	0.20	---	---
0.2	0.15	0.17	0.19	0.23	0.28	---
0.3	0.17	0.20	0.25	0.30	0.39	0.43



0.4	---	0.28	0.30	0.38	0.46	0.54
0.5	---	0.32	0.36	0.45	0.54	0.63
0.6	---	---	0.41	0.52	0.62	0.73
0.7	---	---	0.46	0.58	0.70	0.82
0.8	---	---	0.51	0.64	0.77	0.90
0.9	---	---	---	0.81	0.97	1.13
1.0	---	---	---	1.00	1.20	1.40

Implementação em Pascal:

```
type avanco = record
    Ra:real ;
    F :real ;
    B100 :real ;
    B200: real ;
    B250:real ;
    B300:real ;
    B350:real ;
    B400:real ;
end;

program capp ;
var teste: array[1..10] of avanco;

begin
    teste[1].Ra :=0,8 ;
    teste[1].F :=0,08 ;

```



```
teste[1].B100 :=0,64 ;
teste[1].B200 :=0,37 ;
teste[1].B250 :=0,31 ;
teste[1].B300 :=0,26 ;
teste[1].B350 :=0,24 ;
teste[1].B400 :=0,22 ;

teste[2].Ra :=1,0 ;
teste[2].F :=0,1 ;
teste[2].B100 :=0,80 ;
teste[2].B200 :=0,46 ;
teste[2].B250 :=0,39 ;
teste[2].B300 :=0,33 ;
teste[2].B350 :=0,30 ;
teste[2].B400 :=0,27 ;

teste[3].Ra :=2,0 ;
teste[3].F :=0,2 ;
teste[3].B100 :=1,61 ;
teste[3].B200 :=0,92 ;
teste[3].B250 :=0,77 ;
teste[3].B300 :=0,67 ;
teste[3].B350 :=0,59 ;
teste[3].B400 :=0,53 ;
```

{e assim por diante}

end;



6.6. Modelo de Seleção do inserto

Os requerimentos para o projeto do inserto são:

- Dureza maior que o material sendo trabalhado;
- Redução no desgaste do inserto;
- Habilidade de reter a dureza na temperatura elevada de corte;
- Resistência e tenacidade para poder resistir a carregamentos cíclicos;
- Inércia química ao material da peça e ao fluido de corte;

As tabelas abaixo apresentam algumas propriedades padronizadas de classes de insertos:

Tabela 7: Designações e propriedades padronizadas de classes de insertos

Designação:		Resistência à ruptura (tr)	Resistência à ruptura (tr)	Dureza Rockwell A
ISO	ASA	(psi)	N/mm ²	HR
P05	C8	220000	1450	92.58
P10	C7-C8	260000	1800	92.5
P20	C7	280000	2000	92.5
P25	C6	340000	2400	91.7
P40	C5	370000	2600	90.9
K01	C4	280000	1950	93.0
K10	C4	330000	2250	92.5



Tabela 8: Recomendações para raios de ponta como uma função da profundidade de corte

Profundidade de Corte (mm)	Raio de Ponta (mm)
0.5 (ou menor)	0.2 a 0.4
0.5 a 1.0	0.5 a 0.8
1.0 a 3.0	0.8 a 1.0
3.0 a 10.0	1.0 a 1.5
10.0 a 20.0	1.2 a 2.0
20.0 a 30.0	2.0 a 3.0

6.7 Modelo de outros parâmetros de corte

Evidentemente, um dos bancos de dados mais importantes a serem implementados é o banco de dados envolvendo os **parâmetros de corte**. Neste sentido lançaremos mão da equação de Taylor, que relaciona a velocidade de corte e o tempo de usinagem [Ferraresi]:

$$V \cdot T^n = \text{constante.}$$

Onde:

V = velocidade de corte;

T = tempo de mínimo custo, ou de máxima produção, ou ainda o tempo de usinagem ou vida da ferramenta.

n = expoente experimental dado em função do material a ser usinado e da ferramenta utilizada.



Pode-se definir a chamada velocidade de corte V_{60} que é referente a uma vida de ferramenta de 60 minutos. Aplicando a equação de Taylor chegamos facilmente a:

$$VT^n = V_{60} \cdot 60^n$$

```
function V(T:real;n:real,v60:real):real;
```

```
var aux,aux1,aux2:real;
```

```
begin
```

```
aux:=T^n ;
```

```
aux1:=v60*(60^n) ;
```

```
aux2:=aux1/aux ;
```

```
v:=aux2 ;
```

```
end.
```

Os valores de n podem ser obtidos da seguinte tabela [Ferraresi]:

Tabela 9: Valores do Exponente Experimental “n”

Material a ser usinado	Ferramenta	
	Metal Duro	Aço Rápido
Ferro fundido	0.25	0.25
Bronze, latão	----	0.25
Cobre	----	0.13
Aço Carbono	0.2-0.3	0.15
Alumínio e ligas	0.4	0.14



Por outro lado, tendo a velocidade de corte para uma determinada vida da ferramenta e o expoente experimental n , podemos obter a velocidade de corte para outras vidas da ferramenta, conforme a seguinte tabela:

Tabela 10: Fator de Multiplicação

Vida da Ferramenta (min)	Valores de 'N'						
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.35	0.40
60	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
120	0.93	0.90	0.87	0.84	0.81	0.79	0.76
240	0.87	0.81	0.76	0.71	0.66	0.62	0.58
480	0.78	0.76	0.66	0.60	0.54	0.48	0.43

Existe uma fórmula experimental que nos permite calcular a velocidade de corte para vida da ferramenta de 60 minutos:

$$V_{60} = \frac{C_a}{a^x \cdot p^y}$$

Onde C_a pode ser obtido em função do material e da dureza:

Tabela 11: Valores de C_a :

Dureza Brinell	Para Aço		Para Ferro Fundido	
	Metal Duro	Aço Rápido	Metal Duro	Aço Rápido
100	120-160	35-45	18.3	3.6
150	70-95	20-28	12.2	2.9
200	50-67	14-20	7.7-9.6	1.8



250	37-50	11-15	4.6-5.4	—
300	29-39	8.5-12	5	—

6.8 Modelo das máquinas e ferramentas disponíveis

Série	Descrição	Potência(W)	Max. Rot.(rpm)	Precisão(mm)	Custo (R\$/h)
F1	Fresa Vertical	4000	3000	0,1	50
F2	Fresa Vertical	2000	4000	0,01	100
F3	Fresa Horizontal	2000	4000	0,05	100
F4	Fresa Horizontal	3000	2500	0,005	150
M1	Furadeira Vertical	1500	6000	0,05	20
M2	Furadeira Vertical	2500	6000	0,01	50
I1	Torno	5000	3500	0,01	60
I2	Torno	4000	5000	0,02	50
I3	Torno	3000	2000	0,05	40
R1	Retífica	2000	4000	0,005	50
R2	Retífica	2000	5000	0,002	70

Implementação computacional em pascal:

```
type disponiveis = record
    titulo:char    ;
    pot: real      ;
    maxrot : real ;
    prec : real    ;
    custo: real    ;
end;
```

```
program capp ;
```



```
var teste: array[1..10] of disponiveis;
```

```
begin
```

```
{fresa vertical 1}
```

```
teste[1].titulo: = 'F1' ;  
teste[1].pot: = 4000 ;  
teste[1].maxrot: = 3000 ;  
teste[1].prec: = 0,1 ;  
teste[1].custo: = 50 ;
```

```
{fresa vertical 2}
```

```
teste[2].titulo: = 'F2' ;  
teste[2].pot: = 2000 ;  
teste[2].maxrot: = 4000 ;  
teste[2].prec: = 0,01 ;  
teste[2].custo: = 100 ;
```

```
{torno 1}
```

```
teste[3].titulo: = 'T1' ;  
teste[3].pot: = 5000 ;  
teste[3].maxrot: = 3500 ;  
teste[3].prec: = 0,01 ;  
teste[3].custo: = 60 ;
```

```
{torno 2}
```



```
teste[4].titulo: ='I2'          ;  
teste[4].pot:    = 4000         ;  
teste[4].maxrot: =5000         ;  
teste[4].prec:   = 0,02         ;  
teste[4].custo:  = 50          ;
```

{retifica 1}

```
teste[5].titulo: ='R1'          ;  
teste[5].pot:    =2000          ;  
teste[5].maxrot: = 4000         ;  
teste[5].prec:   = 0,005        ;  
teste[5].custo:  =50           ;
```

{ analogamente para os outros processos, que foram ocultos no relatório para evitar repetições}

end.



7. RESULTADOS OBTIDOS

Para obter os dados que apresentaremos abaixo, variamos as entradas, como rugosidade, tolerâncias dimensionais, etc e obtivemos, por meio do modelo de custos anteriormente apresentado, os valores do custo total da peça produzida (na verdade obtivemos dois custos: um utilizando a tolerância mais estreita possível para aquela peça e outra utilizando a configuração otimizada, com base nos modelos apresentados). Os valores da tabela não são necessariamente atuais, mas representam os dados obtidos por meio de literatura.

Depois verificamos como a otimização dos processos influí nos custos da peça. Os resultados são comentados na próxima seção.

Nível das tolerâncias dimensionais	Nível das tolerâncias de rugosidade	Uso inicial das máquinas	Uso das Máquinas após implantação	Custo Inicial	Custo Final	Variação (%)
Máximo	Máximo	0,7	0,74	56,17	56,11	0,10
1	1	0,7	0,74	58,01	56,75	2,17
2	2	0,7	0,73	58,15	57,09	1,82
3	3	0,7	0,75	60,35	58,23	3,53
4	4	0,7	0,77	74,38	62,56	15,89
5	5	0,7	0,79	79,25	64,26	18,97
Mínimo	Mínimo	0,7	0,78	89,12	81,29	8,79



8. CONCLUSÃO

Como já foi dito amplamente ao longo deste trabalho, a implementação do CAPP que foi feita neste trabalho por um meio de um software desenvolvido em linguagem Pascal, deu-se em apenas algumas etapas do processo de planejamento de processos.

Nas outras etapas, não automatizadas, o software colhe informações do próprio usuário, que realiza algumas escolhas independentemente do software. Estas escolhas são aquelas que requerem uma certa experiência de processos e mesmo um certo nível de inteligência, que é difícil de ser simulado.

As etapas automatizadas foram as seguintes:

- Recolhimento das entradas dos parâmetros desejáveis
- Geração do sequenciamento das operações.
- Agrupamento das operações elementares a serem realizados numa mesma máquina
- Seleção das máquinas dentre as disponíveis
- Seleção das condições de corte

As etapas não automatizadas foram as seguintes:

- Seleção de ferramentas
- Seleção dos dispositivos de fixação

Com relação aos resultados obtidos, verificamos que a melhora direta decorrente da implantação desse sistema parcial de CAPP em relação aos custos de fabricação foram muito discretos. Entretanto, devemos lembrar que os custos decorrentes de fabricação são apenas uma pequena parcela dos custos totais. Com o programa, poder-se-iam economizar recursos atrelados ao tempo de trabalho do processista, por exemplo.



Além disso, é natural que essa diminuição de custos atrelados à fabricação seja pequena, pois a única fonte de queda nestes custos foi a tentativa de se trabalhar com os parâmetros e condições de corte o mais perto possível do ideal.

Nesse sentido, qualquer redução de custos é desejável, visto que muitas vezes as empresas trabalham com níveis apertados de lucro, que podem ser aumentadas sem perder mercado.

Por último, devemos lembrar que as vantagens não se limitam às economicamente apreciáveis. A possibilidade de ter tudo arquivado, sem uso de papel, a melhora geral no nível de organização e até uma possível melhora do sistema para tirar vantagem da tecnologia de grupo são outras razões para se utilizar um software desta natureza.



9. BIBLIOGRAFIA

HALEVI, G., e WEILL. R. D. – Principles of Process Planning, Chapman & Hall, Londres , 1995.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – Processos Mecânicos de Usinagem- NBR 6175. São Paulo, 1980.

CHIAVERINI, V. – Tecnologia Mecânica (Processos de Fabricação e Tratamento Volume II), 2ºEdição, Makron Books , São Paulo, 1986.

ROZENFELD,H. Sistema CAPP: seus conceitos, casos práticos e desenvolvimentos. Máquinas e Metais, março de 1994.

FERRARESI, D. Fundamentos de Usinagem dos Materiais, 1ºedição, V1 , São Paulo, 1985.