

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS AUXILIADO POR COMPUTADOR
COM EXEMPLO DE APLICAÇÃO EM OPERAÇÕES DE FURAÇÃO

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL
DE SANTA CATARINA PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE
MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA.

ALEXANDRE NORMANN EW

FLORIANÓPOLIS (SC), JULHO DE 1989

O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS AUXILIADO POR COMPUTADOR
COM EXEMPLO DE APLICAÇÃO EM OPERAÇÕES DE FURAÇÃO.

ALEXANDRE NORMANN EW

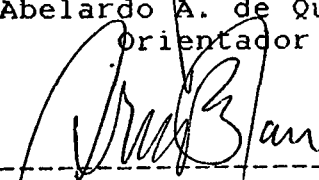
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA MECÂNICA

E APROVADA EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE PÓS-GRADUAÇÃO EM
ENGENHARIA MECÂNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA



Prof. Abelardo A. de Queiroz, Ph.D.
Orientador




Prof. Arno Blass, Ph.D.
Coordenador do Curso

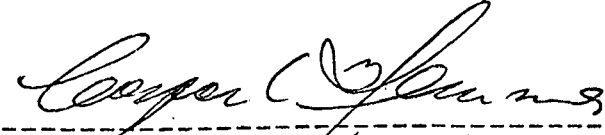
BANCA EXAMINADORA:



Prof. Abelardo A. de Queiroz, Ph.D.



Prof. Lourival Boehs, Dr. Eng. Mec.



Prof. Caspar E. Stemmer, Esp. Eng. Mec.

A DEUS,

PELO CARINHO QUE TEVE AO
CRIAR A MINHA FAMÍLIA

E A RAQUEL.

A G R A D E C I M E N T O S :

Agradeço ao professor Abelardo Alves de Queiroz, pela amizade, incentivo e orientação deste trabalho.

Aos professores Lourival Boehs e Walter Weingaertner, pelas sugestões e discussões em torno do tema no decorrer deste trabalho.

A professora Atelaine Meyer Normann Ew, pela revisão do texto deste trabalho.

Aos companheiros e amigos encontrados no GRUCON e nas Salas 5 e 6.

A PUC/RS e a CAPES, pelo sustento financeiro e ao Departamento de Engenharia Mecânica da PUC/RS, pela liberação das aulas.

Agradeço e parabênizo à COPESP, pelo grande gesto de incentivar alunos em seus trabalhos, colaborando com a integração Escola-Empresa que ainda é precária em nosso país.

Ao professor Arno Blass, pelas muitas conversas e à grande Verinha; uma amigona.

A família do "Seu Viana e da D. Olívia".

E a todos que, direta ou indiretamente, colaboraram com este trabalho.

ÍNDICE

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
Introdução	1
1 - O planejamento de processos	3
1.1 - Introdução	3
1.2 - Definição	3
1.3 - Principais etapas do planejamento de processos	4
2 - O planejamento de processos auxiliado por computador	11
2.1 - Introdução	11
2.2 - CAPP - O planejamento de processos auxiliado por computador	11
2.3 - Formas de planejamento de processos auxiliado por computador	12
2.3.1 - Forma variante	13
2.3.2 - Forma generativa	17
2.3.2.1 - Entrada de dados em sistemas generativos	19
2.3.2.2 - Estruturas de decisões lógicas	22
2.4 - Algumas vantagens econômicas no uso de sistemas CAPP	26
2.5 - Posição do CAPP junto à integração da fabricação	27
2.6 - Alguns sistemas CAPP existentes	30
2.6.1 - AMP	30
2.6.2 - AUTAP	31

2.6.3 - AUTOCAP	33
2.6.4 - AUTOPLAN	35
2.6.5 - CAPSY	35
2.6.6 - CAM-I / CAPP	35
2.6.7 - CPPP	37
2.6.8 - GARI	38
2.6.9 - ICAPP	38
2.6.10 - TIPPS	40
3 - Proposta para criação de um modelo CAPP	43
3.1 - Introdução	43
3.2 - Análise do problema	43
3.3 - Objetivos	45
3.4 - Estudo de um modelo	46
3.5 - Definição de recursos	48
4 - Tecnologia de usinagem	49
4.1 - Introdução	49
4.2 - Parâmetros de usinagem	49
4.2.1 - Equação expandida de Taylor	51
4.2.2 - Forças, momentos e potências de usinagem	52
4.2.3 - Relação entre avanço e diâmetro da broca	54
4.3 - Observações especiais	56
4.3.1 - Procedimento de decomposição de furos	56
4.3.2 - Furos profundos	58
4.3.3 - Furos de pequenos diâmetros	59
4.3.4 - Mandrilamento e torneamento interno	59
4.3.5 - Alargamento	61

5 - Modelo computacional	67
5.1 - Introdução	67
5.2 - O modelo computacional	67
5.3 - Organização física dos arquivos de dados	69
5.3.1 - Critérios para a escolha do tipo de organização	69
5.3.2 - Entidades e registros	70
5.3.3 - Atualização dos arquivos	70
5.4 - Armazenamento das características das ferramentas na matriz PP	72
5.5 - Fluxograma geral	73
6 - Implementação computacional	78
6.1 - Introdução	78
6.2 - Primeiro nível - Macrovisão do fluxo de dados	78
6.3 - Rotina de aquisição de dados	80
6.3.1 - Escolha do material da peça	81
6.3.2 - Escolha da máquina-ferramenta	81
6.3.3 - Definição das características dos furos	81
6.4 - Rotina de processamento dos dados	82
6.5 - Rotina de edição da folha tarefa	86
7 - Operação	88
7.1 - Introdução	88
7.2 - Início do programa	88
7.3 - Montagem dos arquivos	89
7.4 - Atualização dos arquivos	90
7.5 - Planejamento de processos	91
7.5.1 - Entrada de dados	92
7.5.2 - Edição da folha tarefa	94

Conclusões e sugestões de trabalhos	97
Referências bibliográficas	102
Apêndice 1 - Vida da ferramenta	107
Apêndice 2 - Conteúdo dos arquivos de dados	112
Apêndice 3 - Diagrama de fluxo de dados	115

R E S U M O

As atividades de detalhamento das instruções de trabalho para a execução de um produto, conforme seu projeto, se caracterizam como funções do planejamento de processos. Os recentes esforços para usar o computador como um elemento de auxílio às tarefas de planejamento de processos, têm desenvolvido novos recursos capazes de elaborar uma sequência de operações consistente, reduzir as tarefas manuais e as decisões corriqueiras de responsabilidade do processista. Desta forma este profissional estará disponível para assumir tarefas mais elevadas em seu setor.

Esta dissertação trata dos aspectos conceituais e das aplicações decorrentes do uso do computador no planejamento de processos, ou seja o "Computer Aided Process Planning" (CAPP).

Também é mostrado um modelo generativo de CAPP, desenvolvido em função deste trabalho. O programa é composto por uma série de rotinas que determinarão o processo de fabricação, considerando o acabamento da peça, as características da máquina-ferramenta e as características das ferramentas. O resultado final do processamento é a edição da folha tarefa contendo a sequência de operações com as ferramentas e máquinas-ferramentas selecionadas e seus parâmetros de corte.

ABSTRACT

The activities of detailing work instructions to make same product, according its design, are identified as "process planning functions".

The efforts to use the computer technology as a support of the process planning, developed new resources, capables to organize a consistent sequency of operations, reducing duties done by hand and usual decisions make by process planner. Due to these new procedures the time available to do other assignments, more important and with higher responsibility, will be significant. The conceptual aspect as well as the applications of Computer Aided Process Planning (CAPP) make the scope of this work.

A special created generative software is showed and deeply commented. The software is based on several procedures that will determine the work plan considering the part finshing, tools and machining tool characteristics.

The final result is the edition of the work plan sheet containing an indication to operation sequency steps, selected tools, machining tools and its machining parameters.

INTRODUÇÃO:

Entre as tarefas que unem o projeto de produto (CAD) e as operações da fabricação (CAM), encontra-se o planejamento de processos, que é responsável pela elaboração das instruções de trabalho para a execução de um produto.

O planejamento de processos, de uma forma geral, é uma tarefa típica da manufatura por lotes e representa a transferência das decisões operativas (ou seja, como fabricar uma peça) do ambiente de chão de fábrica para um escritório dentro da própria empresa. Tradicionalmente esta tarefa, identificada como a preparação das folhas de processo, é desenvolvida por profissionais de larga experiência, o que hoje em dia, é mão-de-obra escassa no mercado. Sem haver uma sistematização dos processos de fabricação, as decisões de manufatura recaem exclusivamente sobre a experiência destes técnicos.

Ao contrário do projeto, onde os dados de representação gráfica significam a maior parte das informações requeridas, no planejamento do processo as informações envolvidas giram em torno de dados tecnológicos e organizacionais.

Os desenvolvimentos em áreas ligadas à automatização vêm sendo incentivados dia à dia por vultosos recursos em suas pesquisas. Com o decorrer do tempo, as áreas de fabricação e projeto se destacaram pelos avanços alcançados através do uso do computador, auxiliando suas tarefas. Assim, para o projeto surgiram o CAE, CAD (1963) e, para a fabricação, o CAM (APT - 1955), o comando numérico (1952), DNC, FMS, entre outros,

culminando com a atual tendência rumo ao CIM.

Apesar de sua importância, o planejamento de processos não acompanhou o ritmo eufórico destes desenvolvimentos, devido a complexidade e abrangência dos parâmetros envolvidos. Portanto, passou a existir um vazio de tecnologia informatizada entre o projeto (CAD) e a manufatura (CAM). Os esforços para colocar o planejamento de processos aos mesmos níveis de desenvolvimento em que hoje encontram-se o CAD e o CAM, concentram-se na busca do planejamento de processos auxiliado por computador (CAPP). Neste contexto, as tarefas de planejamento de processo começam a ser estudadas no sentido de buscar as melhores técnicas de fabricação e sistematizá-las em procedimentos computacionais.

A contribuição desta dissertação ao estudo do CAPP inicia com uma revisão bibliográfica, que parte do planejamento de processos convencional até atingir os conceitos e características concernentes ao CAPP.

Para a comprovação dessas características, foi proposto o desenvolvimento de um modelo de CAPP voltado às operações de furação. Esse projeto envolveu o estudo de normas de tolerâncias e tecnologia de usinagem. Também foram estudados problemas particulares da furação, como furos profundos, furos de pequeno diâmetro, ferramentas de corte e máquinas-ferramentas usadas. O trabalho de identificação dos aspectos práticos da furação resultou em regras lógicas que formaram o algoritmo do programa.

A concepção deste trabalho, cujo modelo será chamado de PLANPRO - 1, marcou a abertura da linha de pesquisas em CAPP dentro do Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC.

CAPÍTULO 1

O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS

1.1 - INTRODUÇÃO:

Este capítulo trata de aspectos do planejamento de processos convencional, ou seja, aquele onde o processista é o responsável pela criação de todas as instruções de trabalho para fabricar determinada peça, sem o auxílio de um sistema computacional. Para isto, serão vistas algumas definições e analisadas as principais etapas desta tarefa, que denominamos planejamento de processos

1.2 - DEFINIÇÃO:

Planejamento da manufatura, planejamento de processos, processamento de materiais ou roteiro de usinagem, são algumas terminologias usadas para o assunto em questão. Para evitar confusões, será adotado o termo PLANEJAMENTO DE PROCESSOS, que, segundo a literatura utilizada, pode ser definido das seguintes formas:

a) É a atividade que estabelece os processos de usinagem e os parâmetros de corte que serão usados para converter uma

matéria bruta em peça acabada, conforme projeto mecânico [1].

b) É o ato de preparar o detalhamento das instruções de trabalho para produzir uma peça [1].

c) É o subsistema responsável pela conversão de dados de projeto em instruções de trabalho [2].

d) É o processo que determina os métodos e a sequência de usinagem para fabricar um produto final de acordo com especificações do projeto [2].

e) Coleção de atividades de planejamento necessárias para converter um desenho de uma peça em um produto manufaturado. O seu objetivo é selecionar a sequência de operações e o processo de transformar a matéria prima em produto acabado [3].

Nota-se nestes conceitos, que o campo de atuação do planejamento de processos envolve a seleção de processos, parâmetros de corte e ferramentas adequadas para transformar matéria bruta em produto acabado, de acordo com o projeto de engenharia [2]. As tarefas mais importantes que constituem o planejamento de processos serão comentadas no próximo item.

1.3 - PRINCIPAIS ETAPAS DO PLANEJAMENTO DE PROCESSOS:

A - Análise do desenho:

O desenho mecânico de uma peça deve ser explícito em seus menores detalhes, e o processista deverá estar atento aos seguintes itens [4]:

a) Se o número de projeções e cortes são suficientes para dar a exata idéia da forma da peça.

b) Se o desenho estipula todas as tolerâncias de forma e posição.

c) A classe de acabamento superficial deve ser especificada para todas as superfícies.

d) Observar no desenho o material da peça, dureza e tratamento térmico.

e) Observar as características geométricas das superfícies e suas inter-relações (paralelismo, batimento, ...).

B - Volume de produção:

Levando em consideração a diversidade dos meios de produção e as várias técnicas de usinagem que hoje são disponíveis, é de fundamental importância para o planejamento de processos conhecer o tamanho do lote a ser produzido.[4],[5].

C - Desenho da peça bruta:

No planejamento das operações de usinagem é necessário saber qual a forma inicial da peça bruta e qual a precisão de suas dimensões (pois a peça bruta pode ser fundida, forjada, etc). Com isto se tem uma primeira idéia da quantidade de cavaco que será removida. Em se tratando de peças advindas da fundição ou da forjaria é interessante ter em mãos os desenhos dos moldes de fundição ou das matrizes, respectivamente. Isso porque é levado em consideração, no projeto do dispositivo de fixação da peça, os arranjos de canais de vazamento (peça fundida) e a zona de formação de rebarbas (peças forjadas) [4].

D - Seleção das máquinas ferramentas:

As máquinas serão escolhidas com base nos seguintes critérios: [2]

- a) Número e tipo de ferramentas usadas na peça,
- b) Tamanho do lote,
- c) Precisão de fabricação da peça,
- d) Capabilidades (recursos e capacidades) da máquina.

Quanto ao número de ferramentas, deve-se procurar máquinas que possam executar um máximo de operações com suas respectivas ferramentas, evitando, sempre que possível, a troca de fixação da peça.

O tamanho do lote irá influenciar na escolha entre uma máquina dedicada ou flexível. Quanto mais justas forem as tolerâncias, maior deverá ser o cuidado na escolha das máquinas e das ferramentas.[5]

E - Seleção de ferramentas:

Nesta etapa, o processista deve escolher um grupo de ferramentas que opere na peça as formas de superfícies com a qualidade requerida no projeto. A escolha das ferramentas e as técnicas de manufatura são diretamente influenciadas pelas tolerâncias e pela classe de acabamento superficial de uma dada peça [2]. Quando as exigências de tolerâncias são altas, inevitavelmente o processo será acrescido de mais etapas.

F - Seleção das superfícies de referência:

Este importante problema deve ser solucionado antes da elaboração de uma sequência de trabalho, para garantir a exatidão especificada no projeto da peça. O propósito desta operação é fixar na peça bruta uma superfície que servirá de referência para o resto do trabalho.

Em muitos casos esta superfície de referência deverá ser usinada na peça. A escolha desta superfície passará pelas seguintes etapas: [4]

a) A superfície de referência deverá ser usinada dentro de uma tolerância tal que garanta a qualidade requerida nas demais faces. Esta tolerância normalmente é um terço ou um meio das tolerâncias exigidas nas superfícies localizadas a partir da referência.

b) Sempre que possível, deve coincidir com a referência do desenho.

c) Uma superfície de onde partem cotas com tolerâncias apertadas a outras superfícies, deve ser usada como referência para a preparação da usinagem da primeira superfície. Sempre que possível, recomenda-se usinar todas as cotas com a mesma referência.

d) Caso existirem mais de uma superfície cogitadas para servir como referência, prefere-se aquela que apresentar, em bruto, forma e dimensão mais próximas das medidas finais.

G - Sequência de usinagem:

A importância do sequenciamento está em elaborar uma

ordem de fabricação que garanta a qualidade desejada para a peça e otimize a utilização do equipamento disponível [4].

As operações selecionadas devem ser postas em uma sequência definida, obedecendo uma certa ordem de precedências [2]. Essa ordem é determinada de acordo com as tolerâncias de fabricação exigidas pelo projeto e algumas considerações técnicas, como por exemplo, tamanho, forma e material da peça, fixação, tipos de ferramentas utilizadas e máquina-ferramenta.

H - Agrupamento de operações (Concentração e diferenciação):

Na elaboração do plano de usinagem, um importante passo é decidir em quantas etapas será composto o processo. Este planejamento deverá estar baseado em dois princípios: concentração e diferenciação de operações de usinagem. O primeiro se caracteriza pelo esforço de concentrar a usinagem no menor número de operações possíveis.

O segundo princípio envolve a subdivisão da usinagem, aumentando o número de etapas.

A concentração reduz o número de ajustes na peça. Isso é fundamental na usinagem de peças pesadas ou de grande exatidão. Outra vantagem é a redução do número de dispositivos de fixação e a possibilidade de se usar máquinas de alta produção.

A diferenciação simplifica a operação de ajuste do equipamento. Ela possibilita que operadores menos experientes possam executar o trabalho.

Um dos principais fatores na decisão do grau de diferenciação ou de concentração é o tamanho do lote ou o volume de produção.

I - Fixação da peça:

Uma vez escolhida a sequência de usinagem, agora é importante posicionar e fixar a peça no local de trabalho. Em geral, o estudo do posicionamento e fixação de uma peça é uma tarefa muito difícil e demanda muito tempo de pesquisa e projeto para um dispositivo adequado.

Pode-se encontrar uma ampla discussão sobre este assunto nas seguintes referências bibliográficas: [4], [40] e [41].

J - Parâmetros de corte [2]:

A eficiência de um trabalho de usinagem está associada, entre outros fatores, ao uso de parâmetros de corte adequados e otimizados. O cálculo da velocidade de corte, do avanço, da profundidade de corte, da força de corte e da potência de corte, por exemplo, são influenciados pelas estratégias de produção da empresa (mínimo custo ou máxima produção), e por outros aspectos tecnológicos, como a vida da ferramenta, o critério de desgaste adotado e o equipamento disponível.

Segundo Taylor [19], a velocidade de corte pode ser estipulada considerando-se o critério de desgaste, a vida da ferramenta, o material da peça e da ferramenta, o avanço e a profundidade de corte. Tanto o avanço quanto a profundidade de corte são limitados pelas características da máquina-ferramenta e pela qualidade de fabricação exigida pelo projeto.

Um aumento demasiadamente grande do avanço ou da profundidade de corte reflete um acréscimo na força de corte e na potência de corte. Com isto, sobe a temperatura na zona de

cutte e, se não for usada uma refrigeração correta, a vida da ferramenta e o acabamento da peça ficam prejudicados. Além disso, pode ocorrer vibrações que também têm consequências indesejadas.

Indicações de valores de velocidade de corte, avanço e profundidade de corte, em função de algumas variáveis, como o material a ser usinado, material da ferramenta e vida da ferramenta, podem ser encontrados em tabelas de fabricantes de ferramentas, na bibliografia técnica, em bancos de dados de usinagem ou em registros da experiência da própria empresa.

CAPÍTULO 2

O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS AUXILIADO POR COMPUTADOR

2.1 - INTRODUÇÃO:

O objetivo deste segundo capítulo é apresentar os desenvolvimentos ocorridos no campo do planejamento de processos auxiliado por computador (CAPP), como consequência da aplicação dos atuais recursos computacionais.

Primeiramente, serão mostradas as principais formas de CAPP que atualmente são conhecidas. A seguir, se fará uma breve revisão sobre assuntos inerentes ao tema em pauta, como tecnologia de grupo, estrutura lógica de decisões e formas de entradas de dados.

No decorrer do capítulo, serão feitas considerações sobre as vantagens econômicas do uso de um sistema CAPP e sua posição no contexto da automação industrial. Por fim, serão comentados alguns modelos de sistemas CAPP desenvolvidos.

2.2 - CAPP - O PLANEJAMENTO DE PROCESSOS AUXILIADO POR COMPUTADOR

A transformação da matéria prima em peça acabada, de acordo com as características do projeto, exige o emprego de

conhecimentos técnicos e experiência em manufatura. Nas empresas, esse conhecimento encontra-se presente, na maioria das vezes, em seus técnicos mais experientes, que levam essa habilidade para o seu local de trabalho ou orientam o serviço de outros menos experientes.

Para automatizar o planejamento de processos, é necessário captar uma série de regras e técnicas que relacionem determinadas especificações de fabricação com possíveis sequências de operações.

Os primeiros esforços nesse sentido foram de introduzir alguns conceitos de tecnologia de grupo (TG) ao planejamento de processos [7]. Esta abordagem inicial a respeito do CAPP, faz uso dos códigos gerados pela TG como chaves para recuperação de planos já existentes. Desta forma, a elaboração de um plano de fabricação para uma peça pertencente à mesma família exigiria certas alterações, que nesta primeira concepção, seriam feitas manualmente por planejadores experientes.

2.3 - FORMAS DE PLANEJAMENTO DE PROCESSOS AUXILIADO POR COMPUTADOR

O planejamento de processos usualmente se divide em duas formas, a saber, variante e generativa. A primeira forma se baseia na criação e recuperação de um plano padrão de processo para diversas peças que contenham características semelhantes, enquanto a forma generativa se caracteriza pela geração de um plano de fabricação específico para cada peça, a partir de

informações do projeto da peça. Nos próximos itens serão mostrados mais detalhes dessas formas.

2.3.1 - Forma variante:

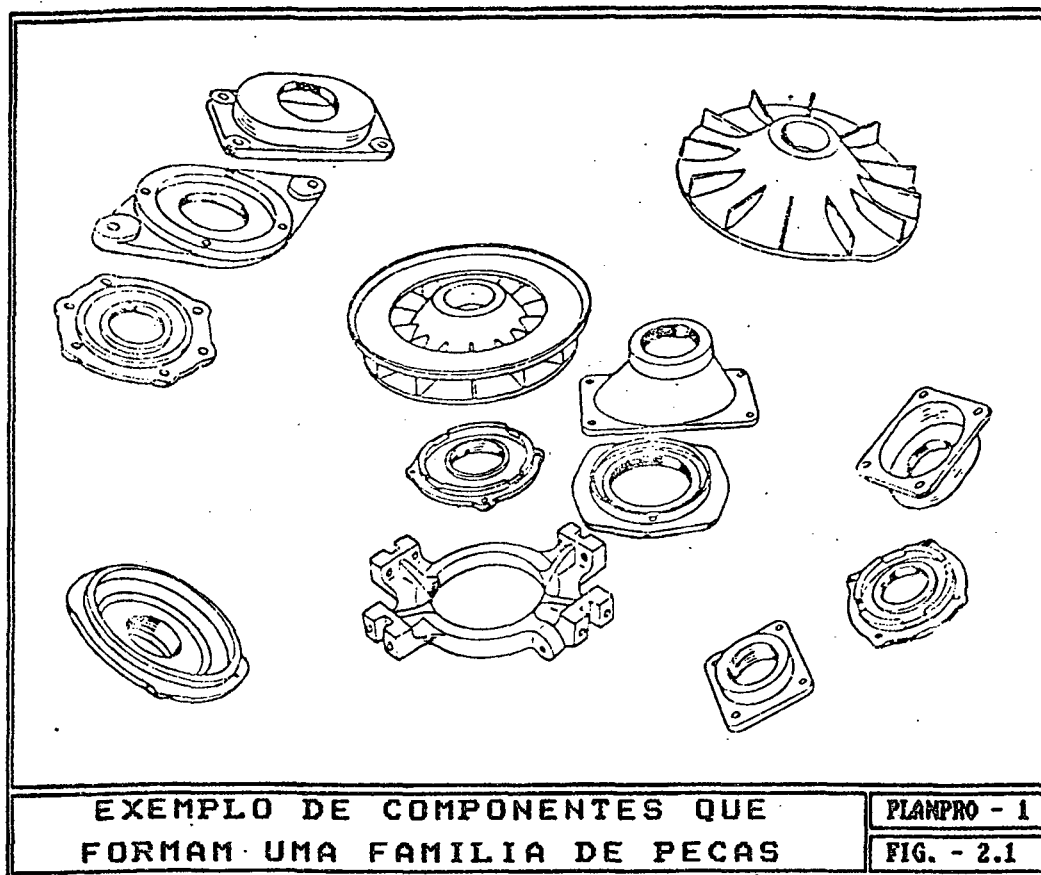
A forma variante de planejamento de processos se baseia numa estrutura de TG anteriormente instalada na empresa e na elaboração de planos para estas famílias de peças. O plano de fabricação feito para uma família de peças será chamado de plano padrão.

O conceito de tecnologia de grupo tem sido praticado por muitos anos como parte da "boa prática em engenharia". No começo deste século, Taylor já usava um sistema que codificava e classificava peças [8]. Porém a formalização do conceito veio no livro "The scientific principles of group technology" de S.P. Mitrofanov: [1]

"A tecnologia de grupo considera que muitos problemas são similares, e que, se forem agrupados por similaridade, uma única solução poderá resolver tais problemas, economizando tempo e dinheiro."

A aplicação da TG se dá tanto na área de fabricação como em projetos. Na fabricação podemos ver que existem peças de formas e funções diferentes, mas requerem processos de fabricação semelhantes. A figura 2.1 [1] mostra um grupo de peças que requerem uma série de operações semelhantes como mandrilamento, faceamento e furação. Portanto, existe uma similaridade entre estas peças, e seu agrupamento formará uma

família de produção [1]. No projeto de peças, agrupam-se aquelas que têm formas semelhantes. Assim, um novo projeto pode ser feito apenas modificando-se algumas características de um componente já existente. Desta maneira, as peças com projeto semelhante formarão as famílias de projeto [1].



Estes conceitos facilitam o trabalho de planejamento de processos. Como as peças são agrupadas por similaridade, basta a elaboração de um plano de trabalho que englobe essas características comuns. A este plano de trabalho chamaremos de plano padrão. Ele deverá ser de fácil adaptação às características particulares de cada peça que compõe a família.

Na utilização das técnicas de TG, a codificação e a classificação de peças são dois aspectos de fundamental

importância para uma correta formação de famílias.

A codificação estabelece símbolos que comunicam determinados atributos das peças. A classificação é outro processo onde as peças são separadas em grupos de acordo com suas semelhanças.

Para as aplicações em TG, um sistema de codificação e classificação deve satisfazer, dentro do possível, os seguintes requisitos [8]:

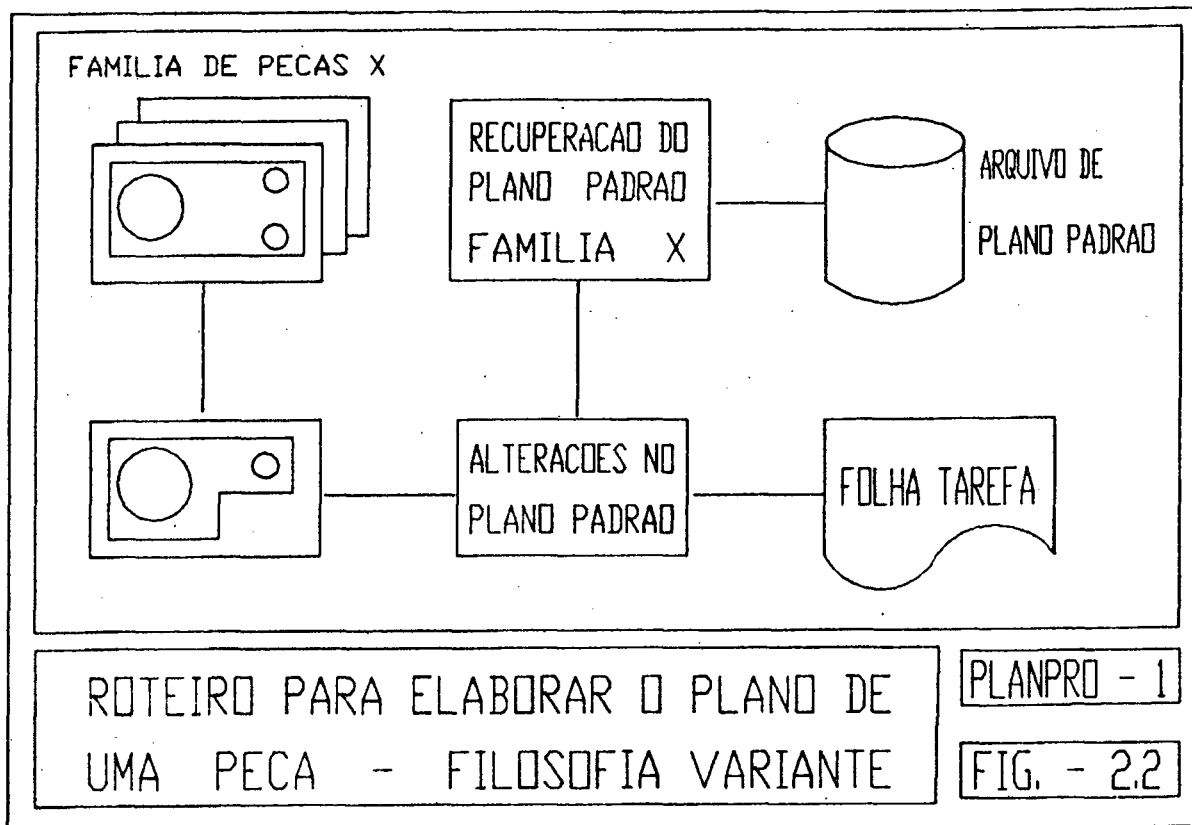
- Abrangência: Deve abranger todos os itens existentes na produção.
- Mutuamente exclusivo: Deve ser capaz de excluir peças diferentes e incluir peças semelhantes.
- Baseado em características permanentes: Deve estar baseado em características visíveis e permanentes.
- Específico para as necessidades do usuário.
- Adaptável a futuras mudanças.
- Adaptável ao processamento por computador.
- Aplicável em todos setores da empresa.

Existem vários sistemas de codificação e classificação (Opitz, KK-3, Code, Miclass, etc. [1]), porém ainda não existe um sistema universalmente aceito. Uma vez que cada empresa tem suas condições e necessidades específicas, é útil pesquisar um sistema adequado que possa ser adaptado para os requerimentos específicos de cada indústria [8].

Quando um plano padrão de uma família é recuperado para editar o processo de uma peça, será necessário fazer algumas modificações neste plano para torná-lo aplicável para a referida peça.

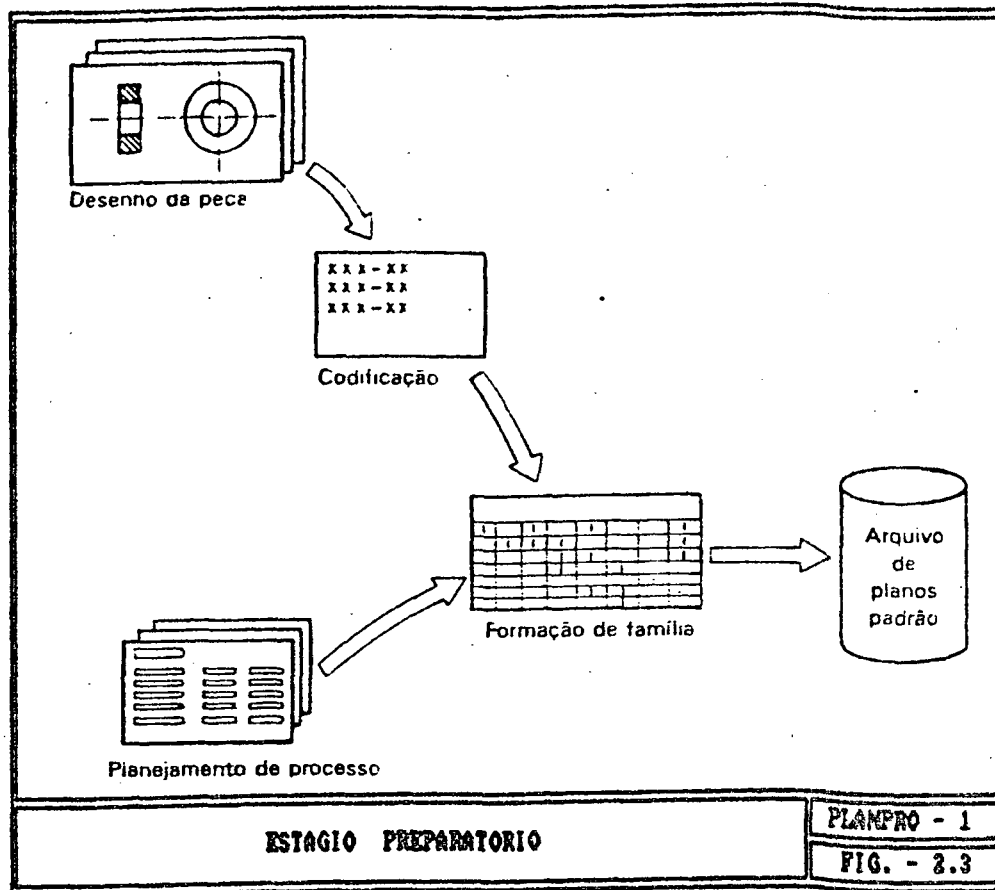
Pela figura 2.2. observa-se que o desenho da peça foi retirado de um arquivo onde está armazenada a família de peças

x. O plano padrão x também foi recuperado de um outro arquivo e a chave usada para recuperá-lo do banco de dados é o código da família de peças.



De um modo geral, a forma variante de planejamento de processos apresenta dois estágios: um estágio preparatório e outro de produção [1]. Durante o estágio preparatório as peças existentes são classificadas, codificadas e finalmente agrupadas em famílias.

Uma vez montada a família de peças, o passo seguinte é elaborar o plano padrão para os componentes desta família. Conforme mostra a figura 2.3 [1], o plano padrão é armazenado numa base de dados e indexado com o código da matriz família. O estágio de produção ocorre quando o sistema já está operando. Ocorre quando uma nova peça, um novo projeto vai ser executado. Primeiramente, a peça é analisada e codificada. Este código é

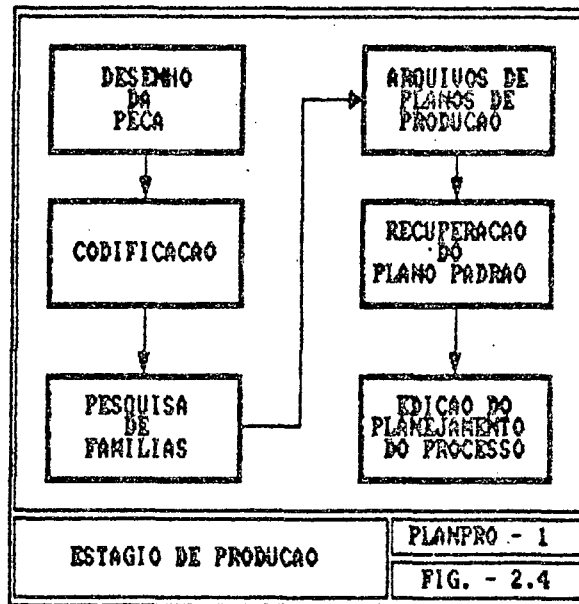


colocado em uma rotina de pesquisa que tentará enquadrar esta peça em uma das famílias existentes. O código da família resgatará o plano padrão e o operador (ou processista) irá proceder às adaptações do plano à nova peça.

Este estágio é mostrado na figura 2.4 [1].

2.3.2 - Forma generativa:

A forma generativa de planejamento de processos pode ser concisamente definida como a geração de um plano de trabalho a partir de informações de projeto contidas numa base de dados, sem a intervenção do operador. Uma vez recebido o modelo do projeto, o sistema é capaz de selecionar as operações e a sequência de trabalhos necessários para fabricar a peça [1].



O processo generativo deve conter o conhecimento de manufatura codificado em forma de "software". Através de decisões lógicas, a forma generativa de planejamento de processos tenta imitar a flexibilidade de um processista na execução de funções como seleção de ferramentas, máquinas-ferramentas, parâmetros de corte, instruções de operações, etc.

Este processo apresenta as seguintes vantagens:

- É apto para trabalhar com sistemas de manufatura com muita variação nos itens de produção;
- Pode gerar planos consistentes rapidamente;
- Tem facilidade para produzir planos para novas peças;
- Pode ser facilmente interfaceado com outras atividades da empresa (CAE, CAD, CAM, Custos,...), desta forma recebendo e transmitindo informações atualizadas.

A forma generativa, no sentido estrito, é aquela onde todas as decisões inerentes ao processo são tomadas pelo

"software", que também exerce um gerenciamento sobre todas as variáveis envolvidas, tais como: capacidades dos meios de produção, custos, tempos, materiais, estoques de ferramentas, etc. Este ideal de flexibilidade atualmente ainda não é atingido [3/9]. O que existe são sistemas generativos aplicados a determinados tipos de operações, como por exemplo: torneamento [2/10/6], fresamento [7/11] e corte de chapas [2].

A aproximação dos sistemas existentes com a forma generativa conceitual vem sendo pesquisada na intenção de serem ultrapassados obstáculos como a identificação e armazenamento da tecnologia de vários processos de fabricação e a definição das formas da peça. Esta última, deve ser feita de forma clara e precisa, para que a lógica de processamento saiba como interpretar a geometria e identificar as superfícies que serão trabalhadas.

2.3.2.1 - Entrada de dados em sistemas generativos:

Há várias maneiras de dar entrada de dados no sistemas, entre elas, códigos, linguagem descritiva e modelagem via CAD.

a) Códigos: A codificação é mais comumente usada na forma variante (tecnologia de grupo). Mesmo assim, alguns sistemas generativos, como APPAS [1] e GENPLAN [1], também usam a codificação como entrada de dados. Os códigos no sistema generativo são mais detalhados e algumas vezes aglutinam valores de parâmetros.

No sentido de determinar a sequência de fabricação, é apropriado dar um código à peça, pois assim são atribuídas a ela

informações globais. Entretanto, no processamento de detalhes, é necessário a codificação de superfícies. Um código de superfície normalmente descreve a forma, dimensões, acabamento e tolerâncias desta.

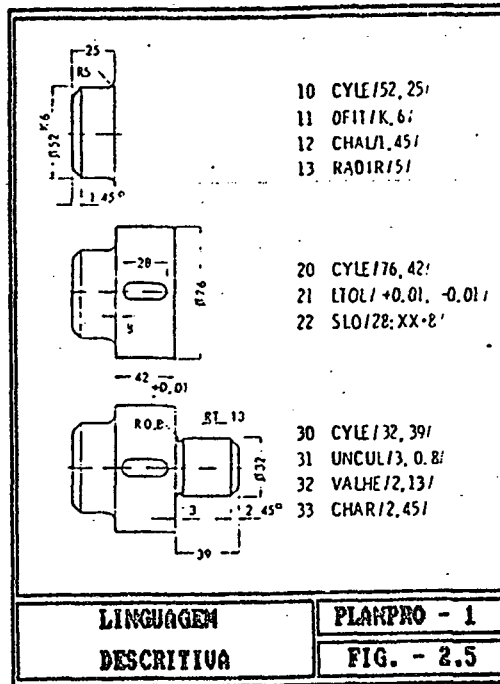
Embora o uso de códigos de superfície seja de fácil manejo e de fácil armazenamento, a dificuldade está na geração automática do código (via "software"). Nesse caso, a intervenção humana facilitaria a transmissão de informações do projeto para o sistema de planejamento do processo.

b) Linguagem descritiva: As linguagens especialmente concebidas para descrever peças podem fornecer informações bastante detalhadas para o sistema de planejamento de processo. O sistema AUTAP usa uma linguagem que descreve a peça fazendo a união de certas primitivas e modificadores. A figura 2.5 [1] mostra como a linguagem descreve uma peça cilíndrica [1].

As instruções CYCLE (cilíndro), CHAL (chanfro à esquerda), CHAR (chanfro à direita), UNCUL (rebaixo), RADIR (concordância de raio à direita) são, entre outras, primitivas e modificadores.

Esta linguagem pode descrever peças de razoável complexidade, porém, por não possuir variáveis booleanas, o grau de dificuldade para a descrição aumenta consideravelmente. Outra observação importante é que a sequência de fabricação da peça é diretamente influenciada pela sequência de modelamento.

Ainda outros sistemas usam linguagens descritivas, como por exemplo [1]: CIMS/PRO, GARI, CPPP, AUTOTECH. Cada sistema tem sua própria forma de descrever uma superfície e dar as dimensões à peça.



Embora as linguagens descritivas forneçam os elementos completos para a geração de um plano de trabalho, o problema principal - a dificuldade de assimilar o desenho original automaticamente - ainda persiste.

c) Modelamento via CAD: Um projeto de uma peça em um sistema CAD, gera um modelo que pode ser usado como entrada de dados para o sistema de planejamento de processos. Esta forma elimina a intervenção do operador para traduzir um desenho em códigos de linguagem. Um desenho modelado num sistema CAD pode conter todos os dados necessários para uma completa análise de planejamento. Entretanto, ainda existe uma barreira que deve ser transposta - um algoritmo que identifique as superfícies que serão trabalhadas, na base de dados do CAD. Esse pré-processador analisará os arquivos gráficos, extraindo dados como

dimensões, tolerâncias e demais características de cada superfície. Esses dados irão alimentar o sistema CAPP, fazendo com que exista uma perfeita integração entre os atos de projetar e planejar o processo de fabricação.

2.3.2.2 - Estrutura de decisões lógicas:

O cerne de um sistema generativo é sua estrutura de decisões lógicas, pois ela associa a ocorrência de determinadas condições (entradas) à uma certa ação (saída). A estrutura de decisões do sistema pode ser descrita por expressões do tipo "se... então..." e estas podem ser facilmente transcritas em sentenças lógicas para um programa de computador.

Existem várias maneiras de se conceber uma estrutura de decisões. Entre elas mostraremos:

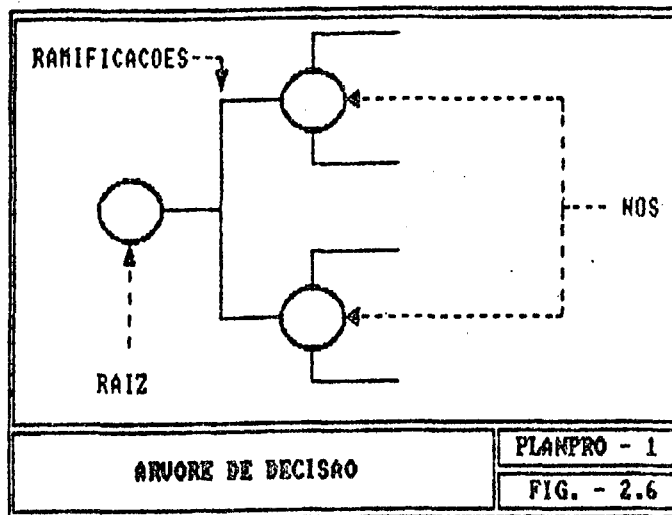
- a) Árvore de decisões
 - b) Planilhas de decisões
 - c) Inteligência artificial.
- a) Árvore de decisões:

Esta é uma estrutura onde as condições e decisões são graficamente dispostas de uma forma que lembra uma árvore, com sua raiz e ramos. Para uma melhor visualização, consideraremos a seguinte situação para um programa de fim-de-semana:

- a) Se o dia estiver ensolarado e quente, iremos à praia.
- b) Se o dia estiver ensolarado e frio, iremos à serra.
- c) Se estiver chovendo, ficaremos em casa.

Arranjando esta situação na forma de uma árvore de decisões, teremos a configuração mostrada na figura 2.6. Cada ramo

está associado a uma condição "se". Ramos em série representam o "e" lógico (por exemplo, se fizer sol E estiver quente, iremos a praia.). As decisões são tomadas na junção das ramificações, chamadas de nós.



Os ramos só podem assumir dois valores: verdadeiro ou falso. Quando um ramo é considerado falso, o sistema parte para a análise de outro ramo, ou então direciona o processo para o fim. Quando um ramo verdadeiro admite outro ramo verdadeiro, estaremos diante de uma condição de alternativa "ou".

Este sistema de decisão é bastante simples de ser criado em qualquer linguagem de programação, entretanto a expansão ou manutenção do programa é bastante complexa.

b) Planilha de decisões:

Uma planilha de decisões é composta por dois setores básicos: condições e ações a serem tomadas. Para um determinado evento serão testadas as condições e, de acordo com elas, será tomada uma decisão (escolha de uma ação). Desta forma, o

exemplo mostrado no item anterior fica com a configuração mostrada na figura 2.7.

TAREFAS →	A	B	C
CONDICAO 1	V		F
CONDICAO 2		F	
CONDICAO 3	F	V	F
CONDICAO 4	F	V	F
ACAO 1	X		X
ACAO 2		X	
ACAO 3		X	

PLANILHA DE DECISOES

PLANPRO - 1

FIG. - 2.7

Cada condição (chuva/calor) admite uma entrada verdadeira (V), ou falsa (F), ou ainda indiferente (branco). Tomando como exemplo o evento número 1, vemos que a primeira condição é falsa, logo o dia está ensolarado. A segunda condição garante que o dia também está quente. Logo a decisão é ir à praia.

Na elaboração de uma planilha de decisões é importante observar alguns detalhes, como:

- Deve ser completa, caso contrário pode haver dúvidas nas decisões.
- Deve ser precisa na representação das regras.
- Não deve ser redundante.
- Cuidar a possibilidade de "loop".

É importante observar o tamanho da planilha, pois além de ocupar muito espaço de memória no computador, também reduz a eficiência na tomada de decisões.

c) Inteligência artificial (IA):

É uma forma de codificação onde o conhecimento humano é captado e representado de forma apropriada (geralmente em regras). Isto dá ao sistema de IA a habilidade de realizar tarefas que normalmente estão ligadas à inteligência humana, como por exemplo raciocinar em torno de variáveis, planejar e solucionar problemas.

No caso da IA aplicada ao planejamento de processos, as regras são usadas para representar basicamente dois tipos de conhecimento:

- Conhecimento da peça componente, ou seja, o estado do problema. Também chamado "conhecimento declarativo".

- Conhecimento do processo, ou seja, como executar a solução de problema anteriormente declarado. Também chamado de "conhecimento procedural".

A aplicação do conhecimento procedural sobre o conhecimento declarativo, de maneira lógica, é chamada de "conhecimento de controle".

O campo de abrangência da IA é muito vasto e muitas pesquisas vêm sendo feitas. Os recursos de deduções rápidas oferecem um grande potencial para planejar peças de forma global, considerando o inter-relacionamento das superfícies (diferentemente da forma mais comum atualmente, que analisa face por face isoladamente). Este, que parece ser o estágio mais avançado de decisões, exige uma quantidade de trabalho significativo no seu desenvolvimento, para se tornar operacional no campo de planejamento de processos auxiliado por computador.

2.4 - ALGUMAS VANTAGENS ECONÔMICAS NO USO DE SISTEMAS CAPP:

Quando um processista elabora um roteiro de trabalho para a manufatura de uma peça, ele está influenciando diretamente no custo final dessa peça. Se o plano contiver erros na rota da peça, na escolha da máquina ferramenta, na escolha das ferramentas ou parâmetros de cortes inapropriados, estes custos aumentarão significativamente.

As chances de erros, a morosidade do processo e principalmente a falta de uma padronização, tornam o planejamento de processos tradicional ineficiente.

O uso de um sistema CAPP traz para dentro da empresa a mentalidade da padronização, ou seja, cria uma porta de entrada para a tecnologia de grupo. Em outras palavras, a maior eficiência de um sistema CAPP está em lidar com peças que, de alguma forma, tenham seus projetos padronizados, pois conseqüentemente, os processos de fabricação serão semelhantes.

Quando um plano de trabalho é padronizado, significa que ele passou por etapas de elaboração, testes e modificações que o tornaram o melhor plano possível para as condições de determinada fábrica. O uso destes planos otimizados fazem grande diferença no custo final do produto.

Estudos têm mostrado que uma efetiva aplicação do CAPP pode se tornar bastante rentável [9]. Algumas experiências mostram uma taxa de satisfação com o sistema melhor que 80 % [9]. A tabela mostrada na figura 2.8 [9] compara os resultados entre algumas das novas técnicas de fabricação.

Um exemplo prático desta vantagem é o caso de um fabricante de máquinas-ferramentas [9] que usava 477 planos diferentes para produzir 523 engrenagens. Usando a tecnologia

de grupo e um sistema CAPP, o número caiu para 71 planos de fabricação padronizados.

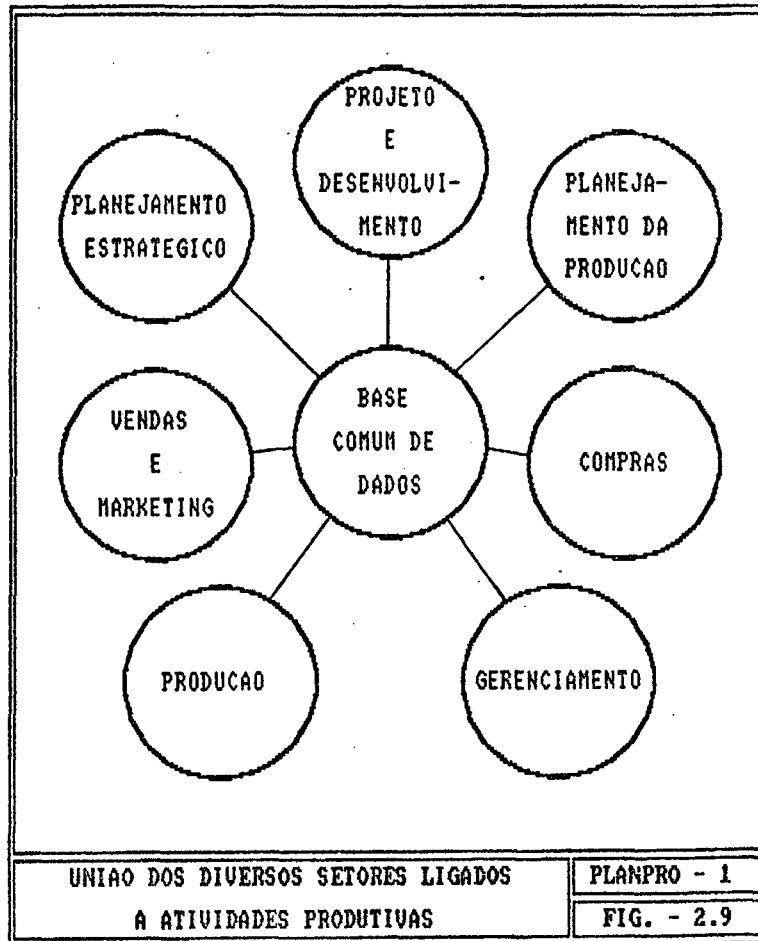
	GRAU DE SATISFAÇÃO
M R P	25 %
TECNOLOGIA DE GRUPO	MAIS QUE 50 %
C A P P	MAIS QUE 80 %
C A D	90 %
COMANDO NUMÉRICO	90 %
INVESTIMENTOS EM NOVAS TÉCNICAS DE FABRICAÇÃO	PLANPRO - 1
	FIG. - 2.8

2.5 - POSIÇÃO DO CAPP JUNTO A INTEGRAÇÃO DA FABRICAÇÃO:

CIM, "Computer Integrated Manufacturing", diz respeito à integração das operações no ambiente das empresas [12]. Isto significa unir diversas atividades de planejamento, operação e controle através de uma arquitetura de múltiplas tecnologias relacionadas com a automação industrial [13].

Quando setores envolvidos direta ou indiretamente com as atividades produtivas (fig. 2.9 [12]) são postos a trabalhar juntos, interligados por uma mesma base de dados, e quando ocorre a ligação física dos sistemas de monitorização e controle, é possível atingir uma real integração e obter ganhos significativos.

O CIM é fundamentalmente uma decisão estratégica e não



apenas uma decisão econômica ou mesmo um aglomerado de redes e computadores. Essa estratégia incorpora uma nova filosofia de produção que visa torná-la puxada pela demanda de mercado, ao invés de empurrada pela produção, criando estoques [12].

A implementação dessas idéias de integração se constituem na base do conceito CIM.

As tecnologias envolvidas no conceito de CIM (CAE, CAD, CAM, CNC, FMS, Robótica, etc.) podem ser agrupadas em três categorias principais:

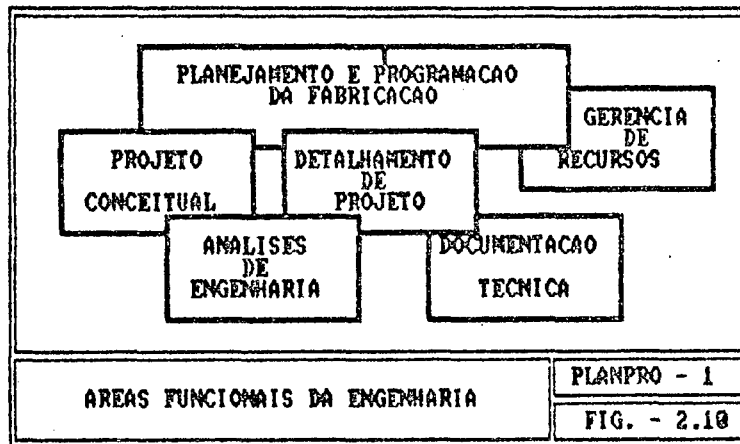
- Engenharia;
- Planejamento e controle de recursos de produção;
- Operações de fábrica.

Existem ainda operações de apoio, que se agrupam em duas

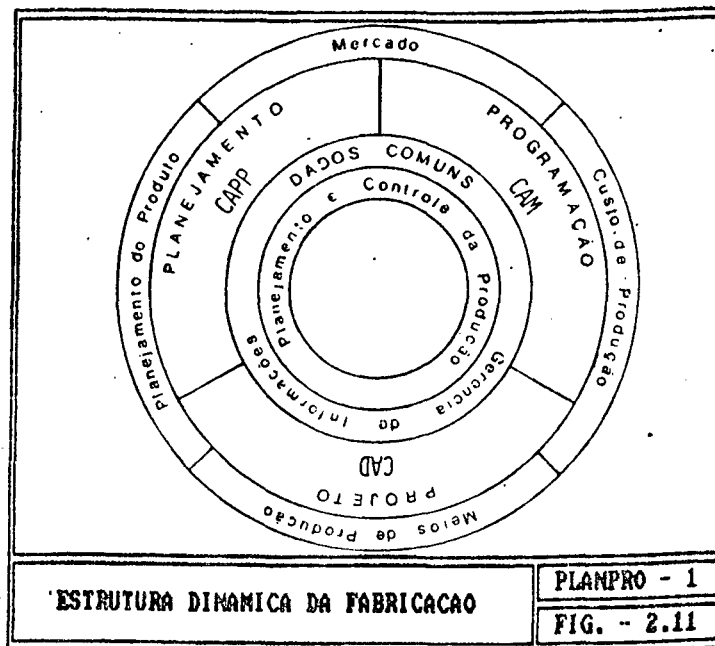
categorias: [13]

- Administração e suporte a decisões;
- Banco de dados e comunicação de dados;

As atividades que se relacionam com a categoria Engenharia englobam desde o projeto conceitual de um produto até o planejamento e programação de fabricação - (fig. 2.10 [13]). É nesse contexto que se enquadra o planejamento de processos auxiliado por computador.



A posição estratégica do CAPP, interfaceando o CAD e o CAM, vem a colaborar com a filosofia de integração da fabricação. O planejamento de processos se posiciona como um elo de ligação entre o projeto e a manufatura, pois só ele pode traduzir as informações de um projeto para um plano de fabricação. Hoje já estão interligados os sistemas CAD/CAM, porém se faz necessária a ligação CAD/CAPP/CAM para completar o anel de integração da manufatura - (fig. 2.11).

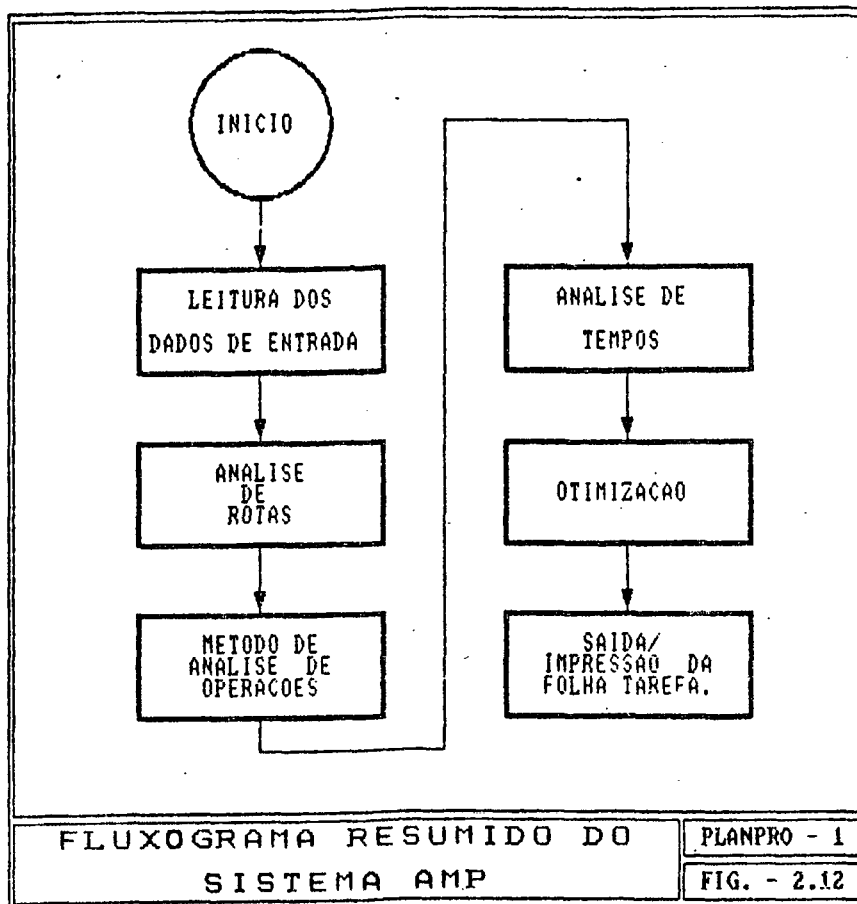


2.6 - ALGUNS SISTEMAS CAPP EXISTENTES:

2.6.1 - AMP ("Automated Manufacturing Planning"):

É um dos primeiros sistemas de CAPP, desenvolvido pela IBM [6]. É um sistema que estabelece uma sequência de operações, método de trabalho, tempos e custos baseado em regras montadas sobre a experiência adquirida em tecnologia da manufatura - (fig. 2.12 [6]).

A característica variante do sistema AMP é notada na forma que estabelece a rota de fabricação da peça. Ou seja, é estabelecida uma sequência padrão de operações para uma peça representativa na família. Para as demais peças são acrescentadas ou retiradas operações da sequência padrão para particularizar o plano de trabalho.



2.6.2 - AUTAP:

O AUTAP - (fig. 2.13 [2]) - é capaz de selecionar processos, materiais, sequenciamento de processos, máquinas-ferramentas, parâmetro de corte, ferramentas e gerar um programa NC.

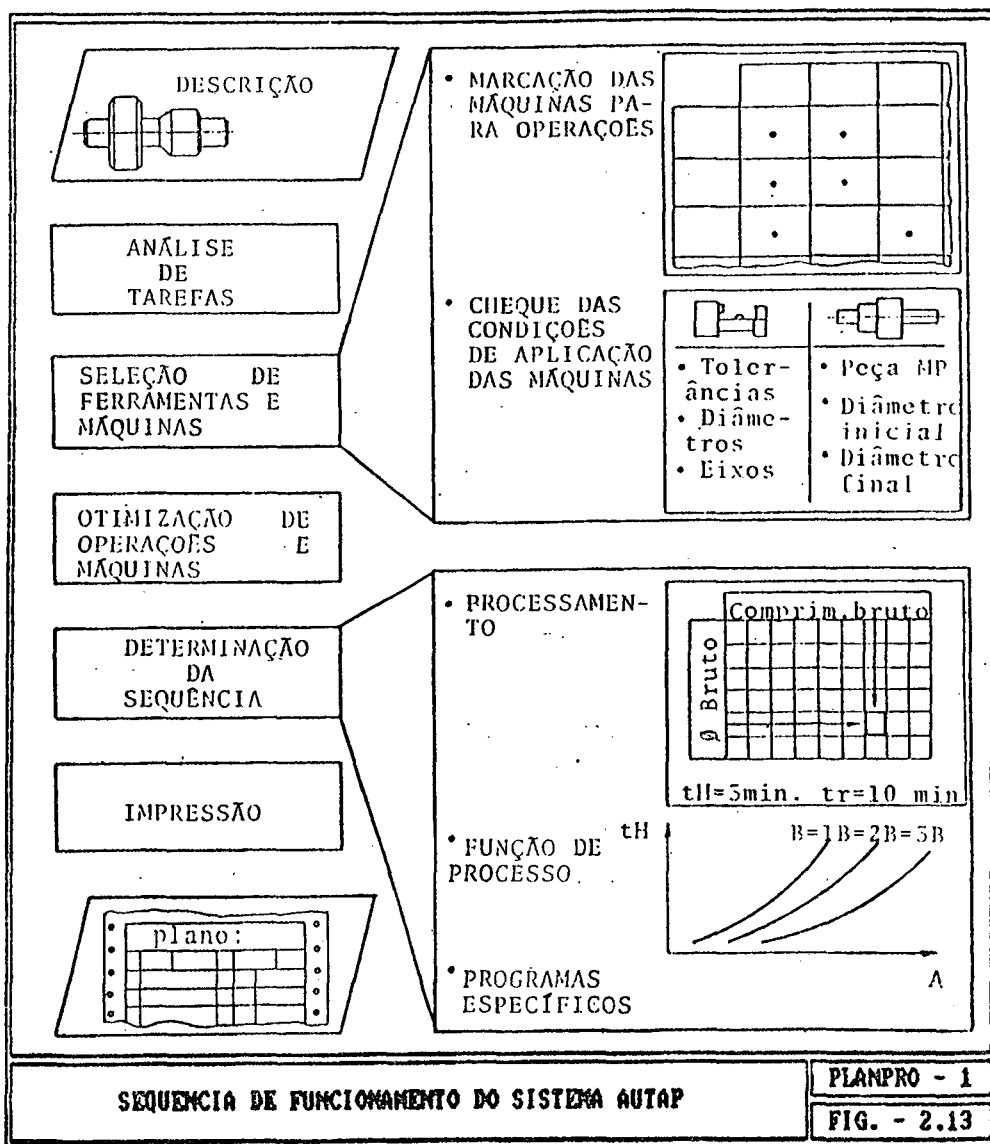
A geração do plano de fabricação é subdividida em duas partes: [2]

- Determinação da sequência das rotinas de trabalho;
- Determinação dos parâmetros de corte.

O planejamento começa com uma completa descrição das

formas geométricas da peça [2], usando uma linguagem do tipo descritiva (CSG - "Constructive Solid Geometry") [1].

A determinação das rotinas de trabalho é feita através de uma estrutura semelhante a uma planilha de decisões lógicas, onde são combinados todos os tipos de operações disponíveis. A cada rotina de trabalho é dado um critério de decisão para fazer uma avaliação da melhor sequência de operações e possíveis alternativas.



Atualmente o AUTAP, que é um sistema com filosofia generativa, está apto para selecionar o processo de fabricação

de peças cilíndricas (torneadas) e peças em chapa de ~~metal~~, podendo também ser integrado a um sistema CAD/CAM, conforme é visto em várias empresas alemãs [1].

2.6.3 - AUTOCAP:

O AUTOCAP (fig. 2.14 [10]) é um sistema interativo de planejamento para peças torneadas desenvolvido na Universidade de Manchester (Inglaterra), e possui os seguintes objetivos [10]: 1 - Facilitar o trabalho de processistas inexperientes, produzindo rapidamente uma completa folha de processo adequada às condições da fábrica. 2 - Fornecer um suporte de planejamento, a baixo custo, às pequenas e médias empresas que produzam peças torneadas .

Na entrada de dados, o processista deve fornecer o tipo de material da peça, material da ferramenta e profundidade máxima de corte. O processista precisa, também, informar para o sistema as características geométricas das peças a serem usinadas. Isso é feito através de códigos. Nesse estágio, o processista informa as dimensões da peça bruta e da peça acabada. O cálculo da velocidade de corte é feito com a equação expandida de Taylor para operações de torneamento, cuja constantes e expoentes são retirados do banco de dados da Rolls Royce.

No final, o programa AUTOCAP fornece [10]:

- 1 - Velocidade de corte e rotações da árvore.
- 2 - Profundidade de corte e número de passes de corte.
- 3 - Tempo de corte por operação e tempo total de fabricação.
- 4 - Parâmetros de corte e raio de ponta de ferramenta para operações de acabamento.

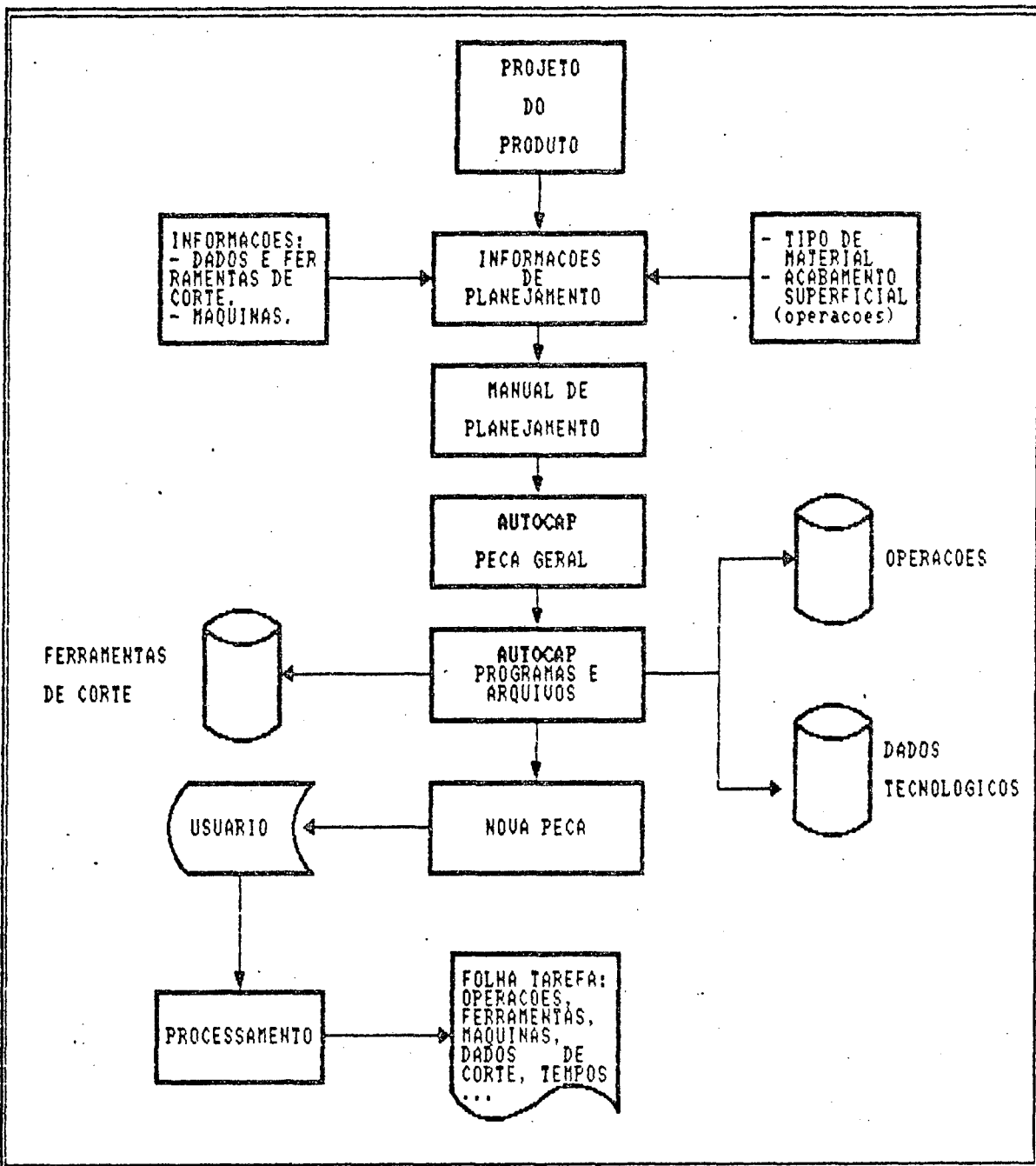


DIAGRAMA DE BLOCO DO SISTEMA AUTOCAP

PLANPRO - 1

FIG. - 2.14

2.6.4 - AUTOPLAN:

AUTOPLAN é um sistema desenvolvido em 1981 pela Metcut Research Associates. Esse sistema usa a forma generativa apenas no detalhamento do processo de fabricação da peça. O AUTOPLAN é dividido em quatro módulos principais [1]:

- 1 - Recuperação de um plano padrão via tecnologia de grupo.
- 2 - Auxílio gráfico para "lay-out" das ferramentas.
- 3 - Parte generativa: recomendações de ferramentas, condições de corte e ajuste da máquina-ferramenta.
- 4 - Otimização do processo: máxima produção / mínimo custo.

2.6.5 - CAPSY:

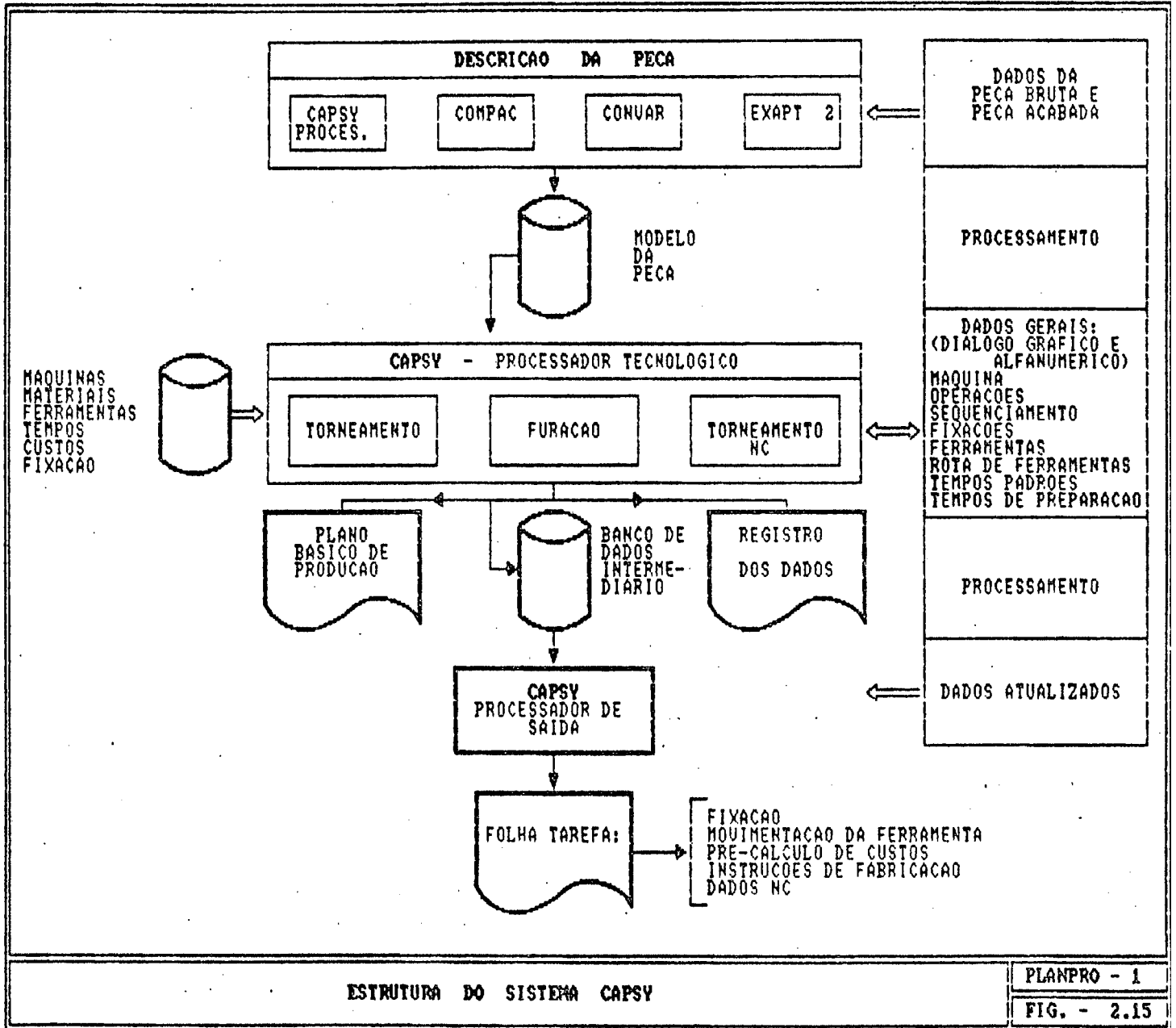
O sistema CAPSY (Computer Aided Process System) é um exemplo de planejamento de processos para máquinas convencionais, funcionando de acordo com a filosofia generativa [2]. Esse sistema é desenvolvido na Universidade Técnica de Berlim, e sua estrutura pode ser vista na figura 2.15 [1].

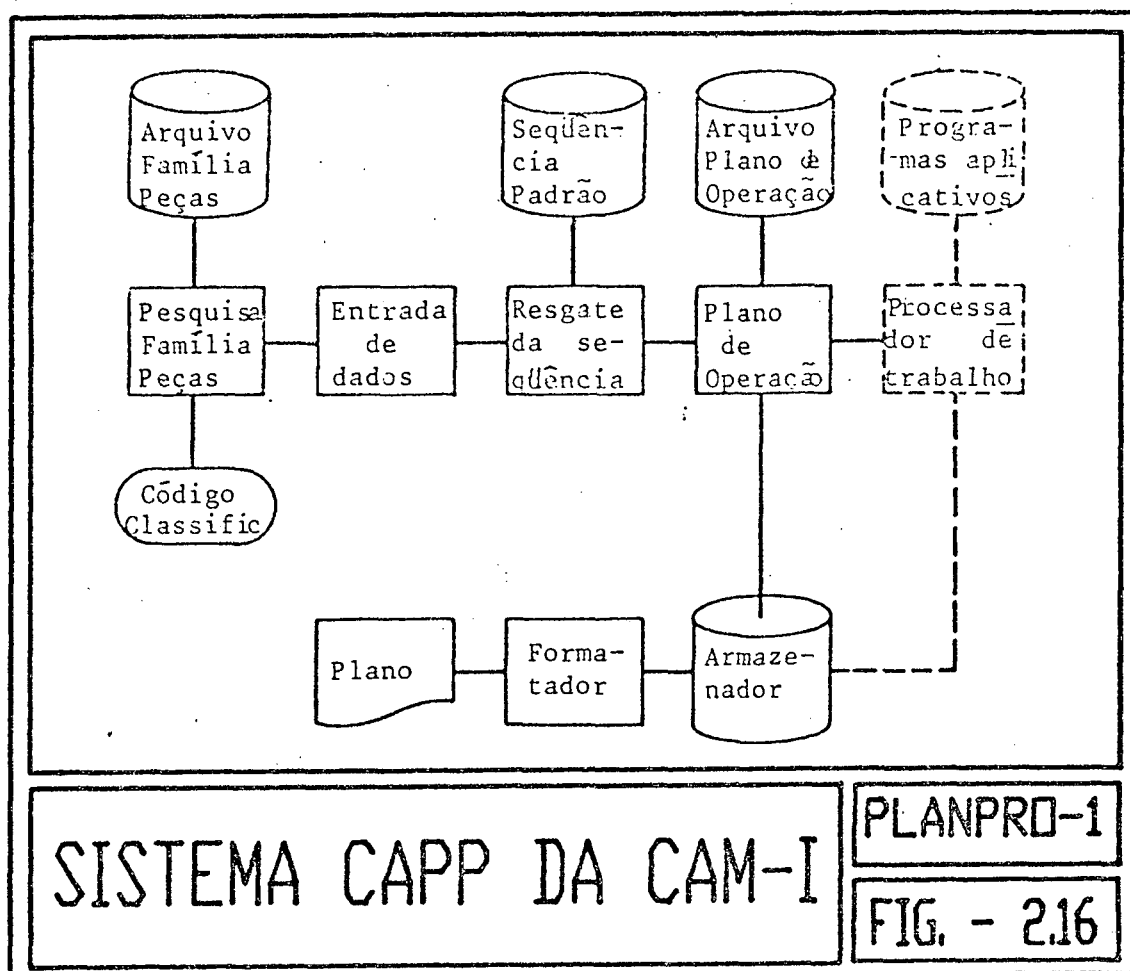
Para assegurar o sequenciamento do processo, os passos do programa estão arranjados hierarquicamente [14].

2.6.6 - CAM-I/CAPP:

Talvez seja o sistema variante mais utilizado [1]. Escrito em FORTRAN, este programa proporciona uma base de dados, uma estrutura lógica de recuperação e capacidade de edição interativa.

O sistema de codificação e classificação de peças é ajustado pelo usuário de formas que ele possa utilizar o sistema de tecnologia de grupo já existente, com um mínimo de modificações [14] - (fig. 2.16 [1]).





2.6.7 - CPPP:

O sistema CPPP ("Computerized Production Process Planning") foi desenvolvido nos EUA para planejamento de peças cilíndricas.

CPPP é capaz de gerar uma seqüência de operações e editar uma detalhada folha tarefa incluindo um esquema dimensional da peça, máquinas operatrizes, superfícies de referência, superfícies de fixação, ferramentas e parâmetros de corte [1].

CPPP usa o conceito de componente composto, ou seja, uma peça imaginária que contenha todas as formas características das peças da família. Na figura 2.17 temos um exemplo de uma peça

imaginária, com todas as formas características das peças da família, numeradas de 1 a 8. Usando um plano padrão, que contenha a solução de processo para cada característica, todos os componentes da família poderão ser processados. É necessário desenvolver essa peça imaginária e esse plano padrão para cada família, o que caracteriza um método de filosofia variante.

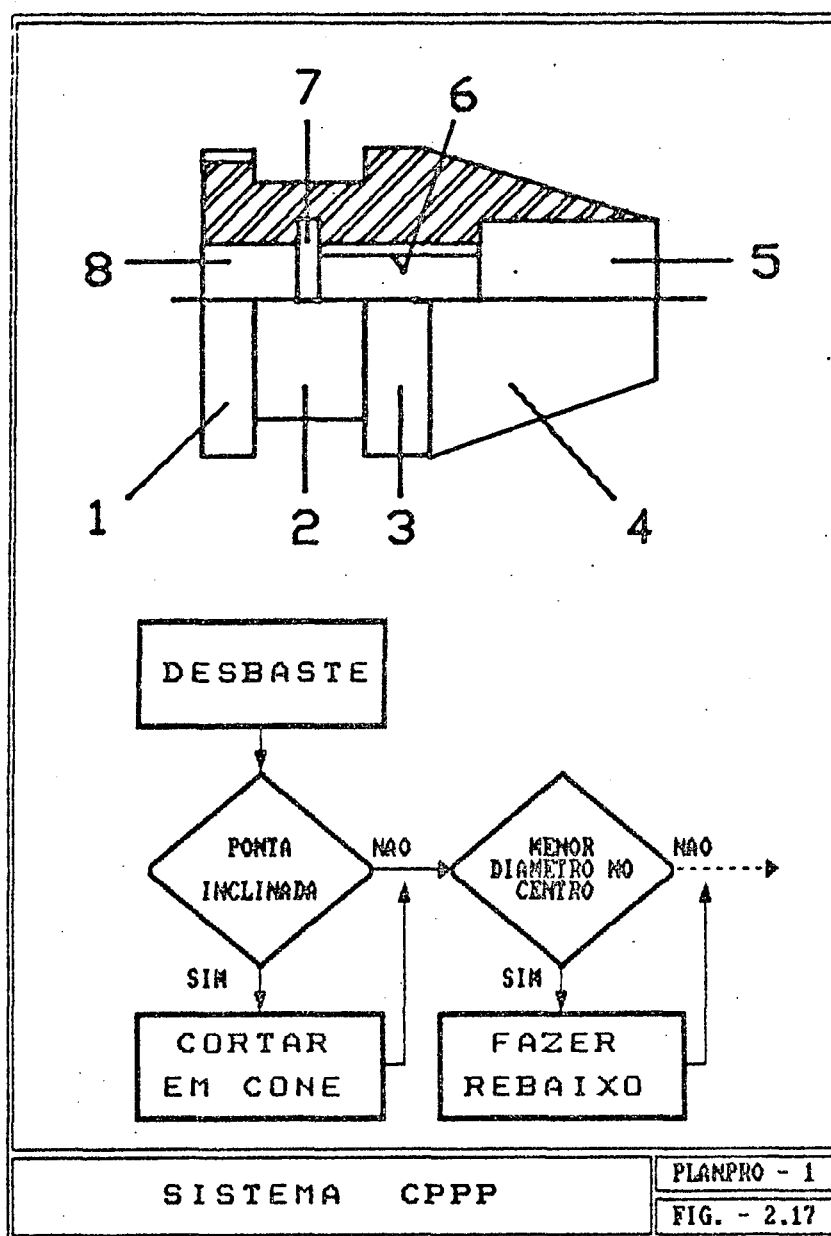
2.6.8 - GARI:

GARI é um sistema de planejamento de processos que usa técnicas de inteligência artificial [1]. A única característica especial deste sistema é apresentar o conhecimento de planejamento através de regras de tecnologia. Quando um evento não previsto ocorre, o sistema consulta o processista, que pode incluir novas regras tecnológicas.

2.6.9 - ICAPP:

ICAPP ("Interactive CAPP") é um sistema de planejamento de processos orientado conforme determinadas características geométricas das peças (fig. 2.18 [11]). Essas características são baseadas em seis tipos de operações de usinagem:

- 1 - Fresamento frontal.
- 2 - Fresamento tangencial (periférico).
- 3 - Furação (com ou sem brocas).
- 4 - Alargamento.
- 5 - Furos escalonados.
- 6 - Furos escareados.



Conforme as características geométricas da peça (incluindo as tolerâncias) o programa seleciona as etapas de usinagem.

O sistema ICAPP é um misto de filosofias variante (pois usa conceitos de famílias de peças com planos padrão), e generativa (pois a peça é composta segundo as suas características).

Os parâmetros de corte são baseados na análise empírica dos dados da própria fábrica que utiliza o sistema. Esta

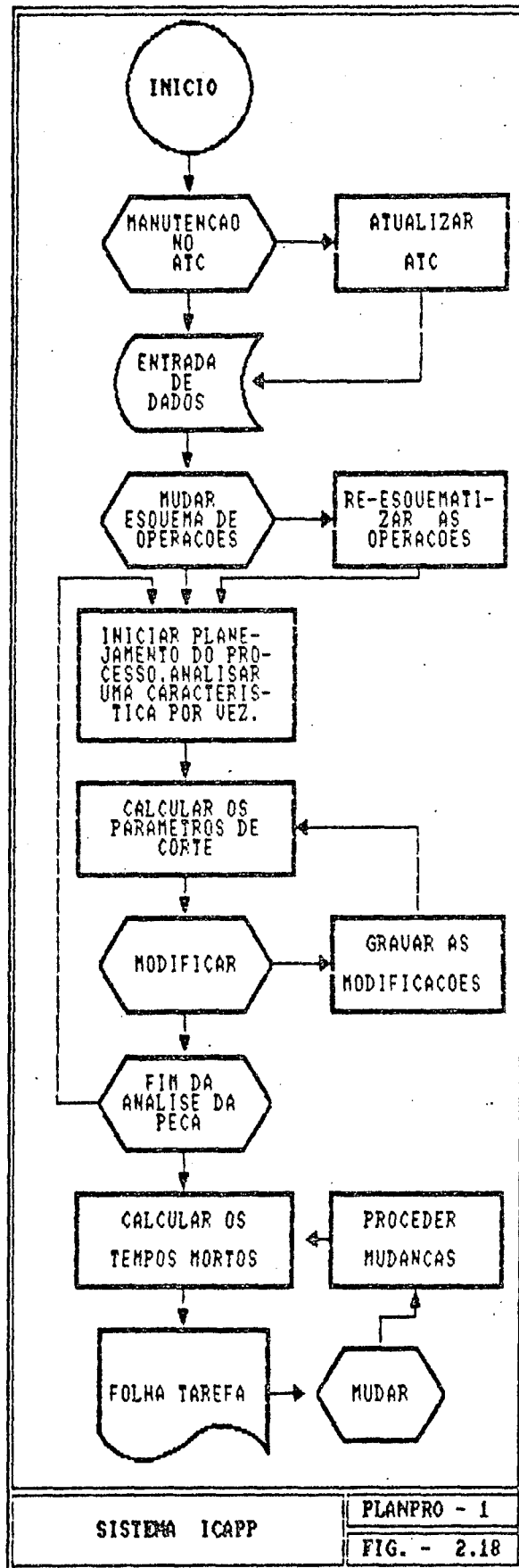
aproximação permite dar valores reais e práticos aos dados que serão usados [11].

A interação do programa com o usuário se dá em três fases: 1 - Entrada de dados: todos os dados necessários são introduzidos no sistema por um diálogo compreensivo entre computador e usuário. 2 - Interação no planejamento do processo: todos os itens selecionados pelo ICAPP (ferramentas, parâmetros de corte,...) são listados ao operador antes de passar para a próxima tarefa. 3 - Edição da folha tarefa: nesse estágio, a folha tarefa pode ser alterada manualmente, conforme a conveniência. Após as modificações os tempos serão recalculados.

2.6.10 - TIPPS:

TIPPS ("Totally Integrated Process Planning System") é um dos poucos processos que se preocupa em integrar o CAD com o CAPP. Os dados geométricos e tecnológicos provêm de uma base de dados de um sistema CAD. A peça é interpretada por uma análise de suas fronteiras e uniões de cantos [14]. As superfícies que serão trabalhadas são identificadas interativamente pelo processista (ou projetista) através de um cursor. Essas informações, juntamente com as correlações existentes entre faces e cantos, são arquivadas num armazenador chamado "Arquivo de Superfícies" [1] - (fig. 2.19 [1])

O módulo de seleção de processos usa informações do do arquivo de superfícies e do arquivo CAD para selecionar os processos adequados. O módulo de parâmetros de processo tem como entrada as informações sobre o tipo de material da peça, dureza



SISTEMA ICAPP

PLANPRO - 1

FIG. - 2.18

desse material, dimensões e qualidade da superfície da peça, tipo, dimensões e material da ferramenta [1]. Na saída desse módulo temos os valores dos parâmetros de corte e os tempos de usinagem.

Por último existe o módulo de edição da documentação do processo contendo todos os dados para a compreensão e execução do trabalho.

Abaixo, listamos algumas das principais características do TIPPS [1]:

- 1 - Estrutura modular.
- 2 - Interface para qualquer sistema CAD.
- 3 - Identificação interativa de superfícies que serão trabalhadas.
- 4 - Possui uma linguagem de descrição usada para definir as capacidades do processo.

CAPÍTULO 3

PROPOSTA PARA CRIAÇÃO DE UM MODELO DE CAPP

3.1 - INTRODUÇÃO:

O presente capítulo inicia analisando o planejamento de processo frente ao volume de produção e as suas consequências no desempenho das empresas. Também é sugerida a elaboração de um modelo de um sistema CAPP.

3.2 - ANÁLISE DO PROBLEMA :

Fazendo uma analogia entre planejamento de processos e projeto, pode-se dizer que: "O planejamento de processos está para a fabricação, assim como o projeto está para o produto". Para atingir-se certos objetivos de funcionalidade e qualidade em um produto, é preciso investir tempo amadurecendo idéias e esboçando as primeiras formas até chegar-se ao projeto final. Da mesma forma, na execução de um produto também é necessário um investimento de tempo para se planejar o processo de fabricação.

A tarefa de planejar o processo de fabricação é normalmente complexa e repetitiva. Existem várias formas de se executar o projeto de um produto e a escolha correta dos processos

de fabricação influencia diretamente no seu custo final. Por isso ela deve refletir uma criteriosa combinação de vários fatores, tais como volume de produção, meios de produção, métodos e processos, tecnologia, qualidade e ferramentas. Esta gama de variáveis deve ser estudada antes de se partir para a fabricação da peça.

A ênfase dada ao planejamento de processos tem um enfoque diferenciado de acordo com o volume de produção. Este pode ser dividido em dois grandes grupos:

A - Produção em massa: Método de produção em grandes quantidades, cujas principais características são o alto grau de especialização dos meios de produção, mão-de-obra e otimização do planejamento [15].

B - Produção em lotes: Forma de produção na qual os bens são fabricados intermitentemente, em uma série de lotes [15]. Esses lotes podem ser bastante diferenciados entre si, ocasionando variações consideráveis na utilização dos meios de produção, materiais, recursos humanos, tecnologia e ferramental.

O gerenciamento das tarefas de planejamento de processo na manufatura por lotes (unitários, quase unitários e grandes) deve ser de responsabilidade de um processista especializado e versátil, para tomar decisões rápidas e se adaptar ao ritmo dinâmico deste tipo de produção.

Quando a produção for em massa ou em lotes fixos e repetitivos, as atividades do processista passam a ter maior ênfase na otimização dos processos e dos meios de produção.

Ocorre, muitas vezes, que a etapa de planejamento de processos acaba não tendo um aproveitamento satisfatório devido ao volume de serviço, ou devido ao estágio de desenvolvimento da empresa, ou ainda pelos compromissos de entrega da produção que

devem ser mantidos.

Então, o que normalmente temos são mestres, encarregados e operadores decidindo segundo a sua experiência sobre quais processos e quais parâmetros serão usados na fabricação de determinada peça, sem condições de otimizá-los e de controlar sua eficácia.

Ainda um outro aspecto é a dificuldade desses profissionais assimilarem a introdução de novas tecnologias, ou seja, modernizarem o que um dia aprenderam. Antes, se prendem num "status quo" de fabricação que muitas vezes está ultrapassado.

Não é preciso muito esforço para concluir que planos não otimizados e feitos com técnicas ultrapassadas terão um reflexo imediato na produção da empresa, baixando os seus níveis.

3.3 - OBJETIVOS:

Neste trabalho está sendo proposto um modelo de planejamento de processos auxiliado por computador que deverá ser destinado às empresas que trabalhem com manufatura de peças mecânicas. Na elaboração deste modelo é importante que sejam observados os benefícios, anteriormente citados, que o uso de um sistema CAPP proporciona em termos de consistência, rapidez e economia na preparação dos planos de trabalho.

Levando em consideração :

- que as operações de furação, embora não tenham sua tecnologia desenvolvida aos níveis que chegaram as operações de torneamento, por exemplo, representam um significativo volume de

serviço nas indústrias metalúrgicas;

- que existem, hoje, no departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, uma série de pesquisas envolvendo operações de furação;

- que as operações de furação, dentre os processos de usinagem com remoção de cavacos, apresenta uma lógica mais simples em seu sequenciamento de tarefas;

- que este processo foi escolhido, também porque dá menos ênfase aos problemas geométricos e mais ênfase as questões de processo;

torna-se coerente desenvolver este modelo, inicialmente, a partir de operações de furação.

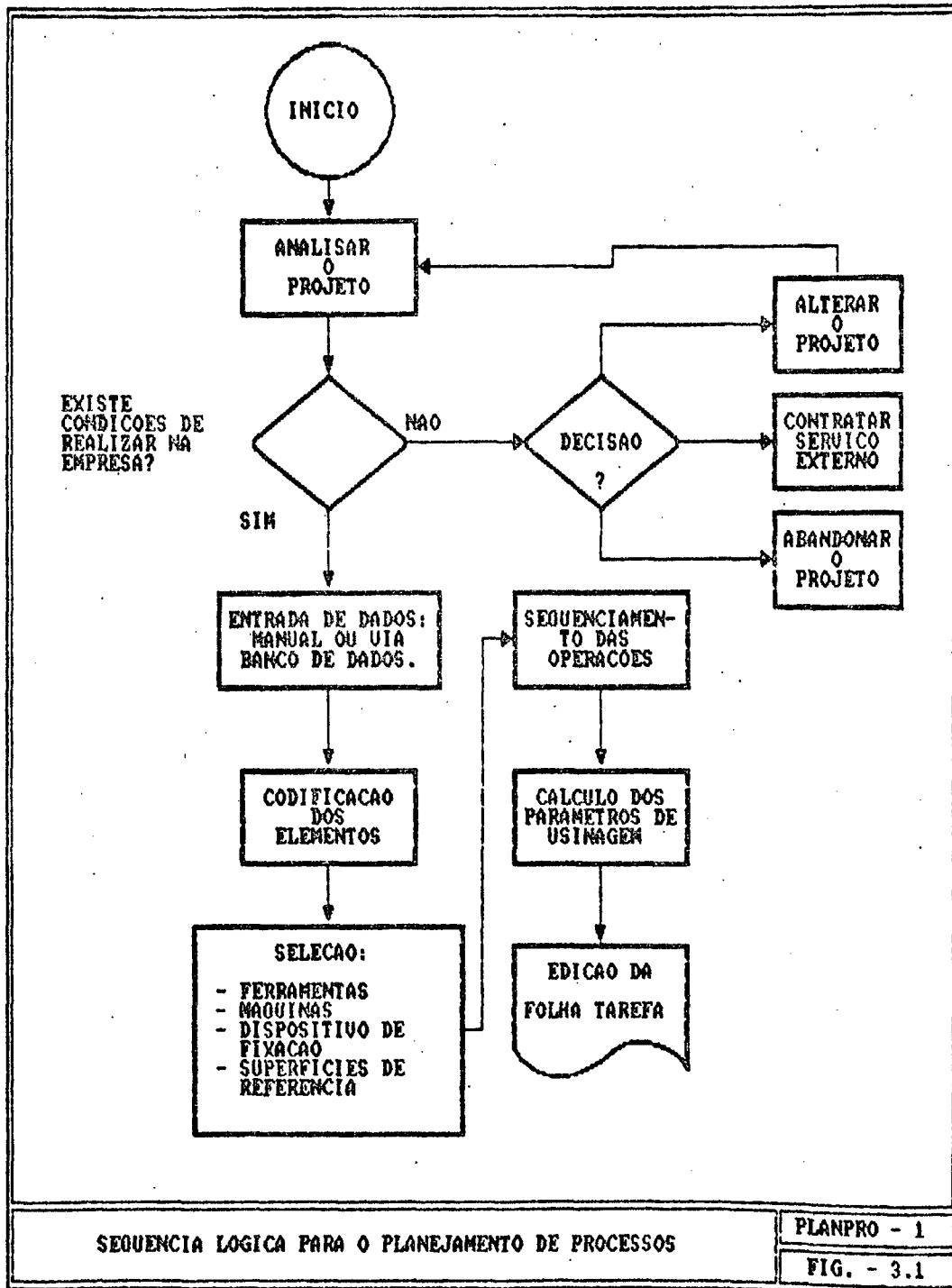
3.4 - ESTUDO DE UM MODELO:

A forma convencional de planejar, ou seja, fazê-lo manualmente, apesar de ser de execução repetitiva e demorada, possui uma sequência lógica (fig. 3.1) que oferece recursos para se chegar ao CAPP.

A sequência do planejamento de processos pode ser estabelecida a partir de três etapas:

- Entrada de dados;
- Procedimento de planejamento;
- Edição da folha tarefa;

A primeira etapa é caracterizada por uma análise do projeto para a identificação dos dados geométricos e tecnológicos. Esses dados serão trabalhados num segundo



estágio, onde será feita a codificação dos furos que serão usinados, seleção das ferramentas em função das geometrias e tolerâncias especificadas, sequenciamento das operações (ordem de uso das ferramentas) e, finalmente, o cálculo dos parâmetros de usinagem.

Feito isso, a última etapa é a documentação dos resultados obtidos na fase anterior. Isto é feito através da edição da folha tarefa.

Quanto ao aspecto da tecnologia de usinagem, as operações de alargamento, mandrilamento, furação profunda e furação de pequenos diâmetros podem ser consideradas casos particulares dentro da furação.

O último aspecto tecnológico que será abordado é o que se refere às tolerâncias dos furos. Estes podem ser restringidos quanto à dimensão, forma, posição e acabamento superficial.

3.5 - DEFINIÇÃO DOS RECURSOS:

Os recursos para a concepção de um programa de computador, se dividem, de forma geral em "hardware" e "software" para desenvolvimento.

Para o problema proposto, o "hardware" necessário se resume em um microcomputador da linha IBM-PC e uma impressora. Quanto ao "software", será usado um compilador Turbo Pascal.

CAPÍTULO 4

TECNOLOGIA DE USINAGEM

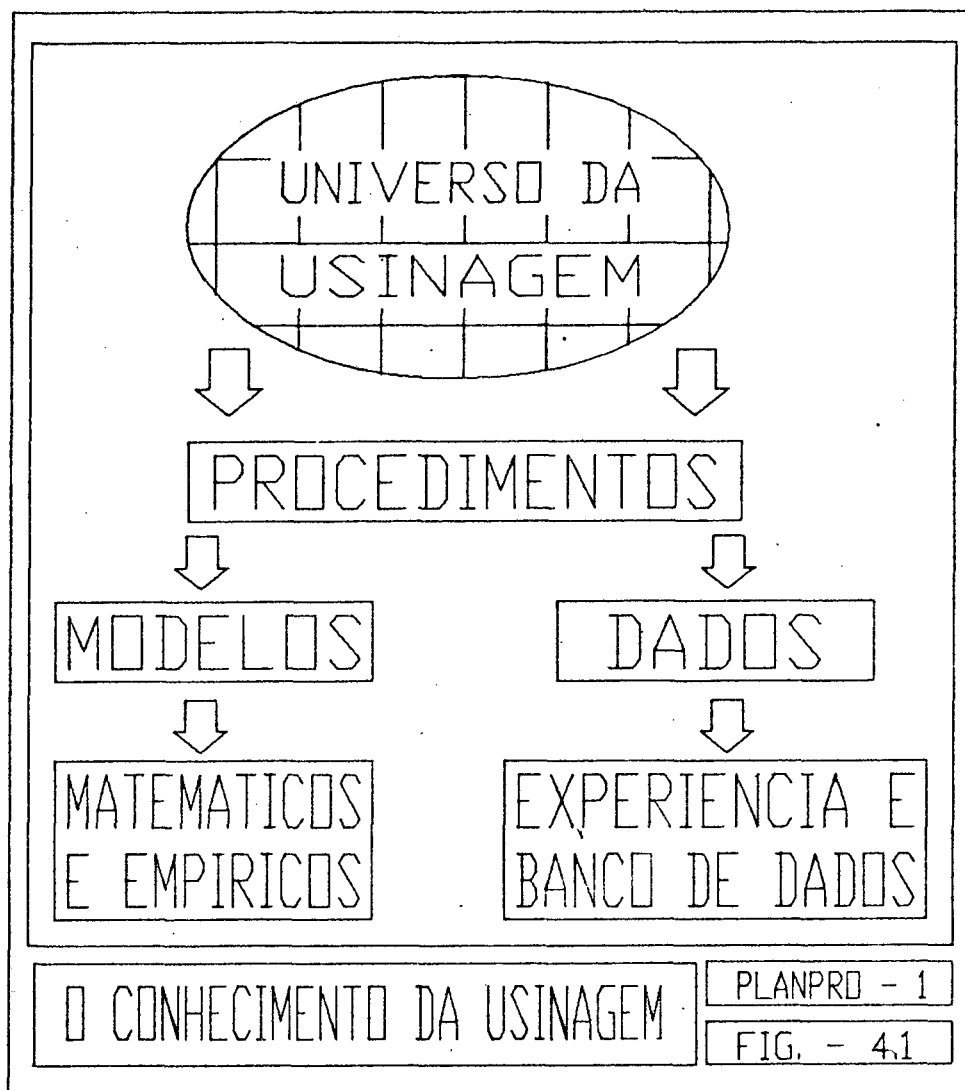
4.1 - INTRODUÇÃO:

Este capítulo versará sobre aspectos da tecnologia de usinagem voltada às operações de furação. Entre outros, serão vistos o cálculo da velocidade de corte, potências de usinagem, procedimentos de furação em várias etapas:

Também serão feitas observações técnicas sobre aqueles que constituem casos particulares de furação, como por exemplo os furos profundos, furos de pequeno diâmetro e operação de mandrilamento e alargamento.

4.2 - PARAMETROS DE USINAGEM:

Existe dentro do universo da usinagem uma série de procedimentos que irão estabelecer os planos de trabalho (fig. 4.1). Parte desses procedimentos são estudados e seus registros formam os modelos de que dispomos. Esses modelos podem ser matemáticos (como as potências e os momentos) ou experimentais (equação expandida de Taylor, entre outros). A outra parte desses procedimentos, que ainda não foi sistematizada, forma o campo onde o conhecimento se apóia em dados fornecidos por ex-



periências programadas; esses dados podem ser armazenados em banco de dados ou de outras formas, de acordo com a vivência de cada profissional da área.

Estudos feitos sobre técnicas construtivas em máquinas-ferramentas, aplicação de fluidos de corte, materiais de ferramentas e muitos outros tópicos são válidos em determinadas condições de ensaio, mas ainda não suficientes para abranger a maioria das variáveis envolvidas no processo de usinagem, ou ainda, prever o resultado da sobreposição desses fenômenos.

Essas variáveis fazem parte do conhecimento do homem técnico, conhecimento este adquirido pela vivência junto ao ambiente de chão de fábrica. Esta característica coloca o técnico

numa posição chave dentro do processo decisório de como fabricar, e todos os conhecimentos já quantificados vêm colaborar com a qualidade de seu trabalho. Nos próximos itens serão mostrados alguns aspectos tecnológicos voltados às operações de furação.

4.2.1 - Equação expandida de Taylor:

Em uma operação de usinagem, os diversos fatores que influenciam no desgaste da ferramenta ainda não são totalmente conhecidos. Porém, a prática revela uma interdependência entre desgaste e condições de usinagem [18]. Esta relação é, atualmente, representada pela equação expandida de Taylor, que para a furação, se apresenta da seguinte forma [19]:

$$V_c = C \cdot f^E \cdot D^F \cdot L^G \cdot V_b^H \quad (1)$$

Onde:

V_c = Velocidade de corte [m/min];

C = Constante;

f = Avanço [mm/rot];

D = Diâmetro da broca [mm];

L = Soma dos comprimentos de furação executáveis durante a vida útil da broca [mm]. A vida útil da broca é o tempo efetivo de operação entre duas afiações sucessivas.

V_b = Largura da marca de desgaste em mm, que define o fim da vida da broca.

E, F, G, H = Exponentes experimentais que ponderam a influência dos fatores na velocidade de corte .

4.2.2 - Forças, Momentos e Potências de usinagem:

Entre vários modelamentos de forças de corte e de avanço, Kienzle propõe um formulação bastante simples, visando especialmente a uma aplicação prática [19]:

$$F_c = (K_{cl.1} \times D \times (f/2 \times \text{sen } \sigma/2)^{1-M_c}) / (2 \times \text{sen } \sigma/2) \quad (2)$$

$$F_f = (K_{fl.1} \times D \times (f/2 \times \text{sen } \sigma/2)^{1-M_f}) / (2 \times \text{sen } \sigma/2) \quad (3)$$

Onde:

F_c = Força de corte por gume [N];

F_f = Força de avanço [N];

$K_{cl.1}$ = pressão específica de corte para um cavaco com $b = h = 1$ [N/mm²];

$K_{fl.1}$ = idem para avanço;

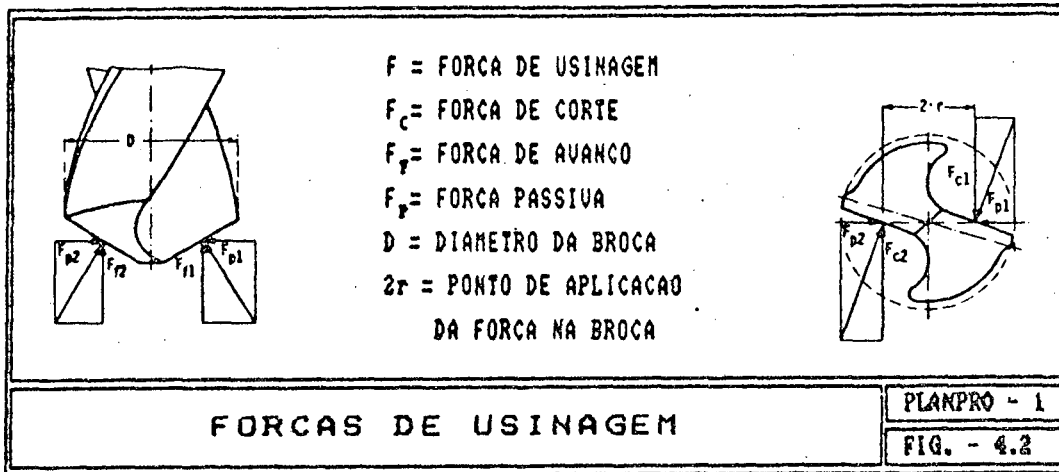
D = diâmetro [mm];

f = avanço [mm/rot];

= ângulo de ponta da broca;

$1 - m_c$, $1 - m_f$ = expoentes experimentais.

Na figura 4.2 [16], temos o ponto de aplicação da força de corte, da força passiva e da força de avanço.



Para o cálculo do momento de corte total nos gumes da broca, tem-se:

$$M_c = (F_c \times D) / 2000 \text{ [N.m]} \quad (4)$$

Para brocas helicoidais, o momento torsor máximo permitido para evitar a sua quebra, é calculado aproximadamente por [35]:

$$M_{tm} = 0,04 \cdot D^{2,8} \quad (5)$$

Para calcular a potência de corte e de avanço tem-se:

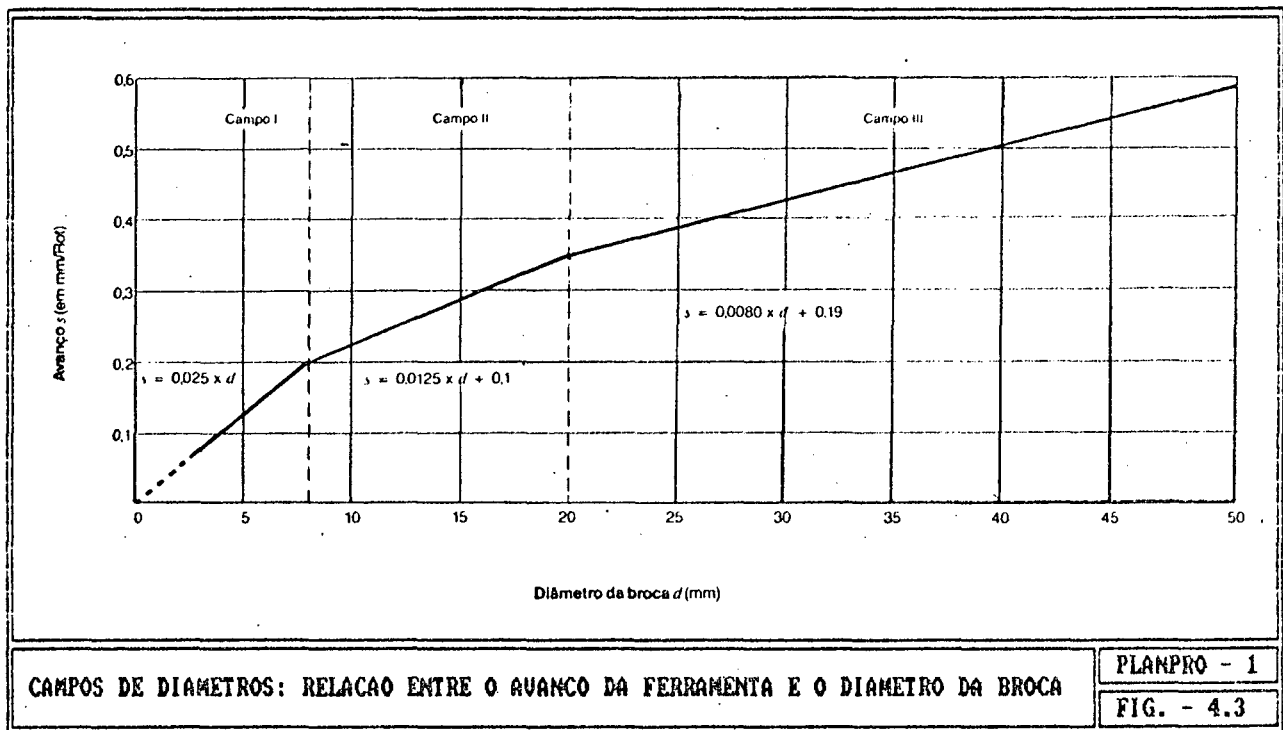
$$P_c = (M_c \times n) / 9549 \text{ [kW]} \quad \text{ou} \quad P_c = (F_c \times V_c) / 60\,000 \text{ [kW]} \quad (6)$$

$$P_f = \frac{F_f \cdot N \cdot f}{4,4 \times 10^7} \quad (7)$$

Onde n = frequência de rotação [mm/rot].

4.2.3 - Relação entre avanço e diâmetro da broca:

A relação existente entre o avanço admissível e o diâmetro da broca mostra que o avanço aumenta de acordo com o crescimento do diâmetro [16]. Essa relação, entretanto, não é linear, pois para diâmetros pequenos a proporção avanço/diâmetro é maior. Esta relação resulta numa curva que pode ser vista na figura 4.3 [16]. O diagrama é dividido em três campos, sendo o avanço dentro de cada campo calculado pelas seguintes fórmulas [16]:



$$\text{Campo I} \rightarrow (\text{para } D \text{ até } 8 \text{ mm}) \quad f = (0,025 \times D) \times M \quad (8a)$$

$$\text{Campo II} \rightarrow (D \text{ entre } 8 \text{ e } 20 \text{ mm}) \quad f = (0,0125 \times D + 0,1) \times M \quad (8b)$$

$$\text{Campo III} \rightarrow (D \text{ acima de } 20 \text{ mm}) \quad f = (0,008 \times D + 0,19) \times M \quad (8c)$$

Os avanços fornecidos pelas fórmulas são valores orientativos que deverão ser adaptados às características da máquina-ferramenta.

O fator de correção "M" é aplicado conforme a usinabilidade do material. O valor de M é encontrado na figura 4.4 [16].

METAIS FERROSOS		FATOR M
AÇO CARBONO com resistência até 500 N/mm ² com resistência até 700 N/mm ² com resistência até 900 N/mm ²		0,80
		0,80
		0,63
AÇO LIGA E AÇO FUNDIDO com resistência até 900 N/mm ² com resistência até 1250 N/mm ² com resistência até 1500 N/mm ²		0,50
		0,40
		0,315
FERRO FUNDIDO com dureza até 200 HB com dureza até 240 HB com dureza acima de 240 HB		1,00
		0,80
		0,50
AÇO INOXIDÁVEL aço inox ferrítico ou martensítico de fácil usinagem de difícil usinagem com alta resistência ao calor		0,63
		0,40
		0,25
AÇOS AO MANGANÉS		0,315
METAIS NÃO FERROSOS		FATOR M
LIGAS DE ALUMÍNIO com geração de cavaco longo com geração de cavaco curto ligas com silício (Silumin)		1,00
		0,80
		0,80
LATÃO até Ms 58 até Ms 60		1,00
		0,80
COBRE Cobre "standard" Cobre eletrolítico		0,80
		0,80
BRONZE Ligas de Bronze, Bronze fosforoso Bronze		0,80
		0,80
LIGAS DE NIQUEL de fácil usinagem de difícil usinagem		0,40
		0,315
LIGAS DE MAGNÉSIO		1,25
ZINCO E SUAS LIGAS - ZAMAK		0,80
ALPACA		0,80
TITÂNIO E LIGAS DE TITÂNIO		0,40
NÃO METAIS		FATOR M
Termoplásticos* (Nylon, PVC, Teflon, Acrílico etc.); Borracha Plásticos Termofixos* (duros) com ou sem fibras (Baquelite, PVC laminado com fibra de vidro etc.) Borracha Sintética (Ebonite, Vulcanite)		0,80
		0,63
		1,25
FATOR DE CORREÇÃO "M" PARA DIVERSOS GRUPOS DE MATERIAIS		PLANPRO - 1
		FIG. - 4.4

4.3 - OBSERVAÇÕES ESPECIAIS:

4.3.1 - Procedimento de decomposição de furos:

O procedimento de decomposição de furos objetiva verificar a possibilidade de usinagem do diâmetro final a partir do pré-furo, ou se haverá necessidade de subdividir a usinagem em passos intermediários até chegar-se ao diâmetro final.

Seu funcionamento está baseado em quatro pontos:

- a) Num diâmetro máximo possível a ser usinado sem pré-furo. Esse diâmetro varia principalmente em função do material que está sendo usinado e das condições da máquina-ferramenta.
- b) A diferença entre o diâmetro final e o diâmetro do pré-furo:

$$D = D_f - D_{pf} \quad (9)$$

c) Potência, rotações e avanços automáticos da máquina-ferramenta;

d) Os coeficientes K_c l.l, K_f l.l, $l-M_c$ e $l-M_f$.

Através das fórmulas 8a, 8b e 8c, chegaremos à indicação de um avanço máximo limitado pelas características da ferramenta e da máquina-ferramenta.

O sistema de planejamento de processos deverá ter uma rotina que se encarregue de escolher, dentre os avanços da máquina, qual o mais próximo do avanço indicado pelas fórmulas.

Com este avanço e fazendo variar a rotação serão calculados os valores da Potência de Corte (P_c) e da Força de

Avanço (F_f) e comparados com a potência útil da máquina-ferramenta. Na furação, normalmente a potência de corte é significativamente maior que a potência de avanço.

Caso a potência de corte seja maior que a potência útil, mesmo usando a menor rotação possível na máquina-ferramenta, a decisão do programa será decrementar o avanço para a próxima opção no valor e , novamente, variar as rotações calculando P_c e P_f e comparar com a potência útil da máquina.

Através dessas combinações de avanço e rotações da árvore e , comparando as potências delas decorrentes com a potência útil da máquina, é que será decidido em quantas etapas será atingido o diâmetro desejado.

Não havendo combinação possível, o furo deverá, então, ser dividido em mais etapas, ou seja: haverá diâmetros intermediários entre o diâmetro do pré-furo e o diâmetro final. O diâmetro intermediário será calculado dividindo a diferença D por um fator e somando a parte inteira deste resultado ao valor do diâmetro do pré-furo, ou seja:

$$E = (D / 1,2) \quad (10)$$

$$D_2 = D_{pf} + E \quad (11)$$

onde: E = Parte inteira da razão $(D / 1,2)$.

D_2 = Diâmetro intermediário.

Após, será verificado a possibilidade de usinar D_2 . Em caso negativo, o diâmetro será novamente dividido.

Na expressão $E = (D / 1,2)$, o divisor 1,2 aparece como uma constante que, em vários testes, mostrou resultados satisfatórios. Usando uma constante de maior valor, corre-se o risco de subdividir o furo em mais etapas que o necessário.

4.3.2 - Furos profundos:

São assim considerados aqueles furos com profundidade acima de três vezes o valor do diâmetro. Nos furos profundos as brocas helicoidais apresentam vários inconvenientes:

- 1- facilidade de quebra devido a ação de torques elevados;
- 2- dificuldade de descarga dos cavacos;
- 3- pode produzir furos desalinhados devido a carga na ponta da broca e a deficiência das guias de orientação;
- 4- dificuldade de se fazer chegar o fluido de corte até os gumes.

Para contornar estes problemas é recomendado o uso de uma série de técnicas, como o cilco pica-pau, brocas com canais de refrigeração e brocas canhão. Também é necessário fazer alterações nos parâmetros de usinagem, com a aplicação de fatores de correção para a velocidade de corte e o avanço.

a) Fator multiplicativo para a velocidade de corte [16]:

$$K_{vc} = 1 - (\text{profundidade do furo} / 40 \times \text{diâmetro}) \quad (11)$$

Este fator deverá multiplicar a V_c calculada para a operação normal.

b) Fator multiplicativo para o avanço [16]:

$$K_f = 1 - (\text{profundidade do furo} / 50 \times \text{diâmetro}) \quad (12)$$

4.3.3 - Furos de pequeno diâmetro:

Para furos de diâmetro inferior a 2,5 mm, as recomendações de parâmetros de corte usuais não são mais satisfatórias. A possibilidade de quebra da broca por torção ou flambagem aumenta muito em vista da relação comprimento / diâmetro ser excessivamente alta - chegando a proporções de 1 para 90 . Outro aspecto crítico é a espessura do núcleo que é proporcionalmente maior nas brocas de pequeno diâmetro. Isto aumenta a resistência da broca, todavia aumenta, também, o esforço de penetração na peça e diminui a seção do canal de saída de cavacos.

Em consequência, são necessários certos cuidados especiais, como por exemplo [16]:

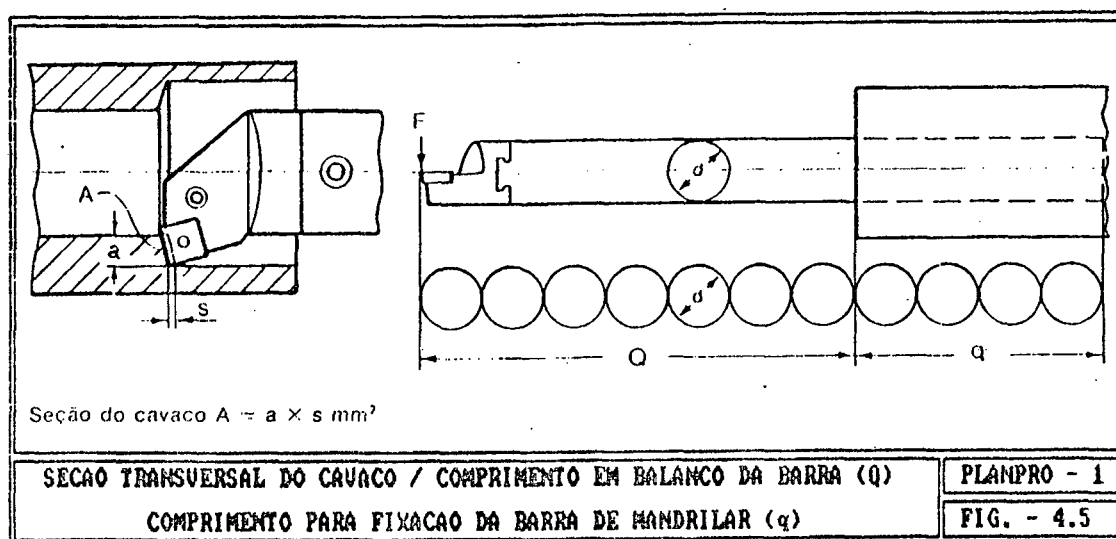
- a) O avanço deve ser manual (em máquinas convencionais), baseando-se na formação de cavacos (não deve gerar pó). A rotação deve ser semelhante aos valores encontrados para a furação profunda.
- b) Usar bucha guia para evitar flambagem.
- c) Usar ciclo "pica-pau" para remoção frequente de cavacos.
- d) Usar brocas bem afiadas.

4.3.4 - Mandrilamento e torneamento interno:

Ao se escolher uma barra de mandrilar, é preciso considerar que essa seleção é influenciada, principalmente, pelo diâmetro do furo, seção transversal do cavaco e do comprimento

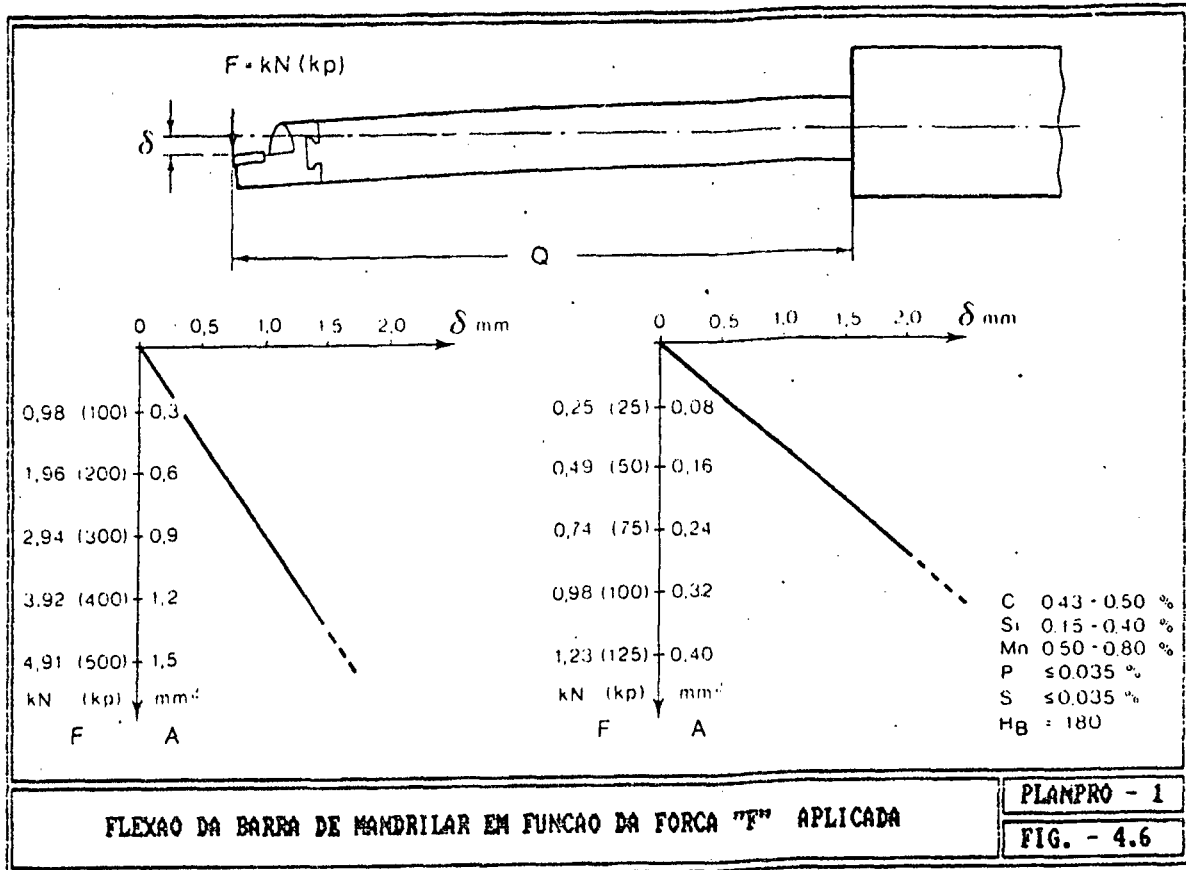
da barra em balanço (figura 4.5 [17]).

O comprimento da barra em balanço (Q) chega, normalmente, até 10 vezes o diâmetro da barra (construção longa) e em construções especiais pode chegar a 13 vezes o diâmetro da barra. Para a seção de fixação da barra (q), é recomendado um comprimento de 4 vezes o diâmetro da barra.



A aplicação da força de corte sobre a ferramenta da barra de mandrilar provoca uma deflexão que é proporcional a seção do cavaco (figura 4.6 [17]). Em casos de estreita tolerância, para evitar a ovalização do furo, é recomendado usiná-lo em mais de um passe de ferramenta.

Quanto aos parâmetros de corte, o recomendado é usar 80% dos valores calculados para o torneamento externo.



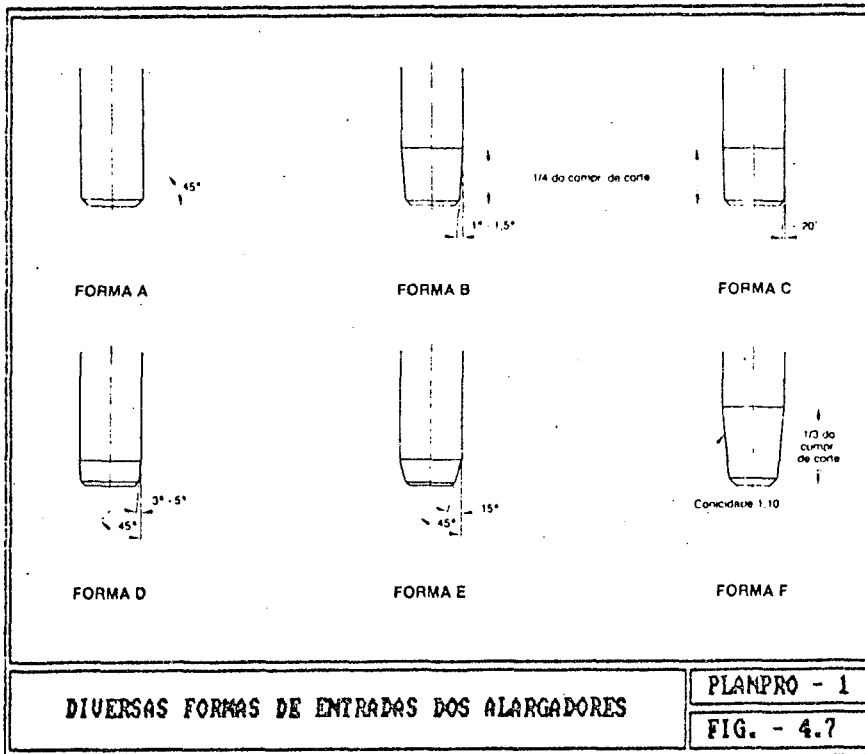
4.3.5 - Alargamento:

Os valores da velocidade de corte para o alargamento, como uma regra prática, tem valor inicial em torno de 50% da velocidade usada para a furação normal, com broca, no mesmo material. Já o valor do avanço deve ser bastante superior ao usado na furação. As arestas do alargador devem cortar o material; caso o avanço seja pequeno haverá um amassamento do material. Em contrapartida, se for muito elevado, o furo sairá fora das especificações. Em ambos os casos ocorre o desgaste precoce da ferramenta.

O avanço recomendado pela referência bibliográfica [16] é

de 2,5 a 3 vezes o avanço utilizado para a furação do mesmo material.

Conforme o tipo de aplicação, os alargadores possuem diferentes formas de entradas, conforme visto na figura 4.7 [16]. Aplicações de alargadores em diversos casos são mostradas as figuras 4.8 a 4.11 [16].



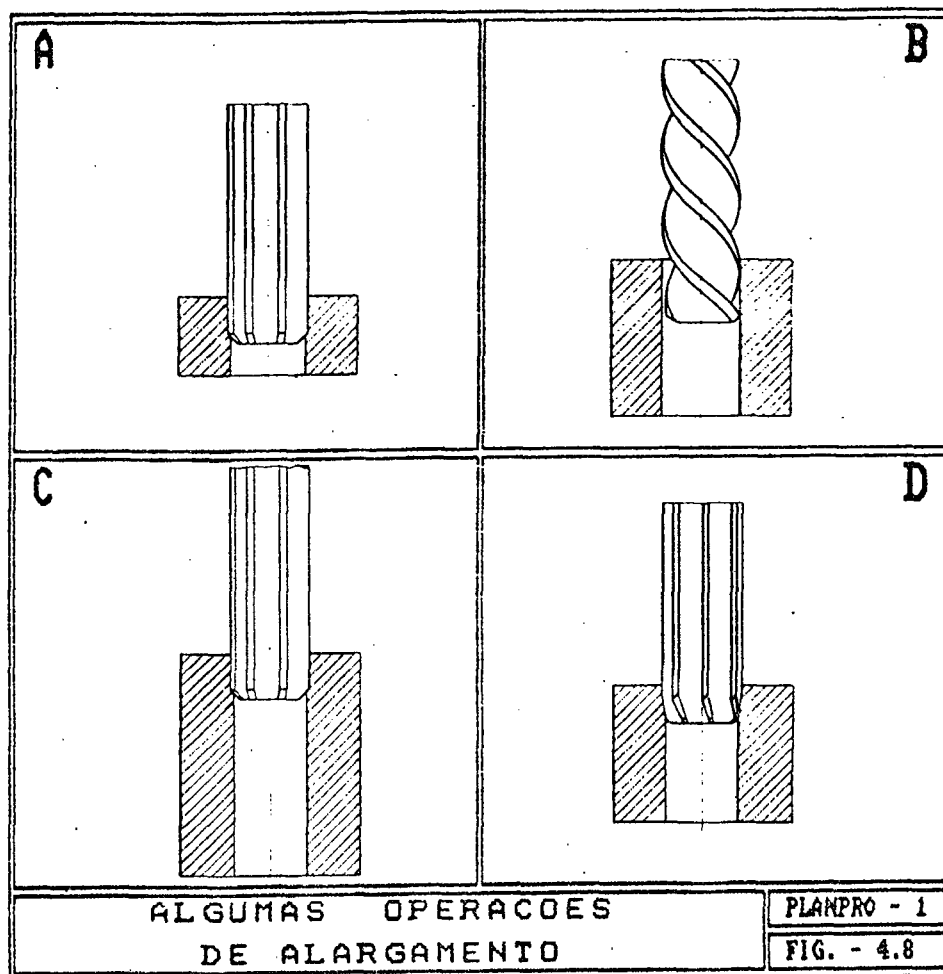


Fig. 4.8 a: Furos passantes com até $1 \times d$ de profundidade são alargados com alargadores para máquinas, com forma de entrada "A". Para diâmetros maiores que 8 mm, é necessária a operação de calibrar antes de alargar.

Fig. 4.8 b: Furos passantes acima de $1 \times d$ de profundidade em materiais que provocam cavacos longos e de baixa resistência são usinados com alargadores para máquinas com canais helicoidais à esquerda com forma de entrada "C".

Fig. 4.8 c: Furos passantes acima de $1 \times d$ de profundidade em materiais de cavaco curto são usinados com alargadores para máquinas com canais retos e forma de entrada "A" ou eventualmente "D".

Fig. 4.8 d: Para o alargamento de furos passantes em material de difícil usinagem, são utilizados alargadores para máquinas com canais retos e com entrada helicoidal à esquerda.

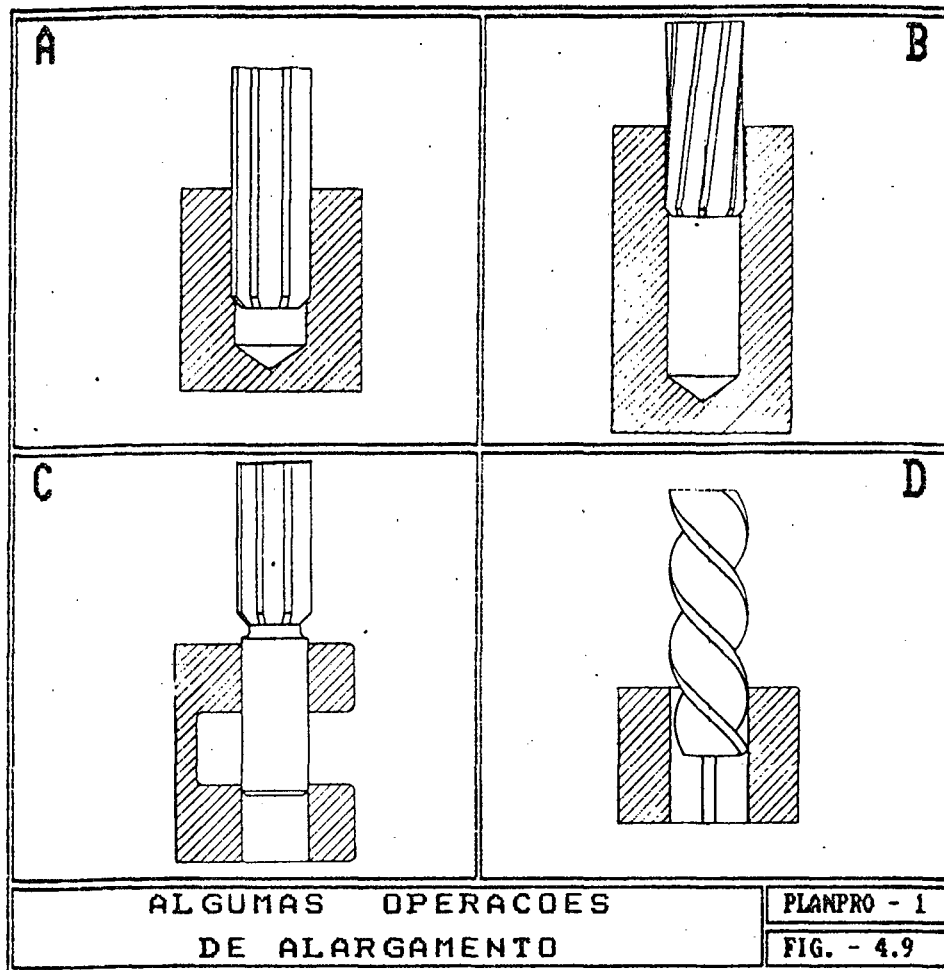
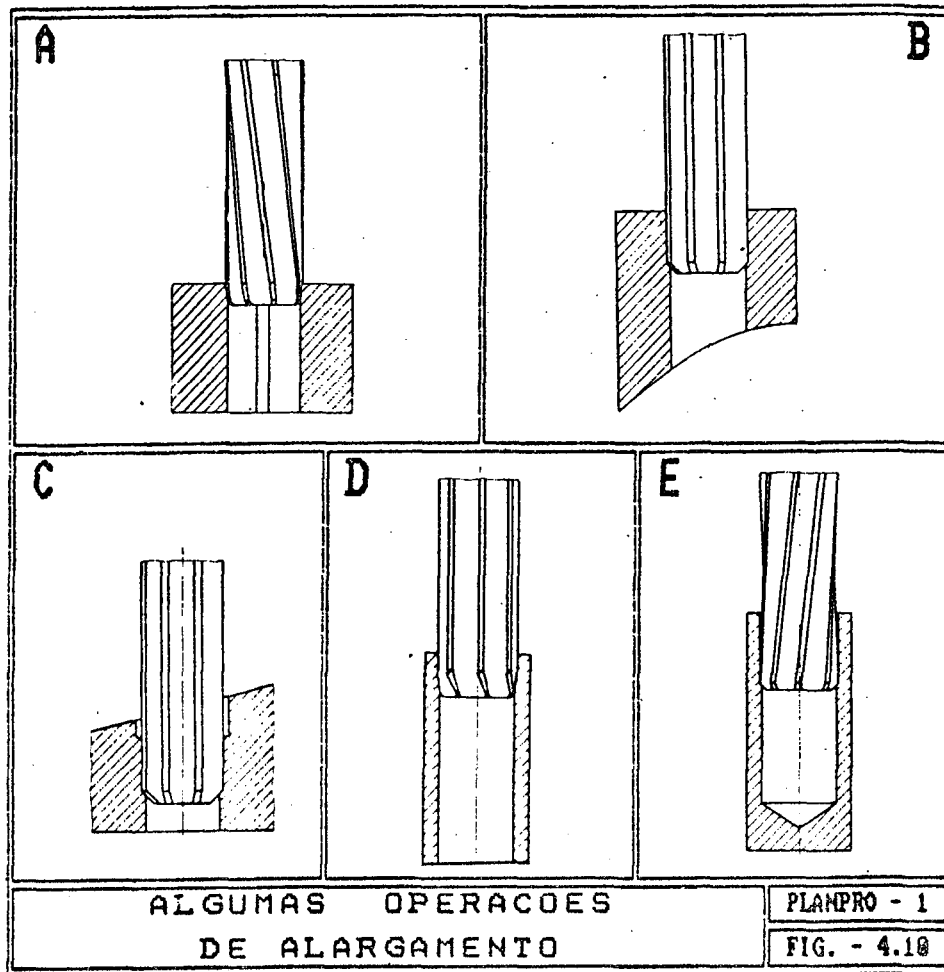


Fig 4.9 a: Para furos cegos com até $3 \times d$ de profundidade usam-se alargadores para máquinas com canais retos e forma de entrada "A".

Fig 4.9 b: Para furos cegos profundos (acima de $3 \times d$), para furos que devam ser alargados até o fundo ou ainda para alargar furos em materias de difícil usinagem, usam-se alargadores para máquinas com canais helicoidais à direita e forma de entrada A.

Fig 4.9 c: Furos consecutivos, alinhados e com pequenos espaços entre si, são usinados com alargadores com piloto de guia.

Fig. 4.9 d: Furos interrompidos no sentido longitudinal em materiais de cavaco longo de baixa e média dureza são usinados com alargadores para máquinas com canais helicoidais à esquerda para desbaste com forma de entrada "C".



ALGUMAS OPERACOES
DE ALARGAMENTO

PLANPRO - 1

FIG. - 4.10

Fig. 4.10 a: Para usinar furos interrompidos no sentido longitudinal em materiais de cavaco tanto curto como longo, são utilizados alargadores para máquinas com canais helicoidais à esquerda com forma de entrada "E".

Fig. 4.10 b: Quando a saída do furo for inclinada, deve-se utilizar um alargador com entrada de forma "A".

Fig. 4.10 c: Evitar superfícies com entrada inclinada. Fazer sempre uma superfície plana.

Fig. 4.10 d: Para o alargamento de furos passantes e profundos em peças de paredes finas, são usados alargadores para máquinas com canais retos e entrada helicoidal à esquerda.

Fig. 4.10 e: Furos cegos em peças de paredes finas são usinados com alargadores para máquinas com canais helicoidais à direita e forma de entrada "A".

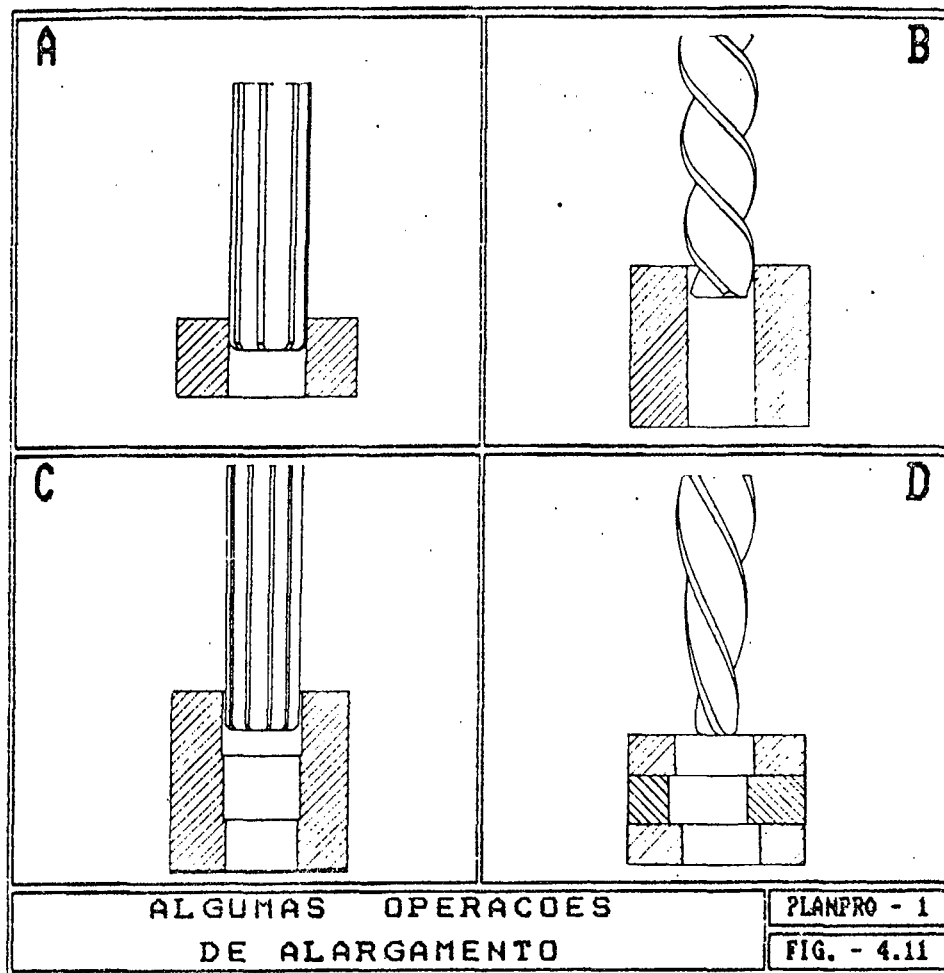


Fig. 4.11 a: Alargamento de um furo cônico com alargador cônico 1:50 com canais retos. Nos furos de até $1 \times d$ (diâmetro médio) de profundidade, a pré-furação poderá ser cilíndrica. Furos mais profundos poderão ser pré-furados com brocas cônicas ou pré-usinadas com alargadores cônicos com canais helicoidais à esquerda para desbaste que não necessitam de uma pré-furação cônica.

Fig 4.11 b: Alargamento de um furo cônico com um alargador cônico de canais helicoidais. É importante que o diâmetro do pré-furo seja maior que o menor diâmetro do alargador. Caso se exija precisão e/ou maior grau de acabamento, repassa-se com alargador cônico de canais retos.

Fig. 4.11 c: Alargamento de um furo para cone Morse com alargador de canais retos, só poderá ser empregado caso o pré-furo tenha sido usinado de forma escalonada ou pré-alargado com um alargador cônico de canais helicoidais.

Fig. 4.11 d: Em trabalhos de montagem, o alargador de furos para rebites é usado para compensar furos deslocados em chapas. Possui forma de entrada "F".

CAPÍTULO 5

MODELO COMPUTACIONAL

5.1 - INTRODUÇÃO:

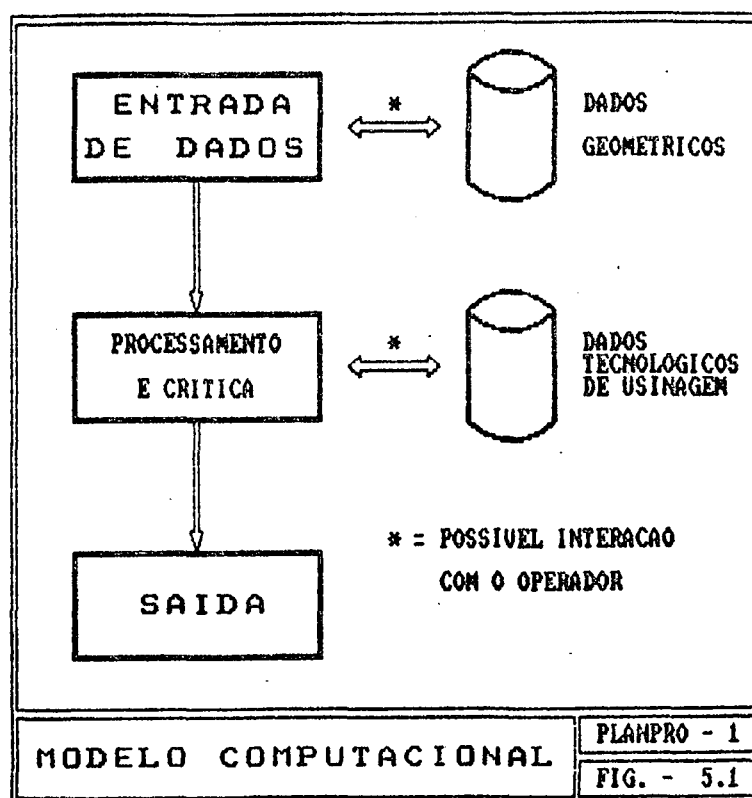
O enfoque principal deste capítulo é discorrer sobre a forma de organização e conteúdo dos principais armazenadores previstos para equipar o modelo a ser desenvolvido. No final é mostrado um fluxograma para ilustrar a concepção lógica do sistema.

5.2 - O MODELO COMPUTACIONAL:

O modelo proposto se apresenta na forma de um programa que possui um módulo de entrada para dados advindos de um projeto mecânico, um módulo de processamento de dados e outro de saída de resultados. Esses dados irão interagir com outros contidos no banco de dados do próprio programa, resultando na edição de uma folha tarefa (fig.5.1). A natureza desses dados pode ser tanto geométrica quanto tecnológica. Os dados de natureza geométrica são aqueles oriundos de um projeto, que identificarão as características dos furos. Os dados de natureza tecnológica são aqueles voltados à tecnologia de

usinagem, ou seja, características das máquinas-ferramentas (velocidades, avanços, dimensões da mesa, etc), materiais, ferramentas, constantes e expoentes para os modelos de Taylor e Kienzle. Os dados tecnológicos formam o banco de dados do programa.

O processamento desses dados se dará pela aplicação de modelos matemáticos que determinarão a ferramenta mais apropriada para a ocasião, juntamente com as condições de corte.



Nesse procedimento serão levados em consideração aspectos como a disponibilidade da máquina-ferramenta, em termos de velocidades, avanços automáticos e potência, e a vida da ferramenta, estimada através de um modelo empírico.

A interação do operador com o programa se dá no procedimento de entrada, onde o operador informa as características do trabalho a ser executado, e no procedimento de processamento,

caso ocorra alguma dúvida na escolha de uma ferramenta.

Nos próximos itens serão comentados aspectos da formação dos arquivos utilizados pelo programa proposto.

5.3 - ORGANIZAÇÃO FÍSICA DOS ARQUIVOS DE DADOS:

O principal objetivo da organização de arquivos é fornecer caminhos de acesso aos registros durante as operações de recuperação e atualização. Como as pesquisas em arquivos geralmente envolvem buscas, os caminhos de acesso devem ser o mais eficientes possível.

5.3.1 - Critérios para a escolha do tipo de organização:

A escolha do tipo de organização de arquivos pode ser baseada nos seguintes pontos:

- Tipo de consultas;
- Modo de atualização e recuperação;
- Frequência de uso;
- Crescimento do arquivo;
- Linguagem de programação e sistemas de organização disponíveis.

Haverá dois tipos de consultas por registro:

- a) Consulta simples: Ex.: Brocas.Diam = valor
- b) Consulta dentro de uma faixa: Ex.: Brocas.Comp_ut > valor

Tais consultas são feitas com muita frequência e o acesso aos registros deverá ser o mais rápido possível. Alterações nos

estoques de ferramentas (como por exemplo, compra e reposição) são rotina no almoxarifado de uma empresa. Por esta razão os arquivos necessitam ser de fácil acesso, compactos (devido ao grande número de ferramentas) e permitir alterações significantes em seu tamanho.

Quanto à linguagem de programação, o Turbo Pascal permite o uso de arquivos tipo texto (de leitura sequencial) e arquivos de acesso randômico, que podem ser lidos sequencialmente ou por índice de posição (procedure "SEEK").

A forma de organização que melhor se adapta às necessidades do programa é o arquivo de acesso randômico. Esta forma de organização permite um rápido serviço de atualização e recuperação além de ocupar menor espaço de armazenamento em disco flexível.

5.3.2 - Entidades e registros:

São necessários para formar o banco de dados do programa três grupos de entidades (arquivos): ferramentas, materiais e máquinas-ferramentas. Para formar o grupo das ferramentas, é destinada uma entidade para cada tipo de ferramenta. Assim no programa PLANPRO - 1 teremos esse grupo formado por ferramentas destinadas às operações de furação, como por exemplo: brocas, barras de mandrilar, brocas calibradoras, escareadores e alargadores. Os registros que irão formar essas entidades serão comentados no apêndice 2, onde serão analisados arquivo por arquivo salientando os dados que contêm.

5.3.3 - Atualização de arquivos:

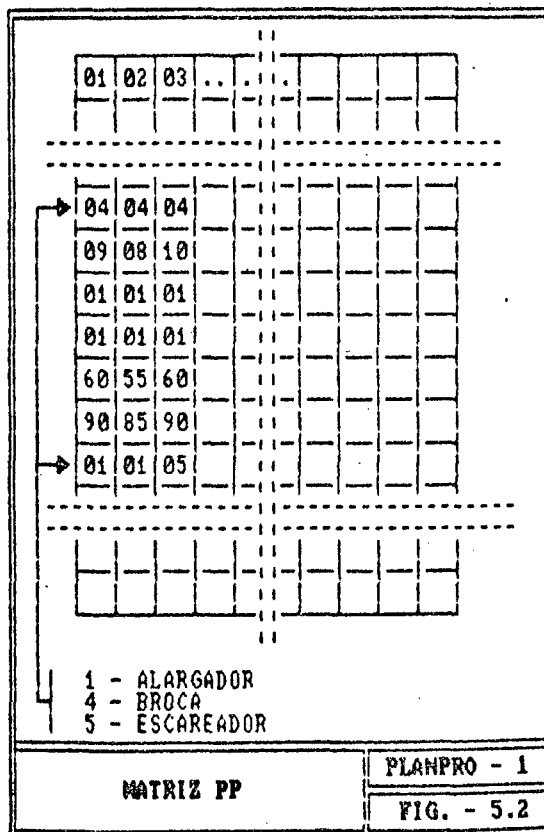
O modo de atualização pode ser em tempo real ou por lotes. Na atualização em tempo real a resposta não deverá demorar mais que alguns poucos segundos. Já para pedidos de atualização por lotes o tempo não é um problema crítico. A atualização é feita reunindo as informações em dois arquivos: um de transações, onde se guardam as atualizações e outro mestre, representando a situação do arquivo antes da atualização. O arquivo de transações é processado dentro do arquivo mestre corrente.

O processamento em lotes é prático apenas quando não se dispõe de um computador no local de trabalho ou quando o número de transações por lote for grande, pois é ineficiente processar um arquivo inteiro para pequenos lotes. Por essa razão (a necessidade de uma rápida resposta na atualização do arquivo) é que será adotado para o programa a atualização em tempo real.

No Turbo Pascal não existe um comando que apague os dados de um registro em um arquivo. No entanto isto pode ser feito por uma sub-rotina que leia os dados de cada registro e compare com aquele registro a ser apagado. Os registros comparados serão copiados para um outro arquivo (criado com a mesma organização do primeiro) somente se forem diferentes. Terminada a rotina de cópia, teremos dois arquivos idênticos a menos dos registros apagados. A sub-rotina então eliminará o primeiro arquivo e colocará no arquivo atualizado o nome do antigo.

5.4 - ARMAZENAMENTO DAS CARACTERÍSTICAS DAS FERRAMENTAS NA
 MATRIZ PP:

O programa, após retirar as informações do arquivo de ferramentas, colocará esses dados numa matriz (chamada PP) de forma ordenada na coluna, onde se armazena o processo do furo em questão. Cada tipo de ferramenta possui um código de identificação que precederá outros dados, como por exemplo, diâmetro, comprimento útil da ferramenta, comprimento total da ferramenta, ângulo de ponta, etc. Como a leitura da matriz PP se dará no sentido das colunas, a rotina identificará de qual tipo de ferramenta se trata, quais as características dessa ferramenta e qual a extensão do campo de dados entre uma e outra ferramenta. A figura 5.2 ilustra essa distribuição.



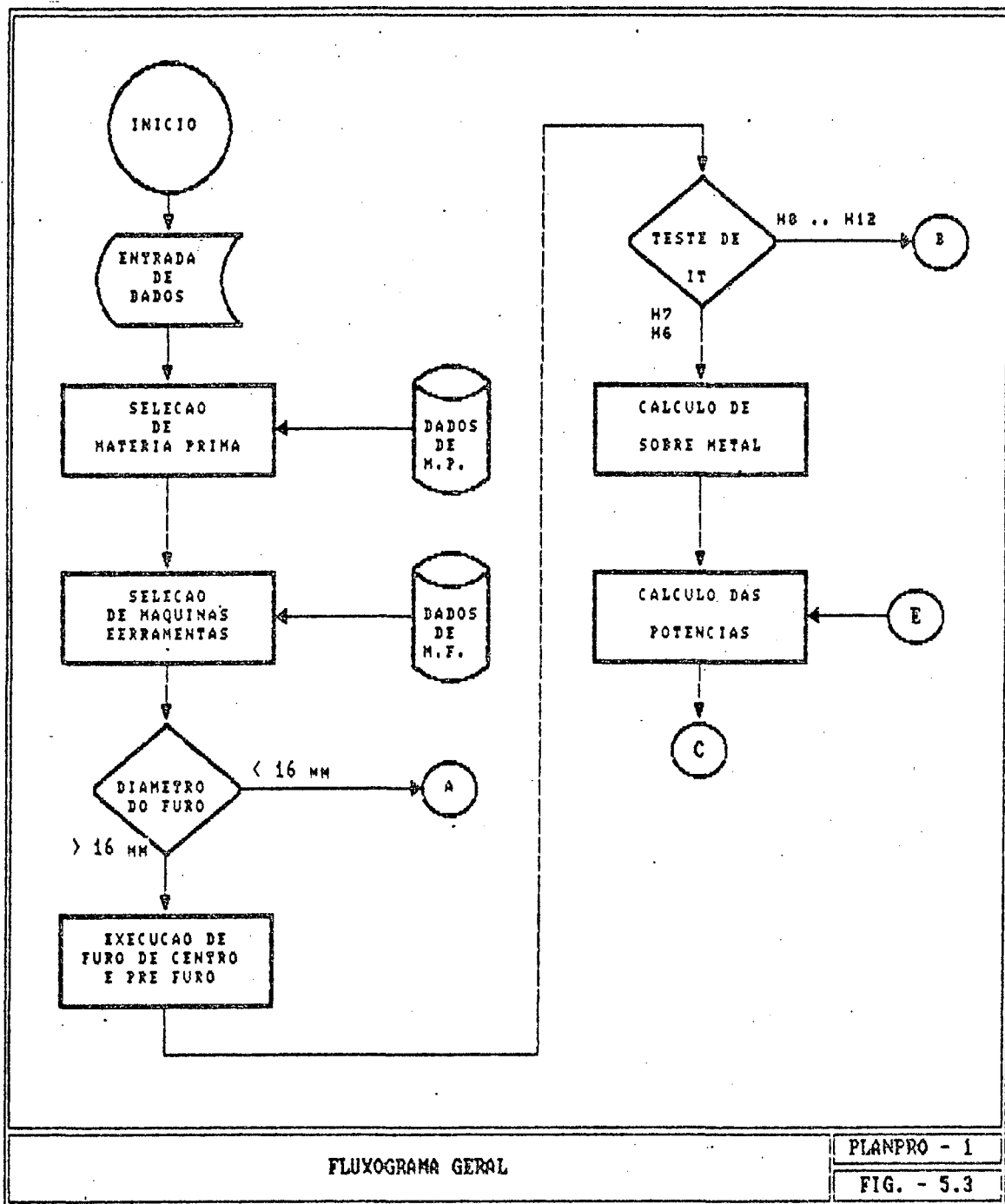
5.5 - FLUXOGRAMA GERAL :

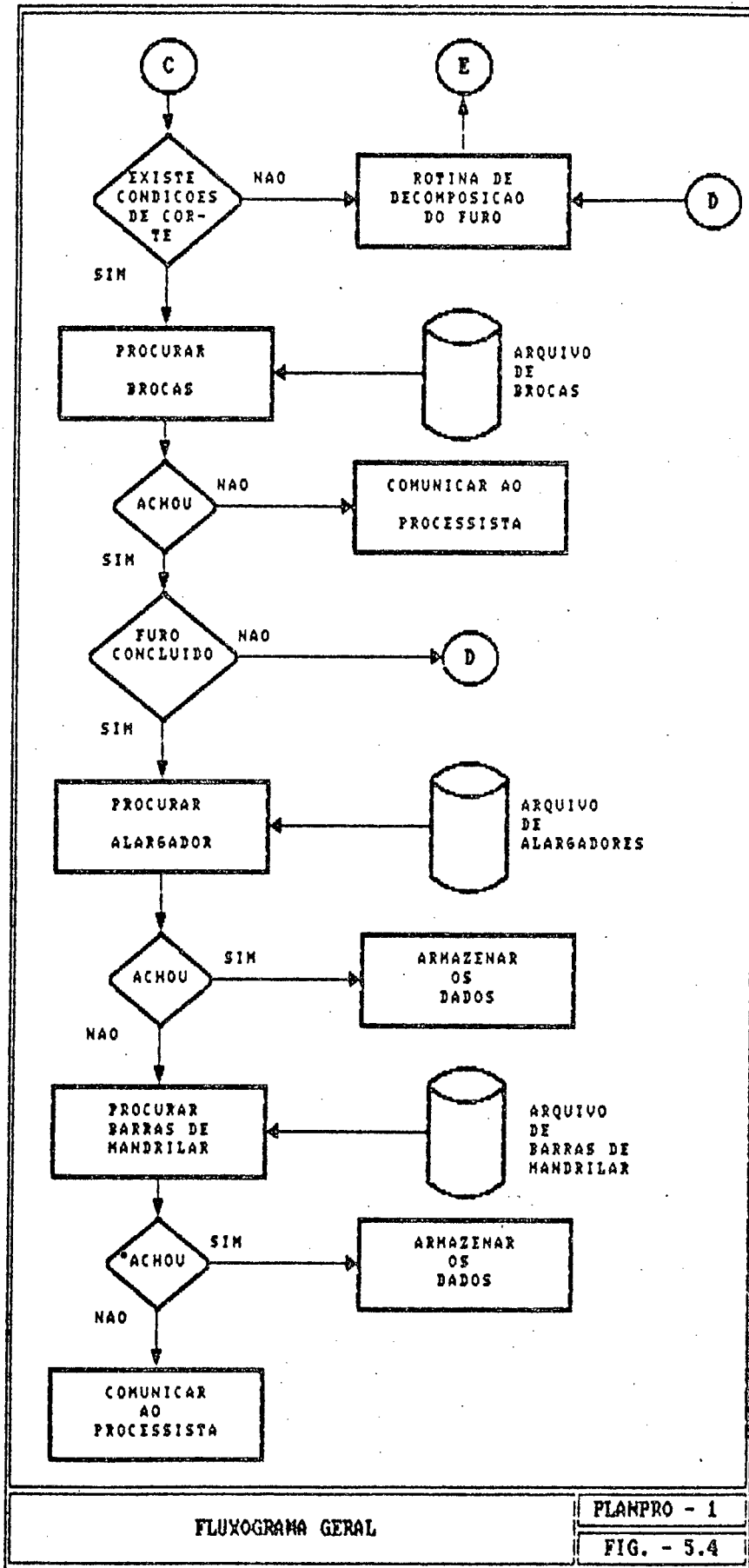
O estudo do modelo computacional se completa com a elaboração de um fluxograma (figuras 5.3 a 5.6) que orientará na codificação do programa e dará a primeira idéia conjunta da lógica de funcionamento do sistema.

O primeiro nível do fluxograma constitui a entrada de dados. Esta é composta por três fases: entrada de dados tecnológicos sobre os furos, escolha do material a ser trabalhado e escolha da máquina ferramenta. Os dois níveis seguintes correspondem a dois testes: um, de análise e separação de diâmetros entre maiores que 16 mm e menores (ou iguais) a 16mm; outro, a análise da classe de trabalho e tolerância dimensional dos furos.

Feitos estes testes, a próxima etapa é o cálculo das potências necessárias para executar o furo. Caso esta potência exceda àquela disponível na máquina ou, de alguma forma, comprometa o limite da vida da ferramenta, a lógica do sistema usará o recurso da furação em etapas (conforme comentado no capítulo 4). Uma vez compatibilizadas as potências requerida e disponível, haverá a pesquisa para a recuperação da ferramenta mais adequada. Caso essa ferramenta não seja encontrada, existirão uma série de alternativas a serem testadas, conforme mostra o fluxograma.

O passo seguinte a recuperação da ferramenta é armazenar os seus dados num armazenador geral (matriz PP). Finalizando, a leitura desta matriz irá gerar a edição da folha tarefa, com a sequência de usinagem, ferramentas, máquinas-ferramentas e parâmetros de corte selecionados.

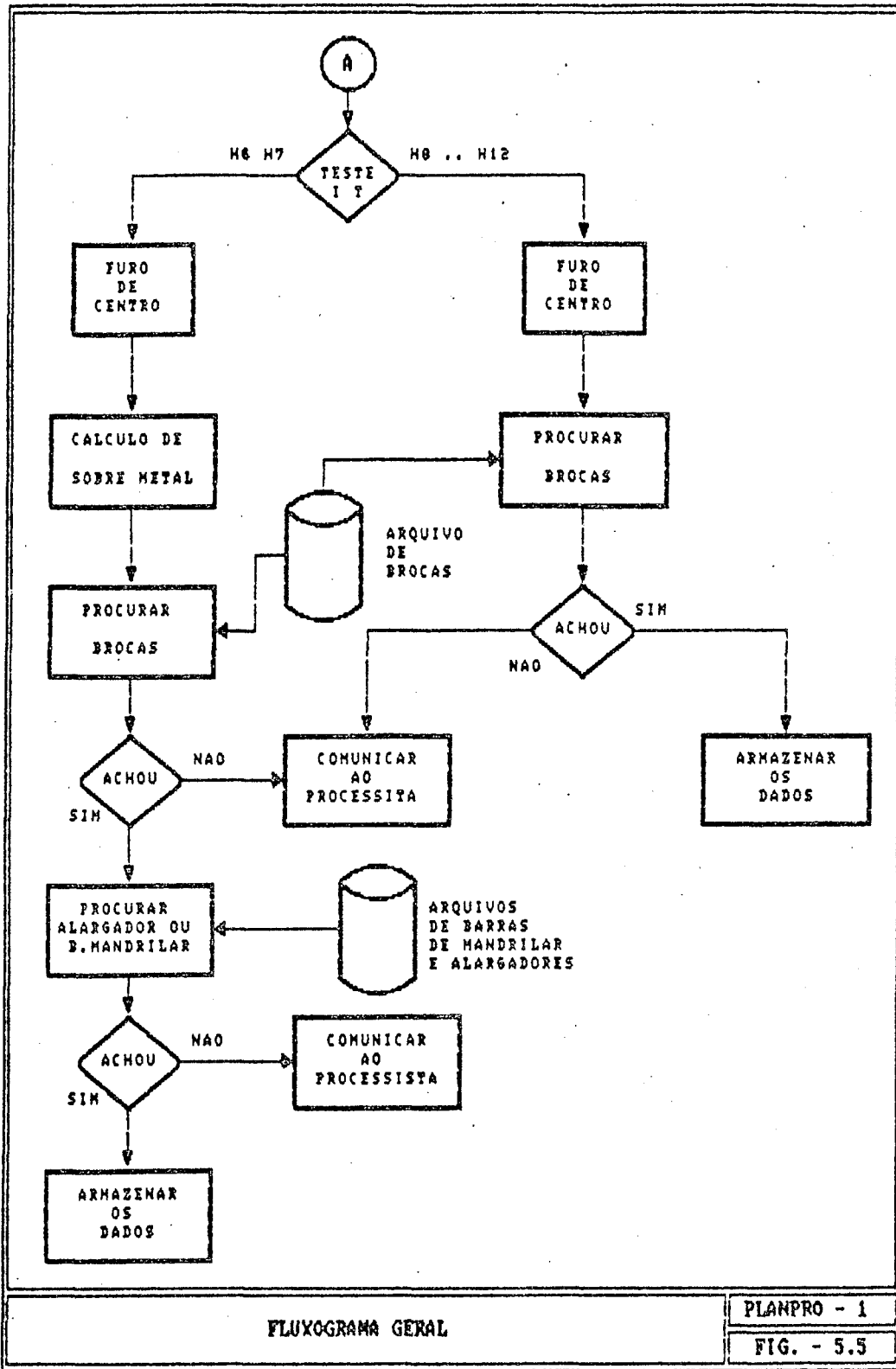




FLUXOGRAMA GERAL

PLANPRO - 1

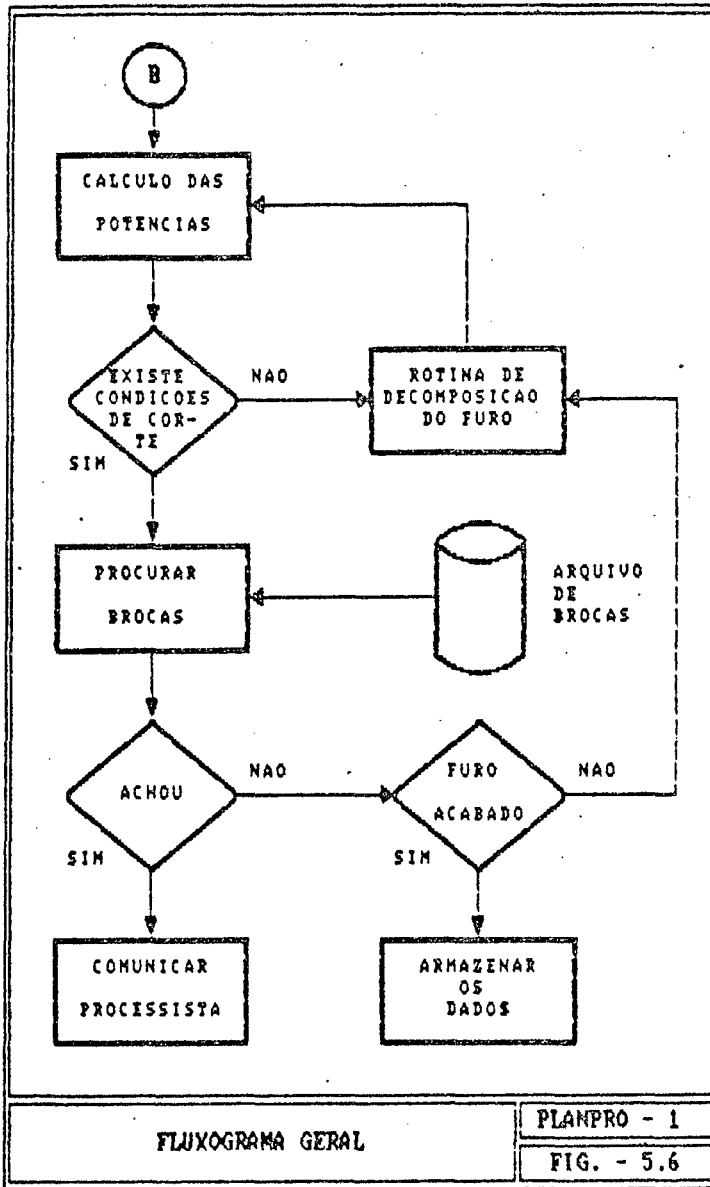
FIG. - 5.4



FLUXOGRAMA GERAL

PLANPRO - 1

FIG. - 5.5



CAPÍTULO 6

IMPLEMENTAÇÃO COMPUTACIONAL

6.1 - INTRODUÇÃO:

Neste capítulo será mostrada, por meio de um diagrama de fluxo de dados, a forma final do programa CAPP proposto. O programa é dividido em três ambientes distintos: aquisição de dados, processamento de dados e edição da folha tarefa. Nos próximos itens, será detalhado cada um deste ambientes.

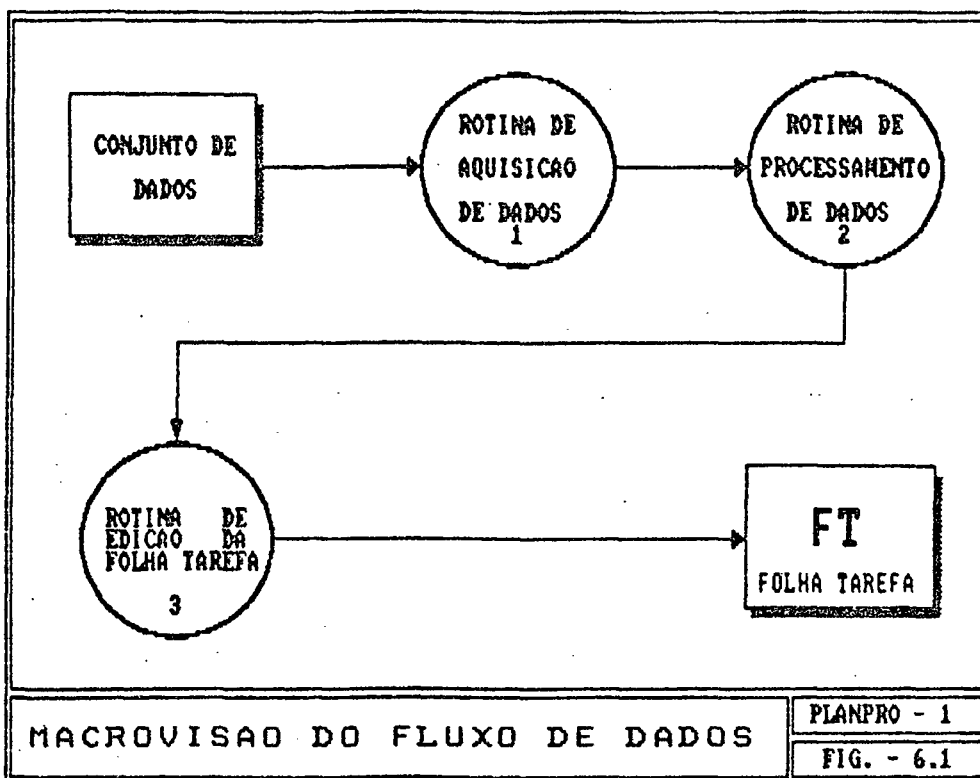
6.2 - PRIMEIRO NÍVEL: MACROVISÃO DO FLUXO DE DADOS:

Neste primeiro nível, pode-se observar pela figura 6.1 as principais etapas que compõem o programa de planejamento de processos.

Inicialmente temos um conjunto global de dados que contém informações geométricas e tecnológicas sobre os furos e informações técnicas a respeito das máquinas-ferramentas e materiais disponíveis. Através de interações entre o operador e a rotina de aquisição de dados, serão escolhidos o material da peça e a máquina-ferramenta, além de serem introduzidas todas as características de identificação dos furos.

Uma vez efetivada a aquisição dos dados, essas informações serão passadas para a rotina de processamento de dados. Essa rotina forma um ambiente onde serão balanceados uma série de modelos matemáticos concernentes à tecnologia de furação. Este estudo leva em consideração aspectos como características da máquina-ferramenta escolhida, do material da peça, vida e material da ferramenta e acabamento exigido para o produto. Como resultado final desta rotina, temos a escolha de todas as ferramentas e a sequência de execução do serviço. Estes dados ficam armazenados de forma codificada na memória do computador; para torná-los inteligíveis ao homem, é necessário uma outra rotina que os interprete.

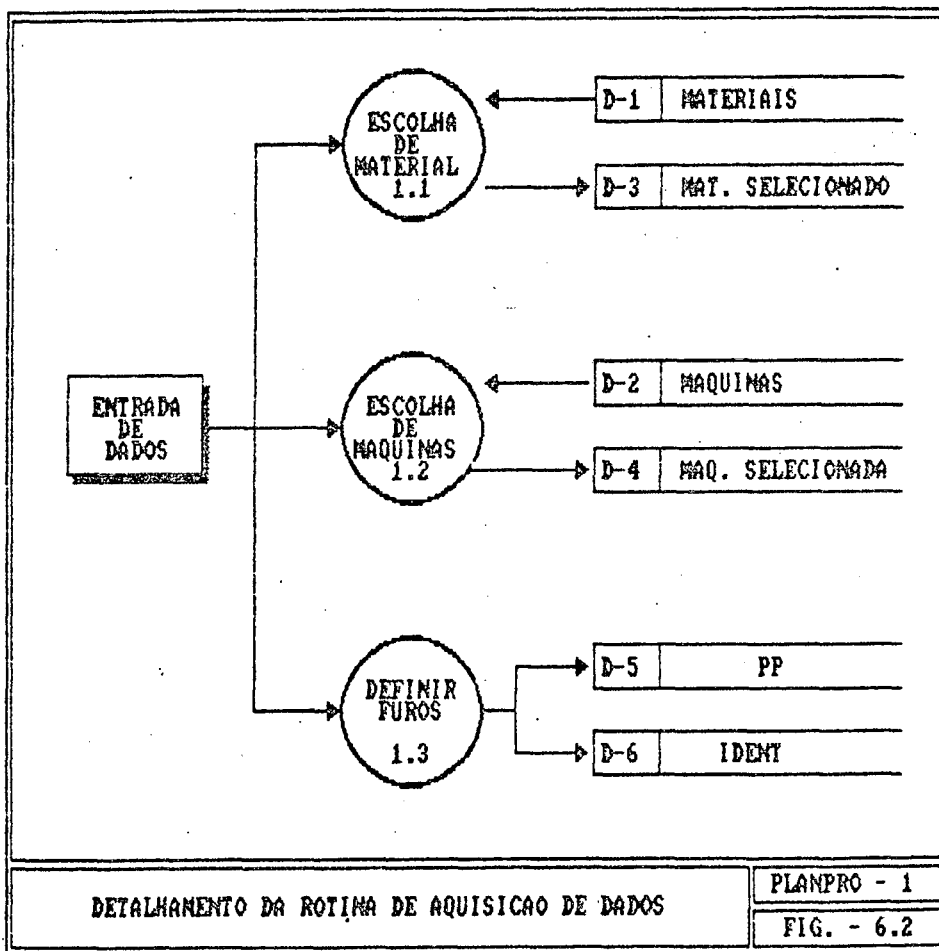
Esta é a rotina de edição da folha tarefa, que além de documentar o planejamento do processo, também é responsável pelo cálculo final dos parâmetros de corte.



6.3 - ROTINA DE AQUISIÇÃO DE DADOS:

Esta rotina, responsável pelo gerenciamento da entrada de dados no sistema, é composta por três procedimentos (fig.: 6.2):

- Escolha do material da peça (1.1);
- Escolha da máquina-ferramenta (1.2);
- Definição das características dos furos (1.3);



Nesses três procedimentos existem interações entre o operador e o programa, que serão explicadas nos próximos itens.

6.3.1 - Escolha do material da peça:

Primeiramente o arquivo de materiais (D-1) é lido pelo programa, que expõe na tela do computador os materiais disponíveis e seus códigos. Feito isto, o operador será perguntado sobre qual o código de material que será usado. Sua resposta é, então, armazenada em uma variável (D-3) e assim, através dessa variável, o programa tem acesso, a qualquer hora, às características do material escolhido. O conteúdo do arquivo D-1 é citado no apêndice número dois.

6.3.2 - Escolha da máquina-ferramenta:

Com uma lógica computacional idêntica à escolha dos materiais, o procedimento de escolha da máquina-ferramenta faz uso do arquivo de máquinas (D-2) e da variável D-4 para armazenar o código da máquina-ferramenta escolhida. Os registradores que formam o arquivo D-2 são mostrados no apêndice número dois.

6.3.3 - Definição das características dos furos:

Este procedimento envolve dois armazenadores do tipo matriz, um chamado matriz planejamento de processos (D-5) e outro chamado matriz identidade (D-6).

O operador, respondendo a perguntas como a quantidade de furos a serem feitos, diâmetros, profundidades, acabamento desses furos, se esses furos são escareados ou não, se

apresentam descontinuidade ou não, e codificando esses furos, estará permitindo que o programa preencha completamente a matriz identidade (D-6) e mais algumas posições da matriz planejamento de processos (D-5). A matriz D-5 será completada no decorrer do programa.

6.4 - ROTINA DE PROCESSAMENTO DE DADOS:

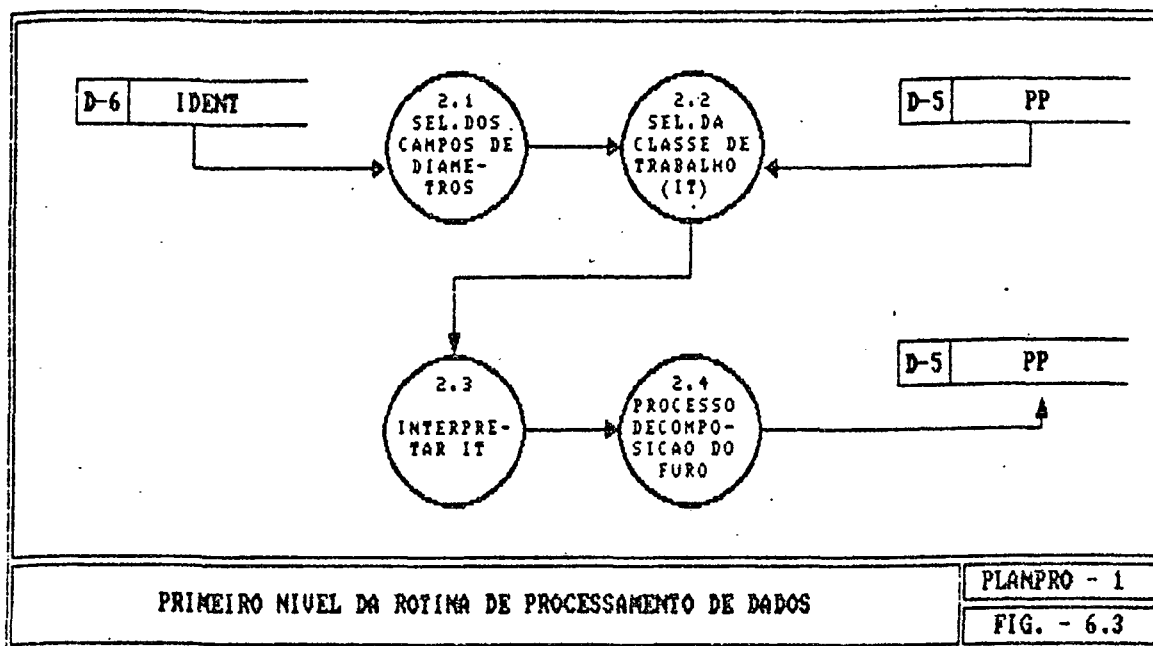
O ambiente de processamento é composto por quatro procedimentos (fig.: 6.3):

- Seleção do campo de diâmetros (2.1);
- Seleção da classe de trabalho - IT (2.2);
- Interpretação da classe de trabalho (2.3);
- Processo de furação em etapas (2.4).

O procedimento de seleção do campo de diâmetros recebe da matriz identidade (D-6) o valor do diâmetro do furo a ser usinado e, conforme o diagrama da figura 4.3 (Capítulo 4), classifica-o em um dos três campos.

Os procedimentos de seleção e interpretação da classe de trabalho são responsáveis por receber da matriz planejamento de processos (D-5) um código que traduza o valor da classe de trabalho destinada para o furo. De acordo com esta classe de trabalho será selecionada uma sequência diferente de ferramentas.

Este procedimento armazena a tecnologia necessária para indicar as medidas de sobre metal e as ferramentas de acabamento.



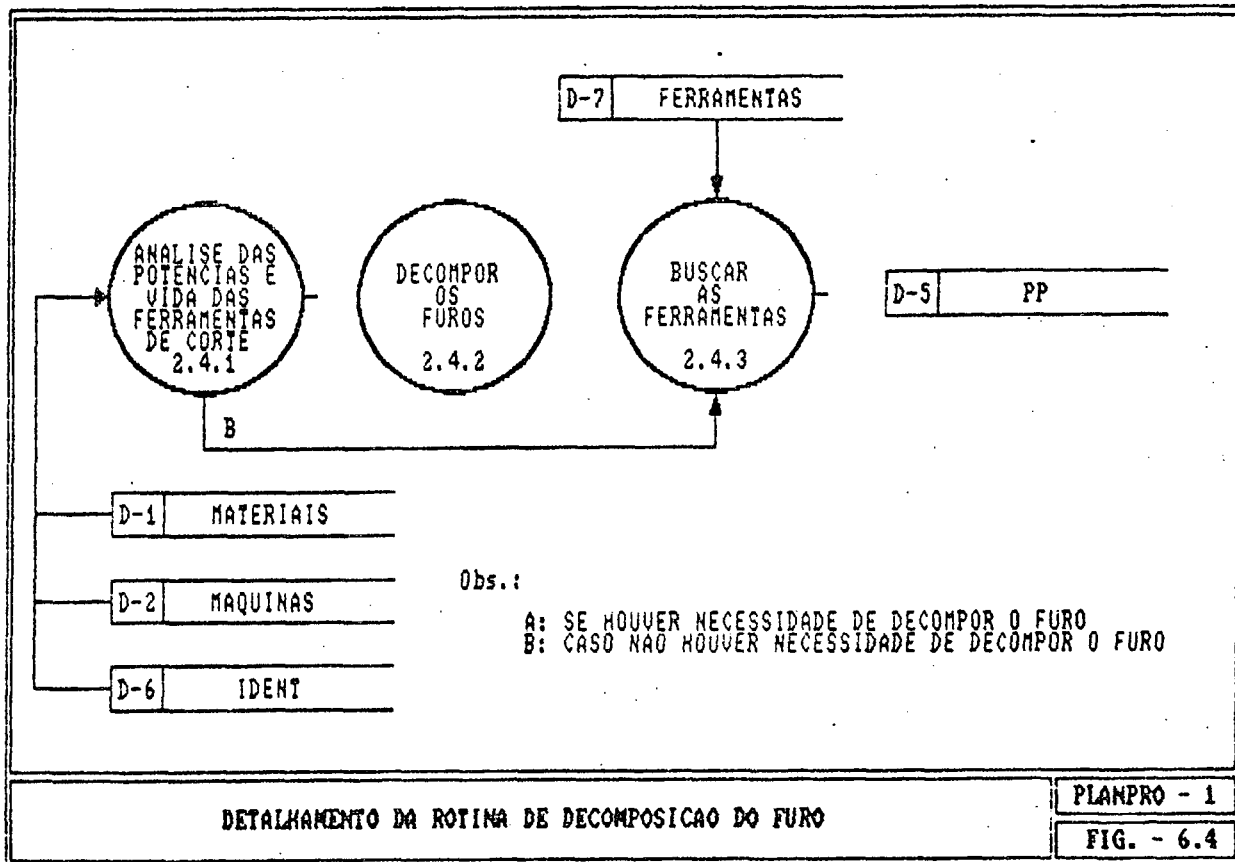
O processo de furação em etapas é o procedimento onde reside a tecnologia que fará uma análise ponderada entre as potências de corte, potências disponíveis e vida da ferramenta. Desta análise resultará o número de etapas em que deverá ser feito o furo.

Este procedimento é subdividido em outros três procedimentos (fig.: 6.4):

- Análise das potências envolvidas e vida das ferramentas de corte (2.4.1);
- Furação em etapas (2.4.2);
- Busca das ferramentas (2.4.3).

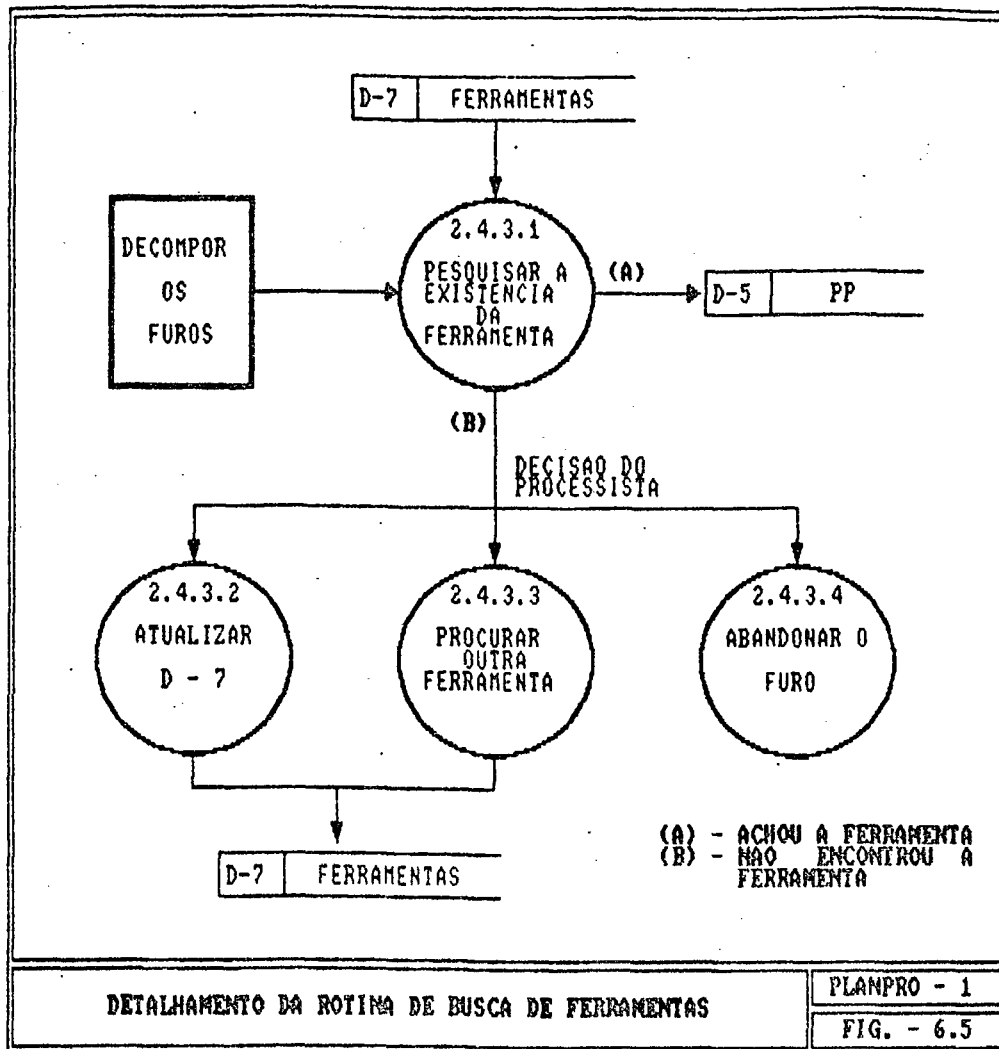
No procedimento da análise das potências envolvidas e vida das ferramentas é verificada a possibilidade da furação em cheio com base nas equações de Taylor e Kienzle. Os coeficientes, as constantes e os expoentes que serão utilizados nessas equações serão fornecidos pelo arquivo de materiais (D-

1). O arquivo de máquinas (D-2) fornece a potência, as rotações e avanços automáticos disponíveis, e a matriz identidade (D-6), o diâmetro e a profundidade do furo.



A furação em etapas irá ocorrer quando não existir potência disponível para a furação em cheio ou houver um comprometimento da vida estipulada para a ferramenta.

A busca das ferramentas ocorre segundo informações de um dos dois procedimentos anteriores (2.4.1 ou 2.4.2), ou seja: de acordo com as características da usinagem a ser executada, este procedimento pesquisa no arquivo da ferramenta (D-7), uma que satisfaça a tais características. Caso essa ferramenta não seja encontrada, o programa mostra ao processista três opções (fig.: 6.5):



- Atualizar o arquivo de ferramentas (2.4.3.2): Esta opção dá ao operador a chance de incluir no arquivo a ferramenta que faltava.

- Procurar outra ferramenta (2.4.3.3): Ocorre que, muitas vezes a operação pode ser feita por outra ferramenta.

- Abandonar o furo (2.4.3.4): Opção extrema, onde, se não houver chance de procurar outra ferramenta e não houver possibilidade de se implementar o arquivo D-7, o operador poderá abandonar o furo.

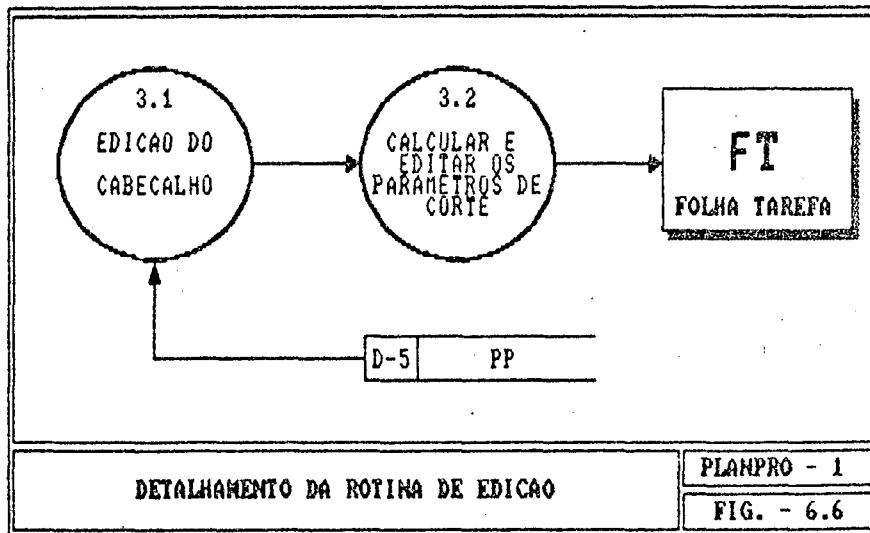
Uma vez executada a rotina de busca de ferramentas, os dados das ferramentas serão armazenados na matriz planejamento

de processo (D-5), conforme visto no capítulo cinco, item 5.4. Quando todos os furos processados estiverem com suas respectivas ferramentas selecionadas e armazenadas na matriz D-5, tem-se por encerrada a rotina de processamento.

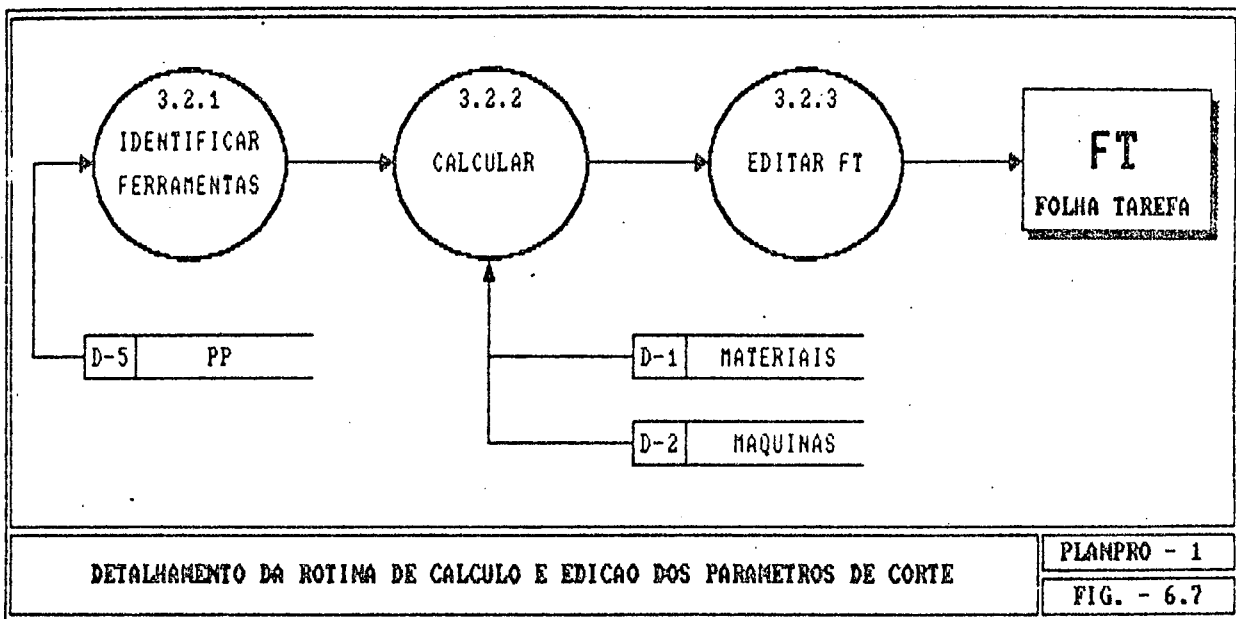
6.5 - ROTINA DE EDIÇÃO DA FOLHA TAREFA:

A edição da folha tarefa é composta por dois procedimentos (fig.: 6.6):

- Edição do cabeçalho (3.1);
- Cálculo e edição dos parâmetros de corte (3.2);



O cabeçalho contém apenas alguns dados para identificar o trabalho. O procedimento de cálculo e edição dos parâmetros de corte (fig.: 6.7) primeiramente identifica na matriz planejamento de processo (D-5) as ferramentas que serão usadas. Feito isto, com base nos dados de materiais (D-1), máquinas (D-2) e demais informações tecnológicas contidas no capítulo quatro, calcula os parâmetros de corte necessários e os edita numa folha tarefa.



CAPÍTULO 7

OPERAÇÃO

7.1 - INTRODUÇÃO:

Este capítulo trata das instruções básicas de instalação e operação do programa de planejamento de processos PLANPRO - 1.

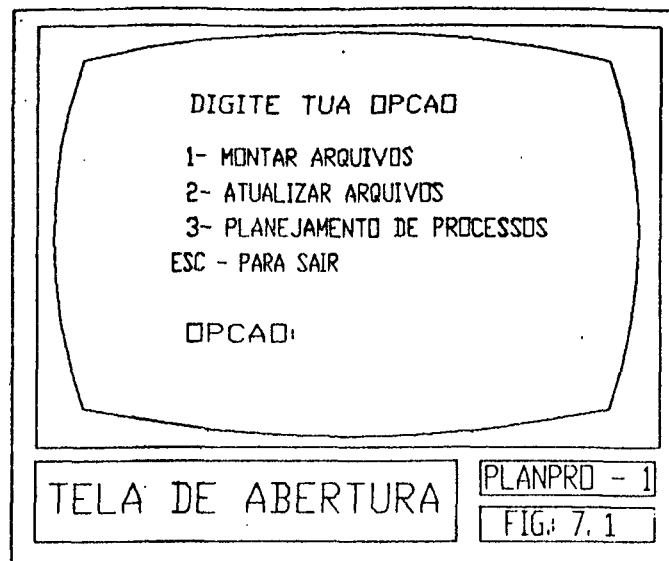
7.2 - INÍCIO DO PROGRAMA:

A primeira etapa para planejar o processo de fabricação de uma peça consiste numa detalhada análise do projeto, onde o planejador deverá reconhecer as informações necessárias para a elaboração de um roteiro de trabalho. Feito esse estudo, o passo seguinte será entrar no programa de planejamento de processos.

O programa PLANPRO- 1 foi elaborado para operar no drive A de qualquer microcomputador da linha PC. Então, para o programa ser carregado, deve-se inserir o disquete no drive A do micro computador e digitar:

```
A>PLANPRO1 <cr>
```

Uma vez carregado o programa, aparecerá na tela uma lista de opções (fig.: 7.1), que serão comentadas nos próximos itens.



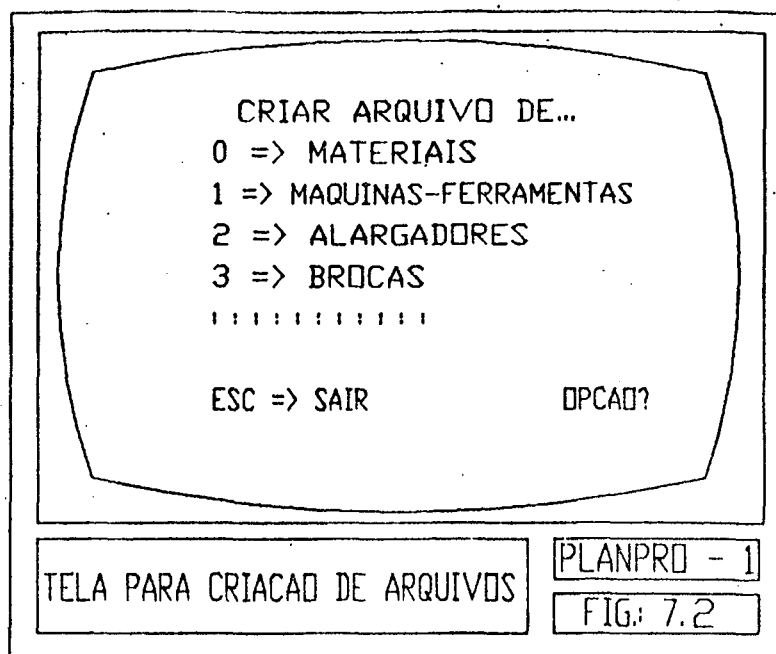
7.3 - MONTAGEM DE ARQUIVOS:

Esta é a primeira opção que aparece na tela da figura 7.1 e está relacionada com a criação de novos arquivos, dentro das opções estabelecidas (arquivos de máquinas-ferramentas, materiais e ferramentas).

A opção de montar arquivos deve ser acionada em duas ocasiões:

- Na instalação do sistema, quando o usuário deve criar os arquivos que forem de seu interesse.
- Quando o usuário quiser apagar todos os dados de determinado arquivo para inserir novas informações.

As opções de arquivos são mostradas na tela, conforme mostra a figura 7.2.



7.4 - ATUALIZAÇÃO DE ARQUIVOS:

O procedimento de atualização de arquivos pode ser acionado em duas ocasiões:

- a) Como opção de entrada do programa (fig.: 7.1), ou
- b) Quando uma ferramenta não é encontrada, então o programa dá ao operador a oportunidade de implementar o arquivo com essa ferramenta (fig.:7.3).

Em ambos os casos o procedimento é o mesmo. O programa listará os arquivos disponíveis e o usuário selecionará um deles. Uma vez dentro do arquivo escolhido, o usuário responderá a uma série de perguntas cujas respostas irão preencher os registros do arquivo. Ao final, o programa perguntará:

ARTIGO NAO ARQUIVADO	
DADOS DA BROCA :	
DIAMETRO =	
COMPRIMENTO MINIMO =	
CODIGO DO FURO=	
ESCOLHA =	
1- PROCURAR OUTRA FERRAMENTA	
2- IMPLEMENTAR ARQUIVO	
3- ABANDONAR O FURO	
TELA PARA ARTIGO NAO ARQUIVADO	PLANPRO - 1
	FIG: 7.3

"FINAL DO ARQUIVO ? [S/N]"

Caso seja conveniente a inclusão de mais uma entidade no arquivo, o operador digitará "N". Caso contrário, o arquivo será fechado e o programa retornará ao passo anterior.

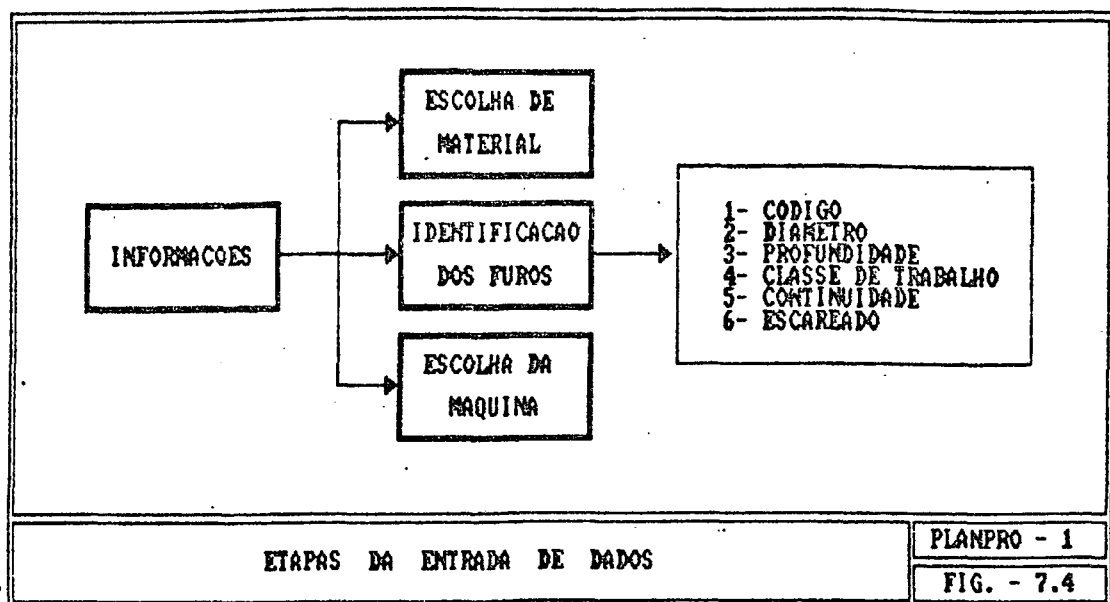
7.5 - PLANEJAMENTO DE PROCESSOS:

A última opção mostrada na tela, conforme a figura 7.1, possibilita que o usuário entre no ambiente de planejamento de processos. Porém, antes do programa começar a executar seus procedimentos, é necessário fornecer uma série de informações

que, depois de processadas, resultarão na folha tarefa. Essas informações e a edição da folha tarefa serão os assuntos dos próximos itens.

7.5.1 - Entrada de dados:

A entrada de dados é uma das rotinas onde há interação entre o programador e o software para a aquisição dos dados necessários para o processamento. Essa fase é composta por três estágios, conforme figura 7.4.



a) Escolha do material:

Será mostrada na tela do computador a relação dos materiais disponíveis no arquivo de materiais (fig.7.5). Cada material é associado a um código chamado grupo de materiais. Isto permite agrupá-los por características semelhantes.

O processista deverá informar com qual grupo irá

trabalhar, para ser resgatado do arquivo os valores das constantes e expoentes necessários para os cálculos dos parâmetros de usinagem.

<p>SELECAO DO GRUPO DE MATERIAIS</p> <p>DIGITE OPCAO => <=</p> <p>GR=> 1 MATERIAL => 1020 GR=> 2 MATERIAL => 4640</p>	
TELA DE ESCOLHA DE MATERIAIS	PLANPRD - 1
	FIG: 7.5

b) Codificação e identificação do furo (fig.7.6):

Nesta fase o processista dirá a quantidade de furos a serem feitos, diâmetro e profundidade, a Classe de trabalho (IT), a existência (ou não) de descontinuidade na parede do furo, a existência (ou não) de escareado e o ângulo do escareado. Para cada furo será solicitado um código.

c) Escolha da máquina-ferramenta:

Quando o "software" solicitar a escolha de uma máquina-ferramenta, ele listará na tela uma relação contida no arquivo de máquinas. Junto ao código da máquina serão informados as

IDENT. E CODIF. DOS FURDS	
QUANTIDADE DE FURDS =	
CODIGO	
DIAMETRO	
PROFUNDIDADE	
CLASSE DE TRABALHO	H
EXISTE DESCONT.	S/N
ESCAREADO	S/N
TELA PARA IDENTIFICACAO DE FURDS	
PLANPRO - 1	
FIG: 7.6	

dimensões da mesa, curso da árvore, tipo de cone da árvore e potência da máquina.

Cabe ao processista escolher uma máquina e digitar seu código (fig.: 7.7).

7.5.2 - Edição da folha tarefa:

A folha tarefa (ou folha de operações) se constitui num documento que mostra a sequência de passos a serem seguidos para a realização de um trabalho.

Esta sequência vem acompanhada de informações como: tipo de ferramentas, qual máquina será usada, quais os parâmetros de corte, etc, que serão úteis para a maior exatidão do trabalho.

RELACAO DE MAQUINAS:				
ESCOLHA O CODIGO =>				
COD.	POT.	CURSO	MESA	CONE
1	3 HP	400 mm	300x400	M-3
2	3 HP	500 mm	400x500	M-3
.....				

TELA DE ESCOLHA DE MAQUINAS

PLANPRO - 1

FIG. 7.7

O procedimento de edição passará por três estágios:

- a) Leitura das matrizes PP e IDENT.
- b) Cálculo dos parâmetros de usinagem.
- c) Impressão da folha tarefa.

A folha é formada por um cabeçalho de apresentação, seguido de:

- a) Informações sobre a máquina-ferramenta (código, potência e dimensões da mesa).
- b) Grupo de materiais da peça.
- c) Sequenciamento do processo:
 - Identificação do furo (Código, diâmetro, profundidade e classe de trabalho);
 - Identificação da broca de centro;
 - Identificação das ferramentas com seus respectivos parâmetros de corte.

São editados os seguintes parâmetros de corte:

- Velocidade de corte [m / min];
- Velocidade de avanço [mm / min];
- Avanço [mm / rot];
- frequência de rotações [Rpm].

A título de informações adicionais, constarão ainda os seguintes dados:

- Força de corte [N];
- Força de avanço [N];
- Potência de corte [kW];
- Potência de avanço [kW];
- Momento de corte [N.m].

A identificação das ferramentas será feita com a listagem dos dados contidos nos arquivos e alocados na matriz PP.

CONCLUSÕES E SUGESTÕES PARA
FUTUROS TRABALHOS

CONCLUSÕES:

O trabalho desta dissertação culminou em uma revisão bibliográfica sobre o planejamento de processos auxiliado por computador (CAPP) e na elaboração de um programa de computador que ajudou a comprovar algumas das principais características do CAPP.

A revisão bibliográfica forneceu uma série de definições para formar o embasamento teórico e um conceito de CAPP:

É um conjunto de regras lógicas, modelos matemáticos e arquivos de dados arranjados na forma de um algoritmo computacional, que objetiva auxiliar o homem na escolha dos processos de usinagem, ferramentas e parâmetros de corte que serão usados para converter a matéria bruta em peça acabada. Essas escolhas devem ser feitas conforme as instruções de um projeto mecânico e de forma compatível com os recursos disponíveis pelo usuário.

O programa de computador (denominado PLANPRO - 1) é um modelo de CAPP generativo para operações de furação. Neste trabalho, o programa abrangeu apenas furos não escalonados. Como o programa é composto por uma série de procedimentos estruturados, é possível fazer, em trabalhos futuros, expansões para elaborar o plano de trabalho para quaisquer tipos de furos.

Acompanhando as publicações técnicas, observou-se que o

CAPP é assunto de pesquisa em várias instituições (T.H. Aachen, Purdue, OIR, METCUT, etc.) que se esforçam para recuperar a defasagem tecnológica existente, em relação ao estado de aperfeiçoamento no qual se encontram os sistemas CAD e CAM.

O fomento de pesquisas em CAPP se justifica, pois com sua utilização :

- haverá um melhor aproveitamento das ferramentas de corte e das máquinas-ferramentas, com repercussões econômicas favoráveis;

- a uniformização das instruções levará a uma padronização e a melhoria da qualidade do trabalho.

- o CAPP se encarregará das decisões básicas, das tarefas repetitivas, das pesquisas em arquivos e dos cálculos concernentes, liberando o processista para tarefas mais nobres de planejamento;

- deverá ocorrer uma redução nos custos da tarefa de planejamento.

As recentes tendências de flexibilidade na manufatura induzem o uso de sistemas CAPP generativos. As pesquisas seguindo esta filosofia de CAPP ainda encontram obstáculos em:

- sistematizar em modelos matemáticos e computacionais a tecnologia dos vários processos de usinagem;

- administrar os parâmetros envolvidas no processo;

- identificar os dados geométricos do projeto a partir de sistemas CAD.

No desenvolvimento do programa PLANPRO - 1, as maiores dificuldades sentidas foram sistematizar o processo de furação e administrar alguns parâmetros envolvidos no processo. Para contornar esses problemas desenvolveu-se os procedimentos de pré-furação, decomposição do furo, reconhecimento da classe de

trabalho (IT), sequenciamento de ferramentas, entre outros. A questão geométrica não é um aspecto crítico para a furação, uma vez que a ênfase desta operação está no processo do trabalho, ou seja, na determinação da sequência de operações para a usinagem de um furo.

Independente da abrangência e flexibilidade que possam vir a ter os sistemas CAPP, eles não devem ter a pretensão de elaborar planejamento de processos absolutos. Os sistemas CAPP devem criar um plano de fabricação dentro da melhor tecnologia e recursos disponíveis na empresa, porém, deixando ao usuário a opção de fazer ajustes ou modificações finais no plano de trabalho, em função de variáveis aleatórias (momento econômico, mercado, manutenção corretiva, etc.) que não podem ser incorporadas ao sistema. Por esta razão foi dito que o planejamento de processos auxiliado por computador funciona como uma ferramenta de apoio aos processistas, maximizando os seus desempenhos, sem querer substituí-los.

Finalizando, acima de todos os benefícios técnicos que um sistema CAPP isoladamente pode oferecer, seguramente a sua maior contribuição está na integração que propicia, pois é através do CAPP que são unidos o projeto (CAD) e a manufatura (CAM).

SUGESTÕES PARA FUTUROS TRABALHOS:

Devido ao fato de ter sido este o primeiro trabalho a abordar o tema de planejamento de processos auxiliado por computador no Departamento de Engenharia Mecânica da UFSC, é natural que surjam muitas idéias de aperfeiçoamento e prosseguimento no estudo do assunto. São apresentadas abaixo, uma lista de sugestões para futuros trabalhos que poderão contribuir com o desenvolvimento do CAPP e do presente trabalho:

- fazer testes, usinando diversas peças conforme as especificações da folha tarefa. Os resultados devem ser criticados com base na análise das forças de usinagem e do acompanhamento da vida da ferramenta. Estes resultados podem vir a colaborar com correções no programa PLANPRO - 1, no sentido de otimizar os parâmetros de corte indicados;

- incorporar ao programa PLANPRO - 1 rotinas de otimização dos processos gerados;

- sistematizar outros processos de usinagem, como torneamento, fresamento e outros, para dar maior versatilidade ao programa PLANPRO - 1;

- implementar rotinas que controlem o estoque e a vida das ferramentas;

- buscar melhores técnicas de armazenamento e recuperação de planos já elaborados;

- incluir rotinas que dêem melhor tratamento aos diversos tipos de tolerâncias (forma, posição, acabamento, etc.);

- estimular trabalhos que façam o interfaceamento entre o CAD e o CAPP, permitindo que este extraia todas as informações

geométricas e tecnológicas do projeto com a mínima intervenção humana;

- da mesma forma, desenvolver o interfaceamento entre o CAPP e o CAM, para que o processo gerado possa ser traduzido em um programa NC, com a mínima interferência do homem.

Também devem ser incentivados trabalhos que dão apoio ao planejamento de processos, como por exemplo, estimular o crescimento de bancos de dados de usinagem, pois facilitam o fornecimento de parâmetros de corte para as várias combinações entre material da peça e material da ferramenta.

Desta forma, está sendo viabilizado um ramo de pesquisa que poderá dar muitas contribuições para uma melhor comunicação entre o projeto e a manufatura.

· REFERENCIAS ·
BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS:

- / 1/ Chang, T. C. & Wysk, R. A. - An introduction to automated process planning systems - Ed. Prentice Hall Inc. - New Jersey - 1985.
- / 2/ Weil, R.; Spur, G. & Eversheim, W. - Survey of computer aided process planning systems - Anais do CIRP - 1982.
- / 3/ Zdblik, W. J. - Planejamento de processos auxiliado por computador - Boletim da SOBRACON nº 19 - São Paulo - 1985.
- / 4/ Danilevsky, V. - Manufacturing engineering - MIR Publishers Moscou - 1973.
- / 5/ Ew, A. N. & Queiroz, A. A. - Planejamento de processos auxiliado por computador - Anais do IX Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - Florianópolis - 1987.
- / 6/ Hitomi, K. - Manufacturing systems engineering - Ed. Taylor & Francis Ltd.- Londres - 1979.
- / 7/ Chang, T. C. & Wysk, R. A. - Integrating CAD and CAM through automated process planning - Journal of Production Research - 1984.
- / 8/ Ham, I - Tecnologia de grupo e sistemas de fabricação relacionados com a fabricação auxiliada por computador - Apostila - Universidade de São Paulo/ EESC.
- / 9/ Houtzeel, A. - Computer assisted process planning minimizes design and manufacturing costs. - Manufacturing Engineering - 1981.
- /10/ El Midany, T. T. & Davies, B. J. - AUTOCAP: A dialogue system for planning the sequence of operations for turning components. - Journal of Machine Tool Design Research - 1981.
- /11/ Eskocloglu, H. & Davies, B. J. - An interactive process

- planning system for prismatic parts (ICAPP). - Journal of Machine Tool Design Research - 1981.
- /12/ UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA & FUNDAÇÃO CERTI - Projeto CIM. - Publicação interna - Florianópolis - 1988
- /13/ IBM BRASIL - O conceito CIM e as soluções IBM. - IBM - 1987.
- /14/ Ew, A. N. & Queiroz A. A. - Planejamento de processos auxiliado por computador. - Revista Máquinas e Metais - nº 265 - São Paulo - 1987.
- /15/ Burbidge, J. L. - Planejamento e controle da produção. - Ed. Atlas - São Paulo - 1983.
- /16/ SKF FERRAMENTAS - Catálogo técnico SKF. - São Paulo - 1987.
- /17/ SANDVIK-COROMANT - Ferramentas para tornear (catálogo técnico). - 1980.
- /18/ Rocha, A. S. - Determinação de um modelo de força de usinagem para furação a partir de um modelo de força de usinagem de torneamento. - Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Mecânica - Florianópolis - 1985.
- /19/ Stemmer, C. E. - Ferramentas de corte. - Editora da Universidade Federal de Santa Catarina - 1987.
- /20/ Queiroz, A. A. - Usinabilidade do ferro fundido cinzento e avaliação da temperatura e força de corte como sensores de desgaste. - Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Mecânica - Florianópolis - 1976.
- /21/ Boehs, L. - Influência do sulfeto de manganês na usinabilidade do ferro fundido maleável preto ferrítico. Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Mecânica - Florianópolis - 1979.

- /22/ Casillas, A. L. - Ferramentas de corte. - Ed. Mestre Jou - São Paulo - 1973.
- /23/ Yeomans, R. W.; Choudry, A. & Ten Hagen, P. J. W. - Design rules for a CIM system. - Ed. North-Holland - Amsterdam - 1986.
- /24/ Boehs, L. & Ferreira, A. C. - Aspectos da concepção de um centro de informações de usinagem (CINFUS) no Brasil. - Anais do VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica. - S.J. dos Campos (SP) - 1985.
- /25/ Sundaram, R. & Cheng, T. J. - Microcomputer based process planning using geometric programming. - Journal of Production research. - 1986.
- /26/ Halevi, G. & Weill, R. - Development of flexible optimum process planning procedures. - Anais do CIRP. - 1980.
- /27/ Schaffer, G. - GT via automated process planning. - American Machinist - maio de 1980.
- /28/ Houtzeel, A. - The many faces of group technology. - American Machinist. - janeiro de 1979.
- /29/ Alard, E. J. - The use of flexible group technology in process planning. - XIX annual meeting and technical conference NC society. - 1982.
- /30/ Wurtemberguer, G. - Tabellenbuch Metall. - Europa Lehrmittel (R.F.A.) - 1985
- /31/ Consalter, L. A. - Arquivos de dados tecnológicos de usinagem para a determinação automática de condições de corte em tornos de comando numérico. - Dissertação de mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina - Departamento de Engenharia Mecânica - Florianópolis - 1985.
- /32/ Christoffel, K. - Werkzeuguberwachung beim bohren und frasen. Tese de doutorado - T. H. Aachen (R.F.A.) - 1984.

- /33/ Kronenberg, M. - Grundzuge der Zerspanunglehre. - Springe Verlag (R.F.A.) - 1954.
- /34/ Witte, L. - Spezifische Zerspankrafte beim drehen und bohren. Tese de doutorado - T. H. Aachen (R.F.A.) - 1980.
- /35/ Konig, W.; Wirtsch & Eversheim, W. - INFOS, Infomationszentrum fur Schnittewerte - Zerspanungshandbuch fur das Bearbeitungsverfahren - Bohren - W. Z. L. Aachen (R.F.A.) - (19--).
- /36/ Boehs, L.; Borges, R. & Melo, A. A. - Metodologia de ensaio sistemático de usinagem para operações de furação. - Publicação interna - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis - 1986.
- /37/ Davies, W. S. - Análise e projeto de sistemas. Uma abordagem estruturada. - Ed. Livros Técnicos e Científicos S.A. - Rio de Janeiro - 1987.
- /38/ Claybrook, B. G. - Técnicas de gerenciamento de arquivos. - Ed. Campus Ltda. - Rio de Janeiro - 1985.
- /39/ Logan, F. A. - The five stages to automated process planning. Numerical Control Society's XXI Annual Meeting and Technical Conference Proceedings - Advancing Manufacturing Technics - Long Beach (California) - 1984.
- /40/ Ham, I & Lu, S. C.-Y. - Computer aided process planning; the present and the future. - Anais de CIRP Vol. 37/2/1988 - 1988.

APENDICE 1

APENDICE 1

VIDA DA FERRAMENTA

1 - FIM DE VIDA :

Chama-se fim de vida de uma ferramenta o instante em que, devido a evolução do desgaste em suas partes vitais de corte, não usina mais com o desempenho desejado [20]. Na furação, geralmente o fim de vida pode estar associado aos seguintes casos [21]:

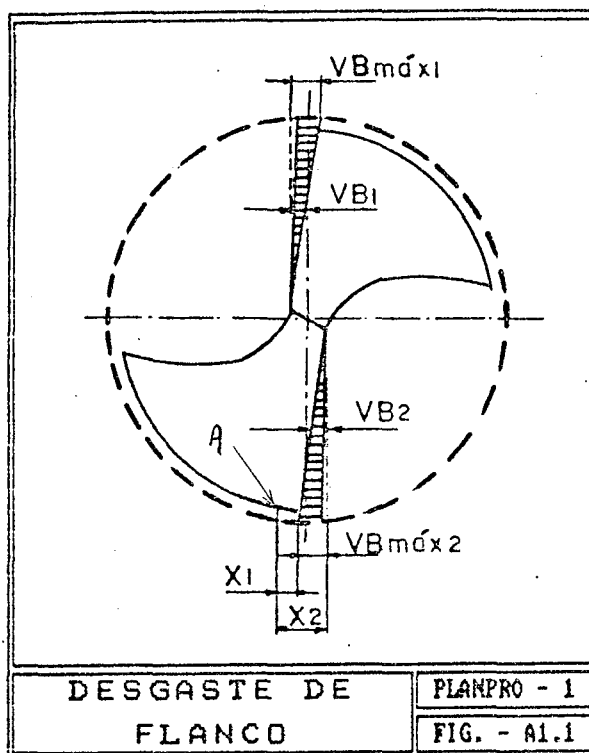
- Desgaste do flanco (superfície de incidência);
- Desgaste de cratera (superfície de saída);
- Desgaste das guias;
- Arredondamento das quinas;
- Desgaste dos gumes transversais;
- Lascamento dos gumes.

Os desgastes mais frequentes nas brocas são na superfície de incidência e nas guias, sendo estes usados normalmente como critério de fim de vida para a ferramenta.

2 - DESGASTE DE FLANCO E GUIAS:

Conforme "Metodologia de Ensaio Sistemático de Usinagem para Operações de Furação" [36], o desgaste do flanco

caracteriza-se pela largura média (VB) e pela largura máxima (VB máx) das marcas de desgaste localizadas nos flancos da broca (superfícies de incidência), conforme mostra figura A1.1 [36]



X2 - Distância da marca de referência A à posição original do gume. Deve ser medida com a broca ainda sem uso.

X1 - Distância da marca de referência A à marca de desgaste VBmáx.

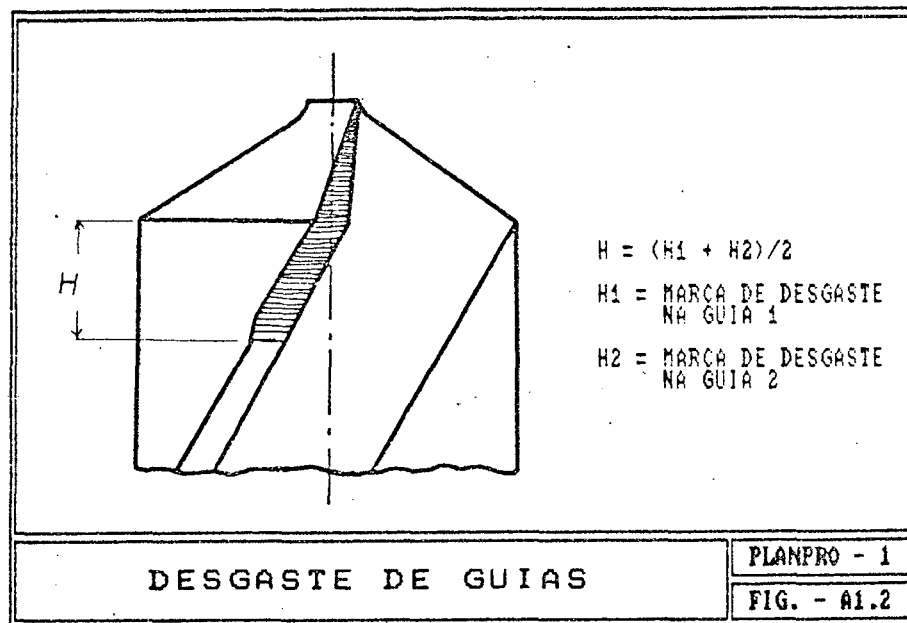
$(X2 - X1)$ - Largura da marca de desgaste VBmáx. O procedimento para medição de VB é semelhante.

$$VB = (VB1 + VB2) / 2 \quad \text{e} \quad VBmáx = (VBmáx 1 + VBmáx 2) / 2$$

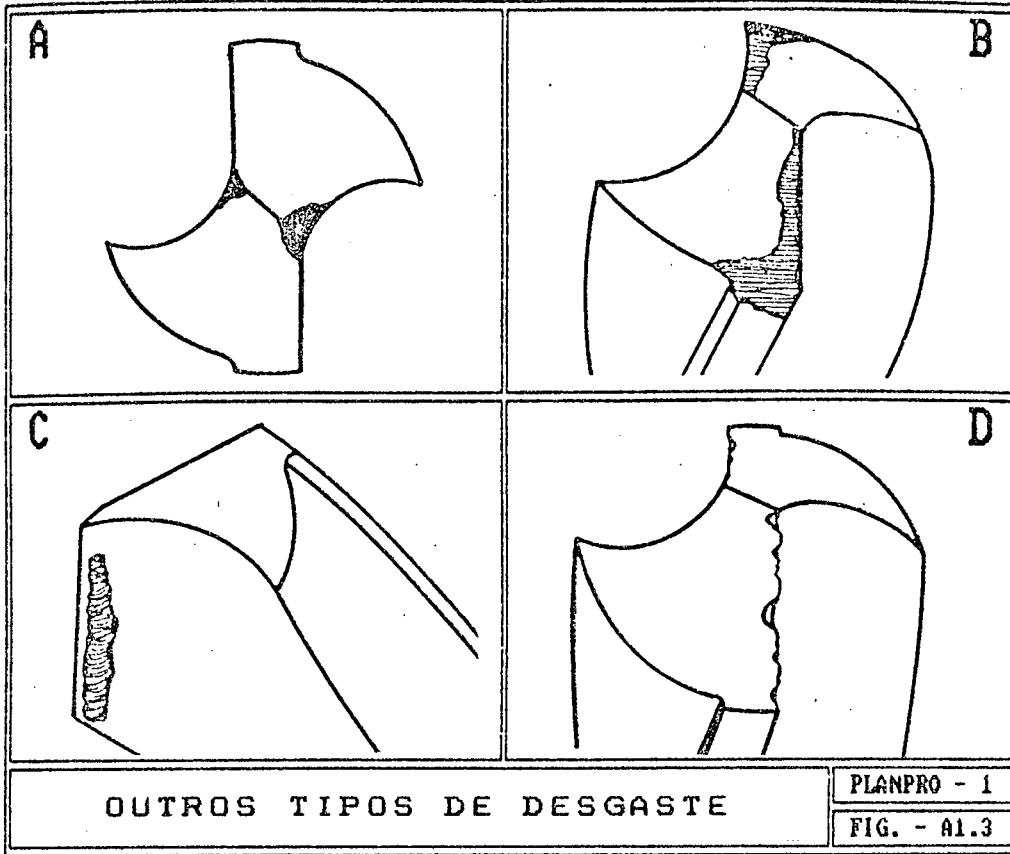
O desgaste VBmáx é o mais recomendado como critério de fim de vida, sendo considerado [35]:

$$V_{b \text{ máx}} = 0,109 \cdot d^{0,5} + 0,15 \text{ (mm)}$$

O desgaste nas guias, conforme mostrado na figura A1.2, é caracterizado pelo comprimento H do desgaste sobre as guias da broca. Este desgaste deverá ser medido nas duas guias da broca, sendo considerado como desgaste H o valor médio das duas medidas.



Os demais tipos de desgastes, como por exemplo desgaste de gume transversal (A), desgaste dos gumes (B), desgaste de cratera (C) e lascamentos no gume (D), são mostrados na figura abaixo.



APENDICE 2

APÊNDICE 2

CONTEUDO DOS ARQUIVOS DE DADOS

Para formar o banco de dados do programa são utilizados três grupos de arquivos: arquivos de máquinas-ferramentas, arquivos de materiais e arquivos de ferramentas. O grupo de arquivos de ferramentas é composto por um armazenador para cada tipo de ferramenta, como por exemplo brocas, alargadores, barras de mandrilar escareadores e tantos outros quanto forem necessários. Os registros que formarão os arquivos deste banco de dados serão analisados abaixo.

a) Arquivo de máquinas-ferramentas: Previsto para conter as seguintes informações:

- Código da máquina-ferramenta;
- Curso máximo da árvore em mm;
- Tipo de cone da árvore;
- Dimensões da mesa em mm;
- Gama de velocidades da árvore em rpm;
- Avanços automáticos em mm/rot;
- Potência do motor em kW.

b) Arquivo de materiais:

Previsto para conter as seguintes informações:

- Grupo;
- Nome e norma do material;
- Coeficientes da expressão de Kienzle
(Kc 1.1, Kf 1.1, l-Mc e l-Mc);

- Coeficientes da expressão expandida de Taylor (C, E, F, G, H);
- Fator de redução de avanço M.

Uma importante observação se faz necessária. Os coeficientes das expressões de Kienzle e Taylor são resultados experimentais em função do par material da peça e material da ferramenta. Atualmente o material mais difundido na fabricação de brocas é o aço rápido (HSS) e, conseqüentemente é o material mais testado e de que se tem maior conhecimento. Em função disso, os coeficientes apresentados serão em relação ao HSS. Com a evolução dos testes em outros materiais, deverá haver a implementação deste arquivo.

c) Arquivo de brocas:

Previsto para conter as seguintes informações:

- Diâmetro;
- Ângulo de ponta e de hélice;
- Tipo de haste;
- Comprimento útil e total da broca.

d) Arquivo de alargadores:

Previsto para conter as seguintes informações:

- Diâmetro;
- Tipo de haste;
- Ranhuras retas ou helicoidais;
- Comprimento útil e total.
- Tipo de entrada.

e) Arquivo de brocas calibradoras:

Previsto para conter as seguintes informações:

- Diâmetro;

- Tipo de haste;
- Diâmetro anterior mínimo;
- Comprimento total e útil.

f) Arquivo de barras de mandrilar:

Previsto para conter as seguintes informações:

- Diâmetro;
- Comprimento;
- Tipo de patilha de corte.

g) Arquivo de escareadores:

Previsto para conter as seguintes informações:

- Ângulo de escareado;
- Diâmetro maior;
- Diâmetro menor;
- Tipo de haste;
- Comprimento.

APENDICE 3

APÊNDICE 3

DIAGRAMA DE FLUXO DE DADOS

O diagrama de fluxo de dados (DFD) é um modelo gráfico que mostra a sequência lógica das tarefas, sem ter qualquer compromisso com a parte física do programa, ou seja: aspectos como hardware, software, estrutura de dados não entram em questão num DFD. As atenções se voltam para o que acontece com os dados no programa, e não para como estes dados são processados.

Por ser um diagrama lógico, montado apenas pela combinação de quatro símbolos (origem / destino de dados, processamento de dados, armazenamento e fluxo de dados), o seu entendimento é bastante simples e de comunicação eficiente.

