

***Detalhamento gráfico automático de  
peças paramétricas em um ambiente  
CAPP.***



**Adilson Carlos Nagao**

**Dissertação apresentada à Escola de  
Engenharia de São Carlos, da  
Universidade de São Paulo, como parte  
dos requisitos para obtenção do Título de  
Mestre em Engenharia Mecânica.**

**DEDALUS - Acervo - EESC**



**31100035922**

**Orientador: Prof. Dr. - Ing. Henrique Rozenfeld**

**SÃO CARLOS**

**Estado de São Paulo - Brasil**

**Fevereiro de 1998**

Class.	TESE-EESC
Curr.	3848
Tombo	10117/98

31100035922

st 0979474

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento  
da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

N147d

Nagao, Adilson Carlos  
Detalhamento gráfico automático de peças  
paramétricas em um ambiente CAPP / Adilson Carlos  
Nagao. -- São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia  
de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.  
Área: Engenharia Mecânica.  
Orientador: Prof. Dr. Henrique Rozenfeld.

1. Planejamento de processo.
2. Planejamento de processo assistido por computador.
3. CAPP.
4. Peças paramétricas. I. Título.

**FOLHA DE APROVAÇÃO**

Candidato: Engenheiro **ADILSON CARLOS NAGAO**

Dissertação defendida e aprovada em 17-03-1998  
pela Comissão Julgadora:



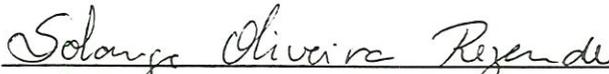
---

Prof. Titular **HENRIQUE ROZENFELD (Orientador)**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



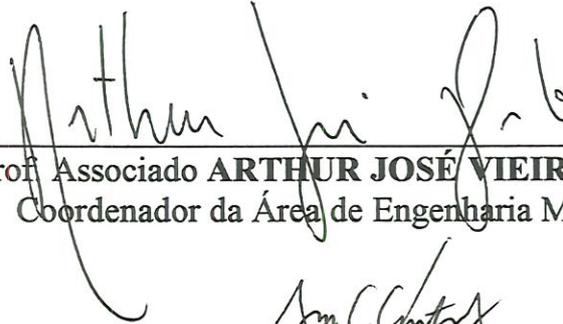
---

Prof. Doutor **JONAS DE CARVALHO**  
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Profa. Doutora **SOLANGE DE OLIVEIRA REZENDE**  
(Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos - Universidade de São Paulo)



---

Prof. Associado **ARTHUR JOSÉ VIEIRA PORTO**  
Coordenador da Área de Engenharia Mecânica



---

**JOSÉ CARLOS A. CINTRA**  
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Aos meus pais e a Iracema Lie Nomoto

## **Agradecimentos**

Ao meu pai, mãe e irmã, que investiram e possibilitaram uma vida com educação para o meu desenvolvimento pessoal.

A Iracema Lie Nomoto, minha namorada, pelo companheirismo, amizade e pela compreensão de cada dia.

Ao Professor Henrique Rozenfeld, meu orientador, pelo incentivo e apoio para minha formação.

Aos amigos Alexandre Salgado Lino de Almeida, Carlos Eduardo Serrano Ribeiro, e Haroldo Thomaz Kerry Jr., pelo apoio e pela possibilidade da realização deste trabalho.

Aos demais colegas da KSR e do Projeto CIM que contribuíram para a realização deste trabalho.

## SUMÁRIO

<i>LISTA DE FIGURAS</i>	vi
<i>RESUMO</i>	viii
<i>ABSTRACT</i>	ix
<i>ABREVIATURAS e GLOSSÁRIO</i>	x
<b>1. Introdução</b>	<b>1</b>
1.1. Localização do Trabalho	2
1.2. Objetivos	3
1.3. Conteúdo	3
<b>2. Planejamento de Processo por Computador</b>	<b>4</b>
2.1. Plano de Processo	4
2.2. Planejamento Convencional	9
2.2.1. Planejamento Macro	10
2.2.2. Detalhamento de Operações	11
2.2.3. Importância da Apresentação Gráfica	14
2.3. Atividades de Planejamento	14
2.3.1. Definição dos Dados Organizacionais	15
2.3.2. Determinação das Operações e Sua Sequência	16
2.3.3. Determinação de Equipamentos	16
2.3.4. Determinação de Sub-Operações	17
2.3.5. Determinação de Ilustrações Auxiliares (Croquis)	17
2.3.6. Determinação de Ferramental	18
2.3.7. Cálculo dos Tempos de Fabricação	19
2.3.8. Outras Funções	19
2.4. Características do Planejamento Convencional	19
2.5. Formas de Representação da Peça	22
2.5.1. Linguagens Descritivas	23
2.5.2. Linguagens Geométricas	23
2.6. Métodos de Planejamento por Computador	35

2.6.1. Planejamento Generativo Interativo	36
2.6.2. Planejamento Variante	38
2.6.3. Planejamento Generativo Automático	40
2.6.4. Planejamento Híbrido	42
<b>2.7. Alternativas de Planejamento Automático</b>	<b>43</b>
2.7.1. Atividade de Planejamento Realizada	43
2.7.2. Representação da Peça Utilizada	44
<b>2.8. Soluções Existentes</b>	<b>45</b>
2.8.1. CAPPE	47
2.8.2. MetCAPP	51
2.8.3. PART	53
2.8.4. Process Innovator	56
2.8.5. SuperCAPPE	57
2.8.6. CAPPE para peças paramétricas	59
<b>2.9. Síntese da Situação Atual</b>	<b>59</b>
<b>3. Requisitos para o desenvolvimento de um módulo para geração automática de croquis em um sistema CAPP para peças paramétricas.</b>	<b>60</b>
<b>4. Concepção do sistema</b>	<b>62</b>
4.1. Método Adotado	62
4.2. Visão Geral do Sistema	63
4.3. Importação dos Parâmetros	64
4.4. Programação	65
4.4.1. Gerenciador de Variáveis	65
4.4.2. Gerador de Croquis por Operação	65
4.4.3. Gerador de Desenho de Ferramenta	66
4.5. Implementação do Sistema	67
4.5.1. Seleção de Ferramentas Computacionais	67
4.5.2. Implementação dos Programas	68
<b>5. Aplicação Prática</b>	<b>71</b>
5.1. Descrição do Caso	71
5.2. Solução Proposta: Automação da Geração da Documentação	73

<b>5.3. Exemplo de Aplicação</b>	<b>74</b>
5.3.1. Detalhamento de Ferramental	74
5.3.2. Detalhando o Plano de Processo	76
<b>5.4. Resultados obtidos</b>	<b>79</b>
<b>6. Conclusões e trabalhos futuros</b>	<b>80</b>
<b><i>Referências Bibliográficas</i></b>	<b>83</b>
<b><i>Bibliografia Adicional</i></b>	<b>87</b>
<b><i>Anexo 1: Exemplo de um programa Lisp</i></b>	<b>91</b>
<b><i>Anexo 2: Exemplo de um detalhamento de um plano de processo.</i></b>	<b>95</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: O plano de processo.

Figura 2: Tipos de plano de processo.

Figura 3: Tempo de usinagem em função do tempo de planejamento.

Figura 4: Estrutura das informações no plano macro.

Figura 5: Possíveis detalhamentos de uma operação.

Figura 6: Atividades do planejamento de processo.

Figura 7: Definição dos métodos de planejamento de processo convencional.

Figura 8: Exemplo de uma análise das tarefas de planejamento.

Figura 9: Dois grupos de formas de representação de peças.

Figura 10: Uma peça modelada com CSG.

Figura 11: Um modelo B-REP simples.

Figura 12: Modelagem paramétrica de um eixo simples.

Figura 13: Uma peça decomposta em features de projeto e features de usinagem.

Figura 14: Localização do planejamento do processo generativo interativo.

Figura 15: Vantagens e desvantagens do CAPP interativo.

Figura 16: Vantagens e desvantagens do CAPP variante.

Figura 17: Vantagens e desvantagens do CAPP generativo automático.

Figura 18: Solução CAPP híbrida.

Figura 19: Tipos de conhecimento no planejamento do processo.

Figura 20: Relação entre complexidade do CAPP e a complexidade da descrição da peça

Figura 21: Concepção básica do CAPPE.

Figura 22: Representação esquemática da concepção do PART.

Figura 23: Dicionário de variáveis do CAPPE.

Figura 24: Visão geral do sistema.

Figura 25: Preenchendo os parâmetros de um feature.

Figura 26: Desenho CAD executado automaticamente a partir do GRP.

Figura 27: Exemplo de uma bronzina típica.

Figura 28: Parâmetros de uma ferramenta.

Figura 29: Desenho de uma ferramenta executado automaticamente no CAD.

Figura 30: Detalhamentos ligados a uma operação.

Figura 31: Detalhamento tipo plano de qualidade de uma operação.

Figura 32: Detalhamento gráfico de uma operação.

## RESUMO

Nagao, A. C.. Detalhamento gráfico automático de peças paramétricas em um ambiente CAPP. São Carlos, 1998. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

O CAPP (*Computer Aided Process Planning*) tem atuado de forma significativa sobre o planejamento de processo e na manufatura integrada. Tal atuação gera necessidades cada vez maiores de uma otimização dos métodos de trabalho. Com a utilização, há muitos anos, de ferramentas CAD nos departamentos de projetos, a integração entre os departamentos de projeto e processos torna-se inevitável. Hoje, devido aos novos e complexos processos de fabricação, a existência de “croquis” como parte de um documento de processo de fabricação torna-se útil ao chão de fábrica.

Neste trabalho será apresentado o desenvolvimento e aplicação prática de um sistema para a geração automática de “croquis” de peças paramétricas em um sistema CAPP.

Palavras-chave: planejamento de processo, planejamento do processo assistido por computador, CAPP, peças paramétricas.

## ABSTRACT

Nagao, A. C... Automatic graphical detailing for parametric parts in a CAPP environment. São Carlos, 1998. Dissertation (Master Degree) - São Carlos Engineering School, University of São Paulo.

The CAPP (Computer Aided Process Planning) has been acting in a significant way about the process planning and in the integrated manufacture. Such performance generates needs every larger of an improvement of the methods of works time. With the use there is many years of CAD system's in the departments of projects, the integration between the project departments and processes becomes inevitable. Today, owed to the new and complex existent production processes, the existence of "outlines" as part of a document of production process becomes useful to the shop floor.

In this work it will be presented the development and practical application of a system for the automatic generation of "outlines" of parametric pieces in a system CAPP.

Key words: Process planning, computer aided process planning, CAPP, parametric parts.

## ABREVIATURAS e GLOSSÁRIO

CAD - *Computer Aided Design* - designa a tecnologia de projeto assistido por computador.

CAE - *Computer Aided Engineering* - designa a tecnologia de engenharia assistida por computador.

CAM - *Computer Aided Manufacturing* - designa a tecnologia de manufatura assistida por computador.

CAPP - *Computer Aided Process Planning* - designa a tecnologia de planejamento do processo assistido por computador.

Chão-de-fábrica - termo que designa o ambiente de produção propriamente dito, com máquinas e operadores.

CIM - *Computer Integrated Manufacturing* - designa a tecnologia de Integração da manufatura por computador.

CN - Programa comando numérico.

CNC - Comando numérico computadorizado, conjunto eletrônico que controla os movimentos de uma máquina.

GRP - Gerenciador de Recursos de Planejamento.

IA - Inteligência Artificial.

JIT - *Just in Time*- filosofia japonesa de estoques reduzidos.

MRP - *Material Resources Planning*- sistema de apoio ao planejamento de materiais.

MRPII - *Manufacturing Resources Planning*- sistema de apoio ao planejamento de materiais e recursos de manufatura em geral.

ERP - *Enterprise Resources Planning*- sistema de apoio a todos os recursos planejáveis de uma empresa.

PCP - Planejamento e Controle da Produção.

PDM - *Product Data Management* - gerenciamento de dados de produtos

Plano de Processo - Documento gerado pelo planejamento do processo com informações de fabricação.

Processista - Responsável pela atividade de gerar planos de processos de fabricação.

SCC - Sistema de Classificação e Codificação.

TG - Tecnologia de Grupo.

TQC- *Total Quality Control*- Filosofia de qualidade, Controle de Qualidade Total.

## 1. Introdução

Com um número crescente de indústrias que começaram a surgir nas décadas de 70 e 80 os consumidores passaram a sofrer uma avalanche de opções de consumo. Por sua vez, a concorrência cada vez mais acirrada fez com que os consumidores passassem a ditar a regra do jogo, exigindo novos produtos, com melhoria na qualidade e emprego de novas tecnologias.

Para atender a tal pressão, as indústrias passaram a correr em busca de novas ferramentas para empregar nos seus processos produtivos, e a se adaptar às novas necessidades do mercado, produzindo em lotes cada vez menores. Com a mudança da linha de produção, os sistemas de manufatura exigem um alto grau de flexibilidade. Atrás desta necessidade, os departamentos de projeto, planejamento, processos, almoxarifado, etc. também precisam acompanhar as necessidades do chão de fábrica. Como resultado, surgiram técnicas, tais quais:

CAE (Engenharia Auxiliada por Computador - *Computer Aided Engineering*), CAD (Projeto Auxiliado por Computador - *Computer Aided Design*), CAM (Manufatura Auxiliada por Computador - *Computer Aided Manufacturing*), CAPP (Planejamento do Processo Auxiliado por Computador - *Computer Aided Process Planning*), FMS (Sistema Flexível de Manufatura - *Flexible Manufacturing System*), CIM (Integração da Manufatura por Computador - *Computer Integrated Manufacturing*), MRP (Planejamento de Materiais- *Materials Resource Planning*), MRPII (Planejamento da Manufatura- *Manufacturing Resources Planning*), JIT (*Just in Time*), TQC (Controle de Qualidade Total- *Total Quality Control*) e tantas outras.

Diante de tantas siglas e técnicas utilizadas, este trabalho tem como objetivo tratar dos processos empregados na engenharia, especialmente em um departamento de planejamento do processo, buscando uma melhor forma para a geração e apresentação de um plano de processo.

### *1.1. Localização do Trabalho*

A aplicação de computadores na engenharia, bem como nos outros departamentos de uma empresa, busca a diminuição dos tempos e a redução dos prazos na obtenção dos resultados e das informações técnicas, tais como: desenhos, lista de materiais, planos de processo, croquis, projeto de dispositivos, etc.

O planejamento do processo tem como objetivo gerar as informações técnicas necessárias, que deverão ser utilizadas dentro da empresa para produzir o seu produto ou serviço, bem como os dados necessários aos outros departamentos da empresa.

No departamento de Planejamento e Controle da Produção (PCP) são necessárias as informações de sequência de operações e os seus respectivos tempos associados. Estes dados são importantes para programar a utilização dos equipamentos e demais recursos da empresa e verificar se o pedido do cliente poderá ser atendido.

Já na produção, as informações contidas no plano de processo vão auxiliar tanto ao operador quanto ao operador da máquina, pois tais informações foram previamente estudadas e descrevem o melhor método de se produzir a peça. Com isso, assegura-se uma melhor qualidade da produção, evitando perdas de tempo atrás do ferramental necessário e não se corre o risco de se tomar uma decisão errada por parte do operador.

Dentro desta linha começou a ser aplicada as soluções de CAE/CAD/CAM na área de engenharia, bem com as soluções de CAPP. No entanto, a aplicação de computadores no planejamento do processo não acompanhou o desenvolvimento das outras áreas técnicas, por necessitar de soluções mais específicas que as anteriores. Isto causou um descompasso nos setores de engenharia, tornando o planejamento do processo um gargalo, pois a evolução do emprego de técnicas computacionais deve ser harmônica (KERRY,1997).

Este descompasso fez surgir, em alguns casos, ilhas de automação, em que os setores não conseguiam trocar informações de forma eficiente devido aos sistemas incompatíveis. Mesmo com a utilização de sistemas informatizados no departamento de planejamento do processo, a utilização de recursos gráficos teve aplicação limitada. A grande diversidade de sistemas existentes e a falta de um ambiente

integrado adiou, em muito, a utilização de sistemas CAPP associado a um sistema CAD. Hoje, em busca de um ambiente de Manufatura Integrada por Computador (CIM), os sistemas procuram formas de trabalhar e oferecer ferramentas de maneira integrada.

Sob este enfoque, este trabalho procurará mostrar o desenvolvimento de uma solução para geração de detalhamentos gráficos em um sistema CAD, de forma automática e integrada, dentro de um ambiente CAPP.

### ***1.2. Objetivos***

Este trabalho tem como objetivo:

- Desenvolver uma revisão bibliográfica sobre planejamento de processo e CAPP.
- Complementar o sistema CAPP para peças paramétricas implementado por Kerry (KERRY, 1997), desenvolvendo e integrando a este sistema um módulo de geração de croquis de forma automática para peças paramétricas.
- Mostrar uma aplicação prática da proposta.

### ***1.3. Conteúdo***

O capítulo 2 apresentará uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos de planejamento de processo e planejamento de processo por computador, fornecendo as bases para as necessidades de se desenvolver este trabalho. No capítulo 3 será apresentado, como complementação ao trabalho apresentado por Kerry (KERRY, 1997), o desenvolvimento de um módulo para geração de croquis automáticos para peças paramétricas dentro de um ambiente CAPP. O capítulo 4 descreve com mais detalhe o desenvolvimento deste trabalho, inclusive com a seleção dos recursos necessários para tal. E, finalmente, nos capítulos 5 e 6 mostra-se a implementação de um sistema que atende os requisitos e sua aplicação prática em uma empresa metalúrgica.

## **2. Planejamento de Processo por Computador**

Neste capítulo será realizada, primeiramente, uma breve revisão bibliográfica sobre os conceitos de planejamento de processo convencional, para, então, partir-se para as representações geométricas das peças, base sobre a qual o CAPP pode construir um plano de processo. Segue-se, daí, para uma análise mais detalhada dos métodos de planejamento por computador e as soluções existentes de CAPP.

### ***2.1. Plano de Processo***

O plano de processo é o documento que reúne todas as informações necessárias para transformar o desenho do produto (resultado da concepção) em um produto acabado em uma determinada fábrica. Cada empresa tem necessidades diferentes de documentação de processo, conforme a realidade de seu chão de fábrica, tanto em termos de equipamentos como em termos de seu pessoal.

Apesar da diversidade de exemplos de planos de processo, pode-se identificar pelo menos um conjunto de informações comuns a todos eles: o plano macro, ou seja, a seqüência de operações executadas na fábrica, que especifica o roteiro pela qual a peça em processo de fabricação deverá passar. A partir deste documento central, diversos outros podem ser anexados conforme as necessidades da empresa, como por exemplo um plano de qualidade, um plano de preparação da máquina, uma lista de ferramental a ser montado, instruções para execução da operação, etc. Normalmente tais documentos são anexados às operações definidas no plano macro e são chamados de detalhamentos. Veja a figura 1.

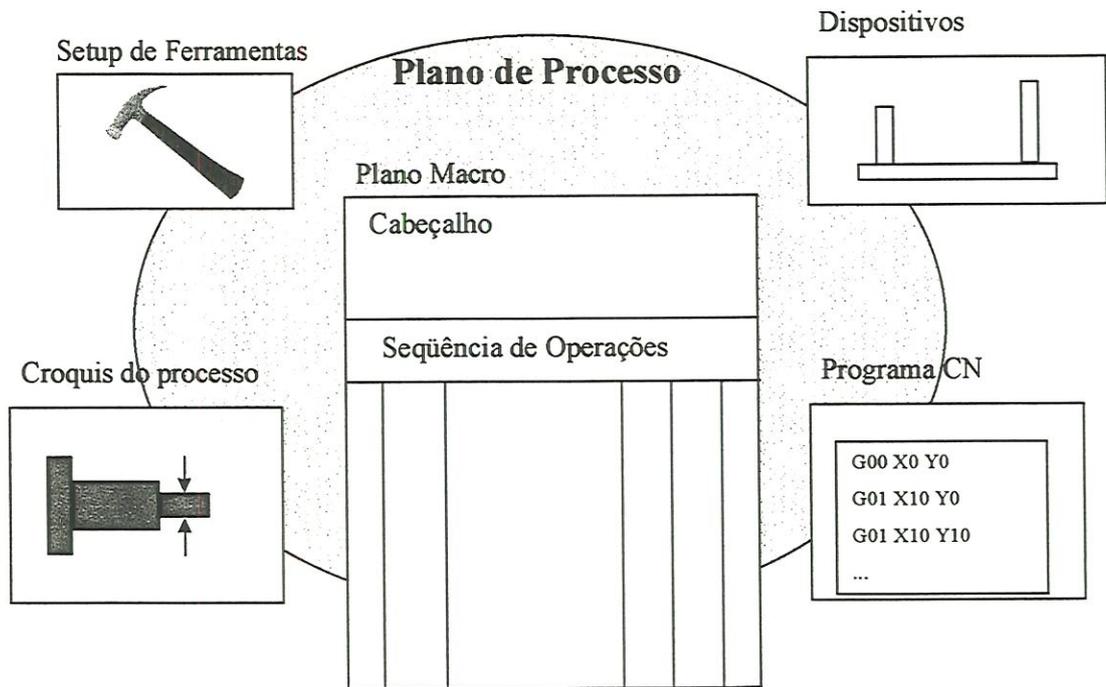


Figura 1: O Plano de Processo.

Normalmente um plano de processo possui 2 níveis de detalhamento (ROZENFELD, 1994):

- Plano de Processo Resumido ou Macro (*Process Plan*) - documento que apresenta um resumo das operações, equipamentos necessários e tempos de fabricação. Esta etapa do planejamento do processo tem como função básica obter as informações necessárias ao PCP.
- Detalhamentos (*Operation Plan*) - a etapa de detalhamento visa enriquecer os operadores e preparadores de máquinas com todas as informações necessárias à fabricação de um produto. Deste modo, consegue-se atingir um nível de qualidade e produtividade dentro das necessidades planejadas pela engenharia. Dentre os tipos de detalhamentos encontram-se os croquis de fabricação, controle e preparação de máquinas e ferramentas, instruções de qualidade, preparações, sub-operações e qualificação de operadores, listas de ferramentas, fotos, vídeos, dentre outros.

Os fatores que influenciam a definição da complexidade do plano de processo são:

- Tipo de utilização;
- Tipo de Informação e
- Tipo de estrutura do plano (ROZENFELD, 1992).

Esses fatores são interdependentes e de difícil determinação. Um plano de processo pode ser utilizado em qualquer combinação de ambientes fabris (usinagem, forjaria, fundição, montagem, inspeção, caldeiraria, soldagem, entre outros), e normalmente dentro de uma mesma empresa coexistem estes diversos ambientes. Conforme as necessidades de informação de cada aplicação determina-se as informações necessárias e sua estruturação, levando em conta uma padronização para manter-se uniforme a estrutura do plano entre as várias áreas.

Na figura 2 são mostrados, esquematicamente, alguns tipos de plano de processo. O grau de complexidade do plano normalmente acompanha o tamanho da empresa e seu nível de sistematização. Em empresas de pequeno porte encontra-se planos de processo mais simples, contendo, por exemplo, somente informações sobre as máquinas pelas quais o produto deve passar. Se a empresa for um pouco mais sistematizada é comum que se encontre lista de ferramentas especificadas por operação. Em empresas de grande porte o detalhamento e sistematização aumentam consideravelmente. Normalmente encontram-se anexados, a cada operação, folhas de preparação de máquina, folhas de preparação de ferramental, folhas de registro de CEP (Controle Estatístico do Processo), instruções ao operador, instruções de preparação da peça, instruções quanto ao nível de conhecimento necessário à execução da operação (*operator's skills list*), e assim por diante. Em alguns casos em que há muita informação os detalhamentos podem ser novamente delineados, criando um terceiro nível de detalhamento. São conhecidos casos em que pode-se chegar a 18 tipos de documentos diferentes anexados a uma operação macro.

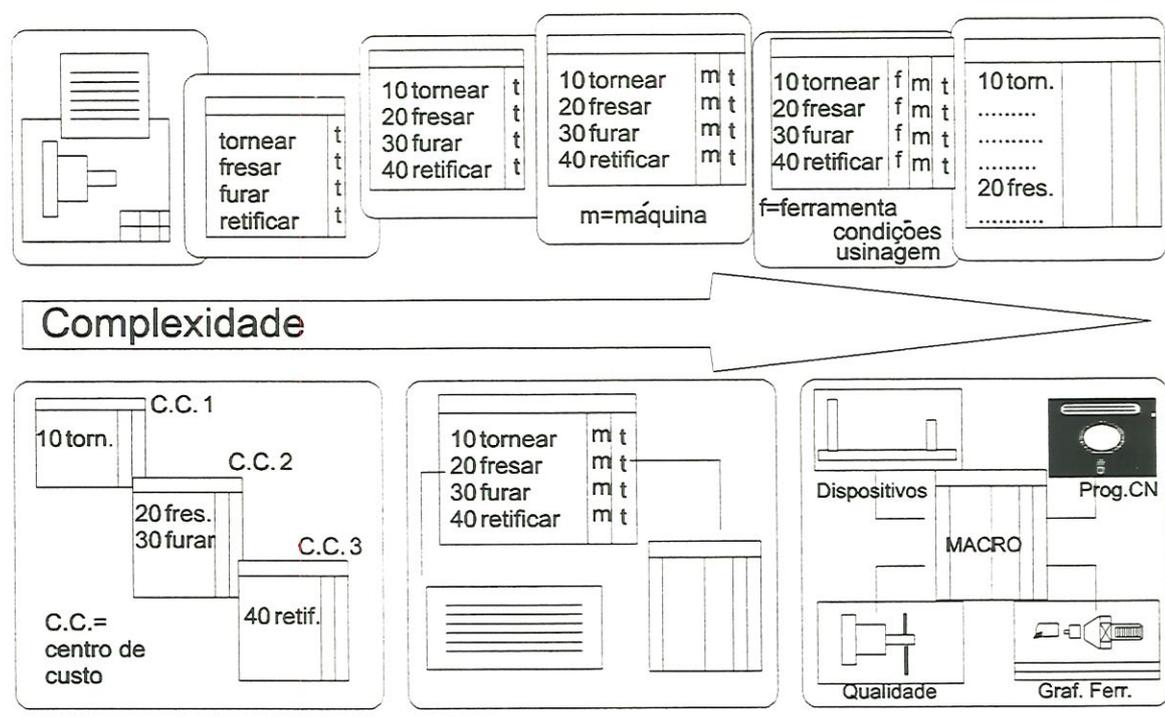


Figura 2: Tipos de Planos de Processo (ROZENFELD, 1992).

A determinação do nível de complexidade do plano de processo é bastante difícil. Há autores que quantificam o tempo ótimo a ser empregue em planejamento, por exemplo, para o caso de produção orientada a pedidos de pequeno lote (*job shop*). A figura 3 é conhecida representativa do compromisso entre tempo de planejamento e tempo de usinagem (que influi diretamente no custo), ou seja, o tempo de usinagem é inversamente proporcional ao tempo de planejamento (HALEVI & WEILL, 1995).

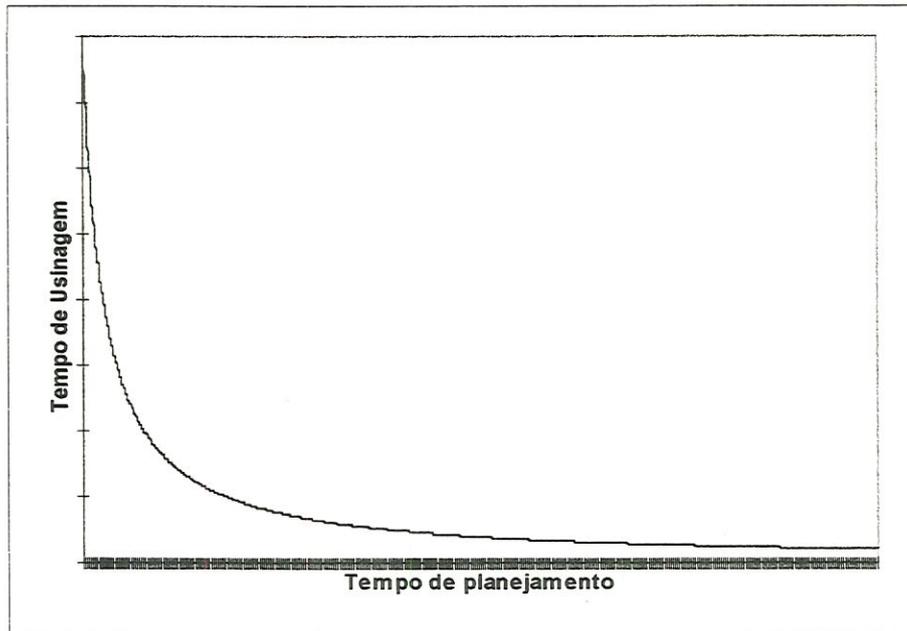


Figura 3: Tempo de usinagem em função do tempo de planejamento

De maneira geral, pode-se afirmar que existe um nível ótimo de detalhamento do plano de processo, que está diretamente ligado ao tempo de planejamento (ROZENFELD, 1992). Observa-se que, quanto mais se planeja, menos tempo se perde no chão de fábrica em busca de informações e tomada de decisões, influenciando-se diretamente sobre o custo de fabricação.

A definição do nível ótimo de detalhamento do plano de processo depende de diversos fatores, como por exemplo qualificação do operário e do processista, complexidade e custo da peça, tipo de produção e equipamento, tipo de ferramental (ROZENFELD, 1992), assim como complexidade do fluxo de informações, distância entre os complexos fabris, número de pessoas envolvidas na geração do documento e sua manipulação, entre outros.

Não existe metodologia que forneça o nível ideal de detalhamento para um caso genérico. O grau de detalhamento normalmente surge da contraposição das necessidades de informações de cada setor fabril da necessidade de diminuição de circulação de papel, juntamente com a experiência pessoal do setor de processos.

## *2.2. Planejamento Convencional*

“O planejamento de processo determina como um produto deve ser manufaturado e é, portanto, um elemento chave no processo de manufatura. Ele tem um papel fundamental na determinação do custo dos componentes a serem fabricados e afeta todas as atividades fabris, competitividade da empresa, planejamento da produção, eficiência da produção e qualidade do produto. É uma ligação crucial entre o projeto e a manufatura” (HALEVI & WEILL, 1995).

“ O nascimento de um produto é sempre precedido pela concepção de uma idéia. Esta idéia será sub-sequencialmente expressa em termos de requisitos funcionais. Em engenharia mecânica, a tradução dos requisitos funcionais para representações que descrevam os componentes do produto em termos de formas precisamente definidas e materiais é chamada ‘projeto’. A implementação física dos componentes é chamada de ‘manufatura’. Para permitir a implementação física, as representações de forma e material devem ser mapeadas de acordo com as possibilidades de processos de manufatura e recursos. Esta é a tarefa do ‘planejamento de processo’” (HOUTEN, 1991).

“É a sistemática para determinação de métodos, pelos quais um produto será fabricado o mais eficaz e economicamente possível” (ALTING & ZHANG, 1989).

O planejamento de processo pode ser quebrado em duas atividades principais: o planejamento macro e o detalhamento das operações-macro geradas. A seguir será mostrado, com detalhes, tais atividades.

Conforme o tipo e complexidade da empresa, o planejamento completo pode ser feito por apenas uma pessoa (processista) ou diversas pessoas (planejamento de processo distribuído).

### 2.2.1. Planejamento Macro

O plano de processo macro está normalmente ligado a um produto, que pode ter vários processos-macro, designados como ‘planos alternativos’, gerados conforme o lote ou o material bruto. Conforme observa-se na figura 4, o plano macro é estruturado em cabeçalho e seqüência de operações.

O cabeçalho contém informações gerais e organizacionais (data de confecção, data de aprovação, data de liberação, responsável pela confecção, responsável pela aprovação, responsável pela liberação, entre outras) e informações relativas ao produto (código do produto, classificação, material, entre outras).

Uma operação descreve o trabalho e atividades que são realizadas em uma estação de trabalho por uma ou mais pessoas, em um centro de custo. (Existem casos em que, nos planos macro, especificam-se atividades que são realizadas durante a fixação de uma peça ou ferramenta, entretanto tal fato leva a inconsistências no momento do planejamento da produção e é, normalmente, provocada por definição incorreta ou muito limitada do nível de detalhamento do plano de processo).

Uma operação normalmente contém informações sobre:

- Número de Seqüência da Operação.
- Descrição sucinta da operação.
- Máquina em que a operação é realizada.
- Tempos de preparação e execução.

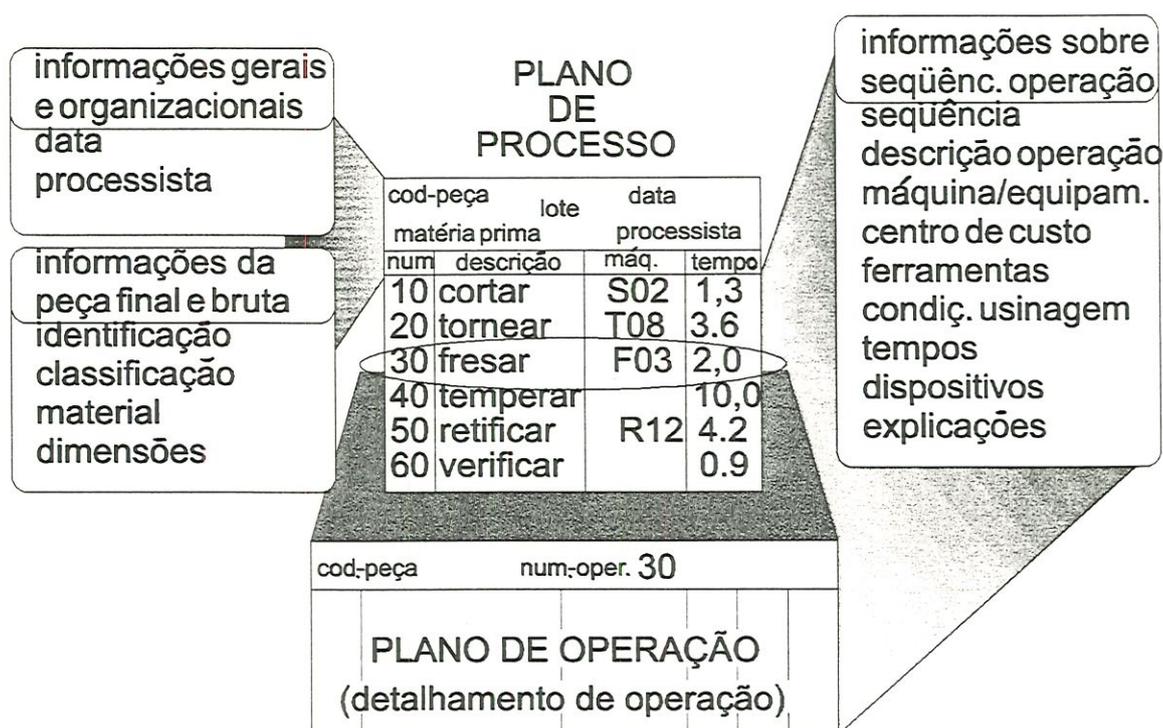


Figura 4: Estruturação das informações no plano macro (ROZENFELD, 1992).

### 2.2.2. Detalhamento de Operações

Uma operação pode ser detalhada com documentos, instruções, gráficos, etc., conforme é ilustrado na figura 5. Tais detalhes são fundamentais para a execução estável e repetitiva das operações em ambientes fabris de qualquer porte. Entretanto, muitas vezes não vale a pena detalhar o processo, em função do custo de geração das informações e do tempo maior que tal atividade emprega.

Conforme o tipo de empresa, seu lay-out fabril, seu perfil de pessoal, seus recursos (maquinário, ferramental) e produto usa-se diversos documentos para detalhar uma operação. Seguem abaixo alguns exemplos:

- Instruções de Preparação de Máquina: utilizadas onde é necessário informar ao operador instruções específicas sobre a preparação das máquinas, que ficariam mal explicadas somente com uma ilustração. Por

exemplo, informações sobre o torque a ser aplicado na fixação de um dispositivo.

- Ilustração de Preparação de Máquina: ilustra graficamente como a máquina deve ser preparada para confeccionar o lote de peças.
- Plano de Qualidade: informa quais os detalhes críticos de uma determinada operação, seus instrumentos de medição e faixas admissíveis.
- Folha de Preparação de Ferramental: no caso de ferramental complexo ou de montagem externa à máquina, a folha de montagem de ferramental ilustra e instrui como montar a ferramenta e fazer seu preset (no caso de máquinas CNC).
- Plano de Sub-Operação: informa ao operador os detalhes da operação sendo executada, em termos de dispositivos a serem usados, ferramental, velocidades, avanços, e assim por diante.
- Programa CN: a programação CN é na verdade um detalhamento de uma operação de um determinado processo, normalmente não encarada como tal devido ao modo de funcionamento dos programas CAM existentes.

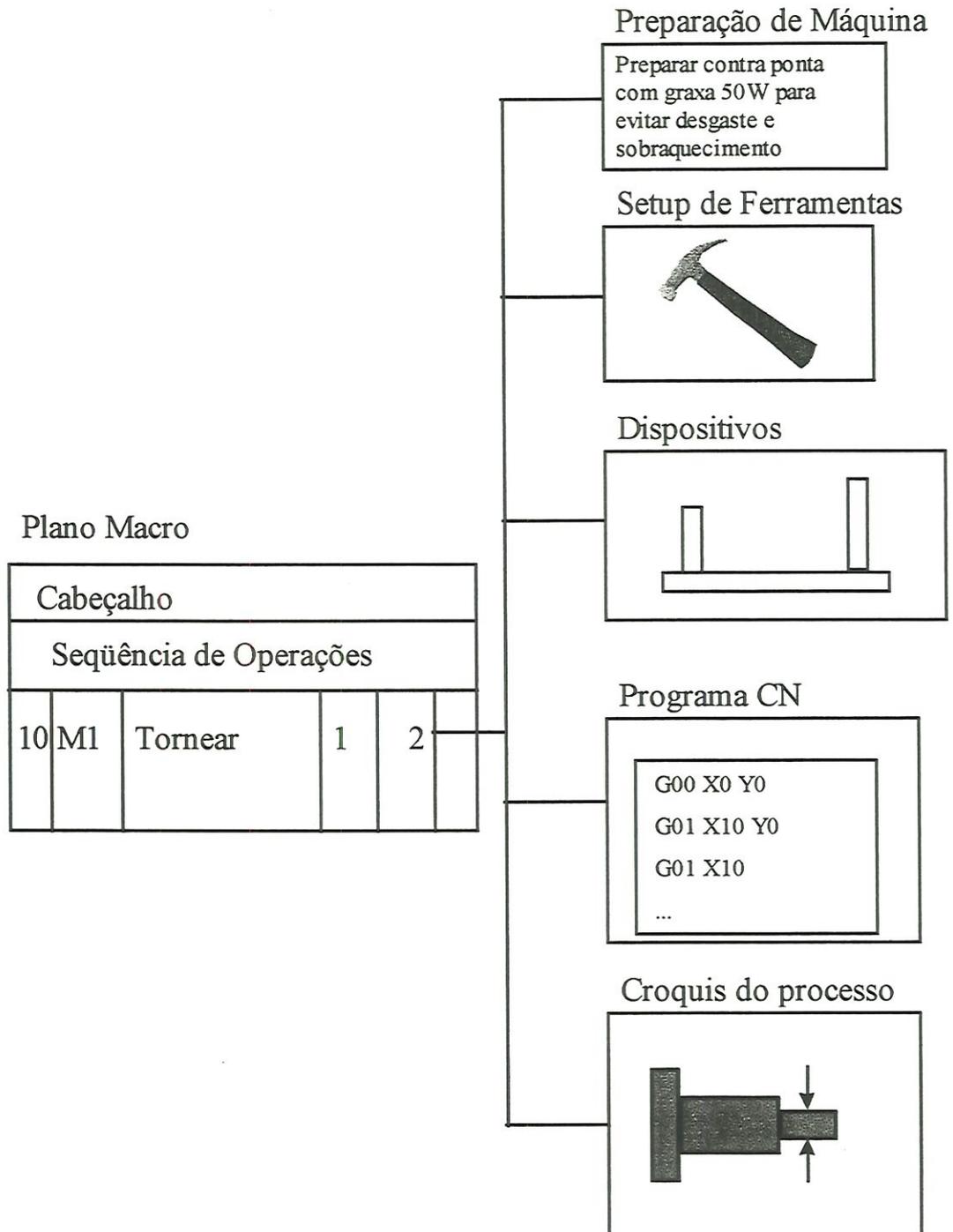


Figura 5: Possíveis detalhamentos de uma operação.

### 2.2.3. Importância da Apresentação Gráfica

Dentre os diversos departamentos que possam existir em uma empresa, a troca de informações que deve ser executada entre elas pode ser efetuada de diversas maneiras. A mais frequente é a no formato de textos, números e tabelas.

Nos departamentos de engenharia nem sempre as informações são suficientes quando passadas desta maneira. Na maioria dos casos, a linguagem de comunicação se faz através de desenhos. Os desenhos são utilizados mundialmente para passar informações técnicas e visuais, sendo que de outra forma, tais informações iriam ocupar um volume muito maior.

Dentro do contexto de um plano de processo a utilização de desenhos gráficos tem como função adicionar informações para o chão de fábrica, a fim de facilitar os operadores e preparadores de máquinas.

### 2.3. *Atividades de Planejamento*

O planejamento de processo envolve diversas atividades que ocorrem de maneira concorrente e interdependente. A forma em que estas atividades interagem pode ser dita como o raciocínio do processista. Ainda não existe modelamento preciso do funcionamento do raciocínio do processista, mas alguns autores concordam que a melhor representação para ele é feita através de *fuzzy logic*, ou seja, modelagem de raciocínio incerto. Outros, ainda, afirmam que toda a lógica de planejamento pode ser expressa através de algoritmos bem determinados (HOFSTADTER, 1985). O consenso geral é que a dificuldade de se modelar o planejamento de processo é muito grande.

A figura 6 apresenta um resumo das atividades de planejamento mais comuns, e logo abaixo explica-se mais detalhadamente tais atividades. Não é propósito aqui definir-se com grande precisão todas as funções.

Plano de Processos				DETALHAMENTO:			
①		②		operação=20		①	
No	DESCRIÇÃO	MÁQ.	TEMPO	No	DESCRIÇÃO	FERRCON	TEMP
10	_____	—	—	1	_____	—	—
②0	_____	—	—	2	_____	—	—
30	_____	—	—	3	_____	—	—
40	_____	—	—	4	⑥	—	—
④	③	⑤	⑩	5	_____	—	—
				6	_____	—	—
				7	_____	—	—
				8	_____	⑧	⑨
							⑩

ATIVIDADES= DETERMINAÇÃO / CÁLCULO DE:	
1. Dados Organizacionais	6. Sub-Operações/Sequência
2. Peça em Bruto	7. Programa CN
3. Operações	8. Ferramental
4. Sequência	9. Condições de Usinagem
5. Maquinário	10. Tempos

Plano de Processos					
①		②			
No	DESCRIÇÃO	MAQ.	FERRCON	TEMP	
10	_____	—	—	—	—
20	_____	—	—	—	—
30	_____	⑦	—	—	—
40	_____	—	—	—	—
④	③	⑤	⑧	⑨	⑩

⑦

G91 S200 M04  
 T012 M06  
 G04 X2000  
 G00 X-400 Y-300  
 G01 Y500  
 X7000  
 G00 X-4000

Figura 6: Atividades de planejamento de processo (ROZENFELD, 1992).

### 2.3.1. Definição dos Dados Organizacionais

Essa função normalmente é desprezada, pois acontece de qualquer forma. Ela é, todavia, essencial para garantir uma integridade das informações entre projeto e

fabricação. Em muitas empresas torna-se um gargalo e fonte de erros, principalmente, no caso de não existir um controle de versões apropriado (ROZENFELD, 1992). Através da definição dos dados organizacionais consegue-se “amarrar” o plano com o desenho da peça e evitar redundâncias de armazenamento de planos para o PCP.

### 2.3.2. Determinação das Operações e Sua Sequência

Essa função é a mais importante do planejamento de processo. Ela acontece de diversas formas.

Pode-se iniciar com a definição do processo de fabricação e então a definição da operação propriamente dita (ROZENFELD, 1992). Existem 3 fatores que devem ser considerados na determinação das operações:

- Os fatores tecnológicos são determinantes, pois a peça produzida tem que atender às especificações de projeto. Esses fatores incluem a forma e material da peça acabada, a especificação e qualidade da superfície e as tolerâncias e dimensões desejadas.
- Os fatores econômicos limitam a determinação das operações, tais como: lote de peças, dispositivos de fixação, custo hora, etc.
- Os fatores temporais também limitam a determinação das operações, como por exemplo, prazos de entrega, capacidade disponível, disponibilidade de material e assim por diante.

Existem vários raciocínios para a determinação das operações, que dependem do conhecimento do processista. As operações definidas nesta fase impactam de maneira decisiva no custo do produto, pois estabelecem o nível de detalhe com que cada operação deverá ser elaborada e cada equipamento alocado para a operação.

Esta função está intimamente ligada à determinação de equipamentos, através de um processo iterativo.

### 2.3.3. Determinação de Equipamentos

Está intimamente ligada às operações definidas, pois ambas as funções são praticamente realizadas em conjunto. A informação sobre o equipamento necessário é muito importante para se planejar a produção (a curto prazo) e se definir novos investimentos (a longo prazo). A informação sobre equipamento determina o posto de trabalho para a programação da produção.

Os custos padrão de cada posto de trabalho definem o custo da peça, e a sua disponibilidade, o prazo de entrega (VIEIRA, 1992).

#### 2.3.4. Determinação de Sub-Operações

Essa função representa um dos tipos de detalhamento das operações, (também conhecido como planejamento de operações) quando estas não são suficientemente precisas para o operador no chão-de-fábrica.

São necessárias naqueles postos de trabalho que normalmente não dispõem de máquinas CN onde são realizados procedimentos complexos (ROZENFELD, 1992).

#### 2.3.5. Determinação de Ilustrações Auxiliares (Croquis)

Conforme visto na seção 2.2.3, é de grande importância a apresentação de desenhos sob a forma de croquis para incrementar as informações de um plano de processo. Estes croquis são empregados significativamente nas produções de média a alta série para facilitar o entendimento do operador da máquina, bem como a qualidade do produto.

Indústrias baseadas em baixa série ou lote único muitas vezes não utilizam os croquis, devido à alta especialização do operador da máquina. Nas indústrias de alta série ou processo contínuo, geralmente, também não se utiliza dos croquis, pois tais operações muitas vezes utilizam máquinas dedicadas para o processo. Nestes dois últimos casos quase sempre, também, nem se utilizam plano de processo.

Existem indústrias de baixa série, porém produtoras de peças com um alto valor agregado, e que empregam croquis para setup de máquina ou indicação de posições de corte críticas, devido ao alto custo da matéria prima e produto acabado.

Os tipos mais comuns de croquis encontrados são (KERRY, 1997):

- Croquis de preparação de máquina (setup).
- Croquis de preparação de ferramental.
- Croquis de qualidade ou inspeção (pontos de medição críticos).
- Croquis de sub-operação (auxiliar para as informações de sub-operação).
- Croquis de preparação de blank (usado em indústrias que trabalham com corte de chapa).

#### 2.3.6. Determinação de Ferramental

O termo “ferramental” abrange os dispositivos de fixação e as ferramentas de produção, que podem ser especiais ou universais.

A determinação do dispositivo de fixação é necessária para garantir a qualidade de fabricação (FERREIRA et al, 1985) em grandes séries, assegurando uma alta taxa de produção (AGOSTINHO et al, 1978). Os dispositivos podem ser especiais, universais e modulares (ROZENFELD, 1992). Esses últimos são cada vez mais utilizados no exterior e muito pouco no Brasil. Eles são apropriados para peças de pequenas dimensões (ROZENFELD, 1992).

Os dispositivos universais são aqueles que vêm como acessórios dos equipamentos, tais como: pinças, castanhas, cones, etc. Os dispositivos mais comuns são os especiais, que demandam um tempo de projeto e fabricação, tornando-se muitas vezes o gargalo na fabricação de um lote de peças. A determinação de dispositivos bem antes do planejamento de operações é um dos desafios da Engenharia Simultânea.

A especificação de ferramentas de produção está intimamente ligada à determinação de operações e influencia as demais funções do planejamento de processo.

### 2.3.7. Cálculo dos Tempos de Fabricação

Neste trabalho não se pretende discutir com extensão os métodos de cálculo de tempo de fabricação. Os mais usados são MTM (Análise de Micromovimentos - *Method of Time Measurement*), análise de dados históricos de produção e fórmulas matemáticas empíricas. Apesar de alguns autores considerarem fundamental o cálculo de tempos, na maioria das empresas tal função não é realizada. Os tempos são determinados com base na experiência individual de cada processista, gerando, muitas vezes dados inconsistentes.

Após a definição das operações e das máquinas, o cálculo de tempos é a próxima função requerida para se determinar a carga de máquinas e se programar a produção. A determinação de custos é função dos tempos de fabricação calculados (PROENÇA, 1987), (VIEIRA, 1992).

### 2.3.8. Outras Funções

Podem existir outras funções que se envolvam no planejamento de processo, com maior ou menor peso, porém não caberá discuti-las neste trabalho. São elas:

- Determinação da peça em bruto (AGOSTINHO et al, 1978);
- Programação CN (MACHADO, 1986);
- Cálculo das condições de usinagem (ATKINSON & LINDENBERG, 1991);
- Cálculo de sobremetal (WADZ, 1973);
- Simulação do processo (ROZENFELD, 1992) e
- Análise de valores/consultoria ao projeto (ROZENFELD, 1992),

## 2.4. Características do Planejamento Convencional

O planejamento de processo convencional pode ser classificado em dois métodos : o variante e o generativo, conforme a figura 7 (tal classificação surgiu a partir da aplicação de computadores no planejamento de processo).

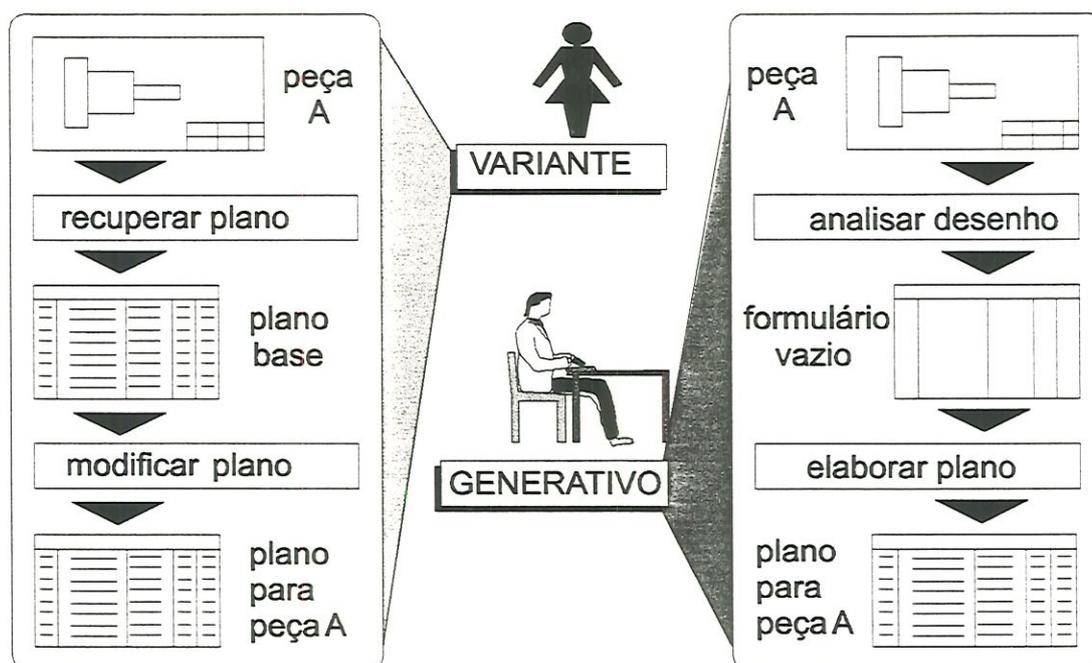


Figura 7: Definição dos métodos de planejamento de processo convencional (ROZENFELD, 1992).

No método variante procura-se primeiramente um plano base, que serve como referência para o planejamento de processo da peça desejada (na figura é a peça A). Após sua recuperação, o plano base é modificado a fim de ser ajustado à peça requerida.

O maior problema do método variante consiste em garantir uma recuperação sistemática do plano base, ou seja, montar um sistema de classificação que permita encontrar as peças que são semelhantes àquelas peças que se procura. Os sistemas de classificação tradicionais, como Opitz, KK3, MICLASS, DCLASS e HFU geram códigos por demais extensos ou complexos que são difíceis de ser entendidos. Em ambientes com alta variedade de produtos, usualmente, encontram-se diversos planos idênticos, pois abandona-se a idéia de se localizar a peça semelhante, devido à complexidade do código.

Através do método generativo gera-se um novo plano de processo para a peça desejada com base no conhecimento do processista.

Em ambos os métodos, observa-se no planejamento convencional que (veja figura 8) somente 30% do tempo do processista é gasto nas funções de definição de

operações e sua seqüência. Quando cada uma das funções de planejamento é decomposta em funções elementares 63% do tempo é gasto com a redação do plano. Junto a isto, o tempo empregue em cálculos diversos é 21%, ou seja, 84% do tempo é empregue em funções que não agregam valor diretamente, como as funções de concepção e análise. Tais dados foram levantados em uma empresa produtora de máquinas ferramenta alemã (ROZENFELD & MODOLO, 1991), mas se repetem consistentemente em entrevistas informais realizadas no Brasil.

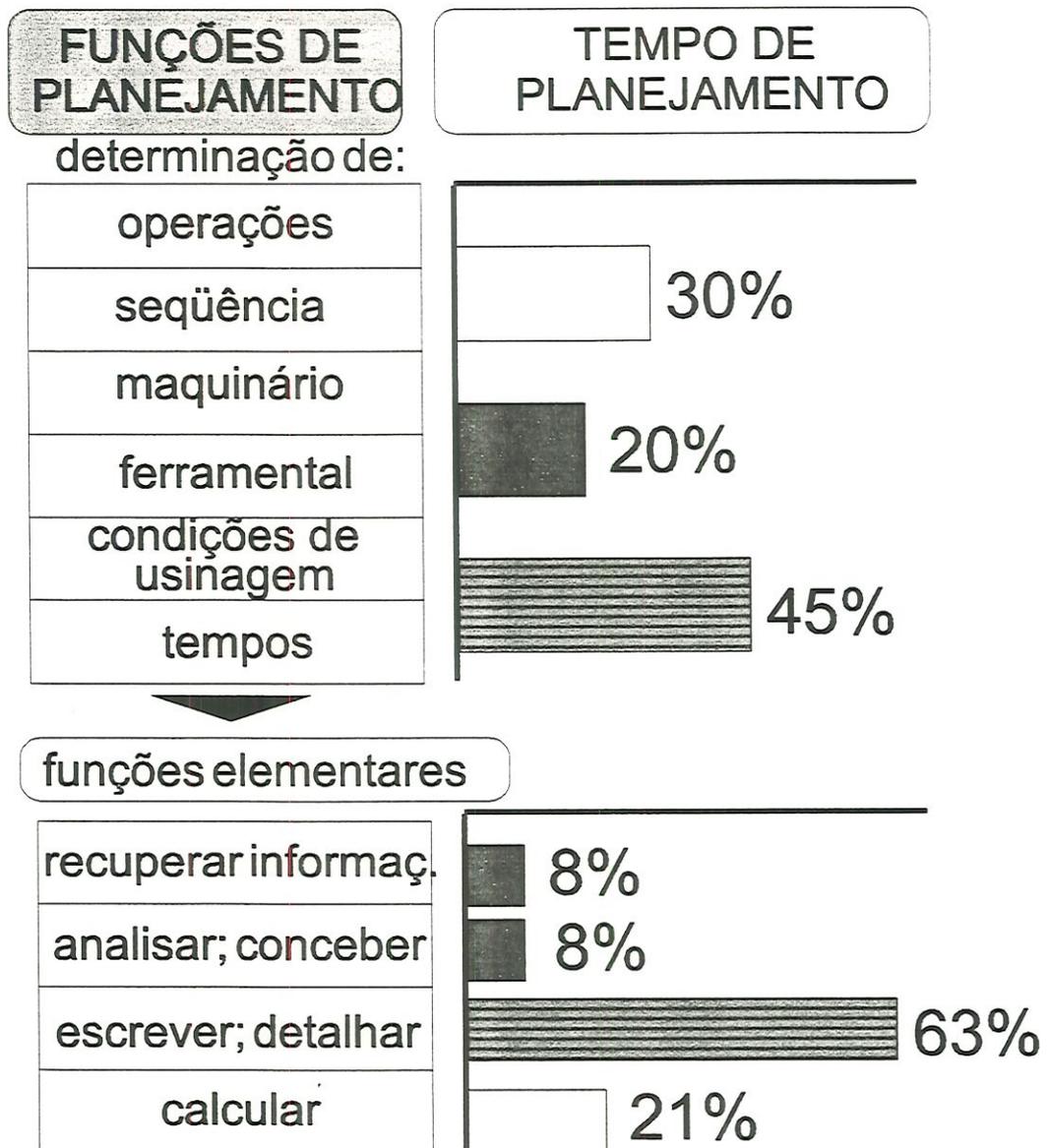


Figura 8: Exemplo de uma análise das tarefas de planejamento (ROZENFELD, 1992).

## 2.5. Formas de Representação da Peça

A descrição da peça é uma informação muito importante para as atividades do planejamento do processo. Ela serve de base às inferências realizadas durante o planejamento. Sua representação pode ser muito útil na apresentação dos resultados do planejamento, sob a forma de croquis (ROZENFELD, 1992), conforme foi visto na seção 2.2.3

O tipo de representação depende basicamente do método de planejamento. No planejamento interativo somente a visualização da peça sob a forma de um desenho técnico já é suficiente, pois todas as inferências serão realizadas pelo processista. Já para um planejamento automático a representação deverá ser mais complexa.

Existem diversas formas de representação de uma peça divididas em dois grandes grupos (ROZENFELD, 1992): linguagens descritivas e linguagens de representação geométrica (figura 9).

<b>Linguagem Descritiva</b>			
<b>Códigos Tabelas de Atributos</b>	<b>Peça Parametrizada</b>	<b>Específicos</b>	<b>Feature</b>
.Incompleto  .Serve para um número reduzido de peças	.Descrição complexa  .Restrito  .Possibilidade de Integração com CAD	.Sem integração  .Utilizável somente no sistema específico	.Descrição complexa  .Tecnologia ainda em definição  .Apropriado para automação
<b>Representação Geométrica</b>			
<b>Modelagem Sólida</b>	<b>Modelagem de Superfície</b>	<b>Wireframe (arame)</b>	
.Inferência complexa  .Não contém definições de atributos tecnológicos	.Inferência complexa  .Processamento complexo .Não contém informação de vizinhança .Não contém informação tecnológica	.Somente para peças simples .Incompleto tecnológica e geométricamente.	.Diversas definições  .Difícil adaptação do projetista  .Contém informações tecnológicas

Figura 9: Dois grupos de formas de representação de peças (KERRY, 1997).

### 2.5.1. Linguagens Descritivas

Os códigos de TG baseados em um SCC ou em uma tabela de atributos característicos buscam representar as características da peça, porém de uma forma incompleta, pois seu principal objetivo é classificar as peças, e não representar a peça. A utilização de códigos TG e de SCC para caracterização de peças tem funcionado somente para peças simples e famílias bem comportadas.

A parametrização de peças apareceu nos primórdios do CAPP automático e, como a descrição das peças era muito complexa, não foi uma técnica muito adotada na época. Com a difusão dos sistemas CAD, que geram peças parametrizadas com grande facilidade, esta técnica vem se tornando usual nos dias de hoje (ROZENFELD, 1992).

A utilização de linguagens descritivas para a representação de peças foi uma solução adotada quando os sistemas CAD ainda não eram apropriados para a integração. Essas linguagens são empregadas somente em sistemas específicos e hoje existem em soluções proprietárias específicas de pouca aplicação (ROZENFELD, 1992).

### 2.5.2. Linguagens Geométricas

Nos primeiros sistemas CAD utilizados comercialmente os desenhistas o utilizavam basicamente como prancheta eletrônica. Com poucos recursos de hardware e de software, os sistemas eram providos de elementos construtivos básicos, e permitiam a criação de desenhos em 2D.

Já na década de 80 surgiram os primeiros modeladores geométricos, que permitiam aos desenhistas criar peças e conjuntos tridimensionais através das técnicas wireframe, superfícies e sólidos. Com este tipo de ferramenta os engenheiros, técnicos e projetistas puderam explorar de forma melhor os seus projetos.

Com um número sempre crescente de usuários, e cada vez mais aprimorados em suas técnicas, conseqüentemente eles passaram a exigir mais em termos de recursos e facilidades oferecidas pelos sistemas.

Dificuldades de compreensão dos comandos, interface pobre, realizar alterações no modelo 3D, estes e outros motivos fizeram com que os produtores de sistemas CAD desenvolvessem novos recursos para facilitar a vida dos usuários.

A modelagem sólida - cujo objetivo é apresentar objetos tridimensionais de tal forma que possam ser manipulados como objetos reais - e não como uma coleção de superfícies - foi desenvolvida porque a mera representação tridimensional da superfície do objeto era insuficiente para efetuar operações booleanas (de soma, diminuição e intersecção dos objetos) análogas às usadas nas manufaturas ou na concepção do projeto. Os usuários de sistemas CAD que tentaram criar um furo em um prisma existente, definido por faces ou malhas, podem compreender com facilidade que a tarefa não é trivial, e que não se assemelha em nada ao conceito que se quer representar. Pior ainda, o furo, assim, não tem propriedades geométricas como diâmetro ou comprimento, e o prisma não tem propriedades, volume e superfície. Ambas devem ser calculadas a mão pelo projetista.

Nos sistemas de modelagem sólida, no entanto, o computador pode determinar se um ponto se encontra dentro ou fora do objeto, ou sobre sua superfície. Um modelo sólido de um objeto inclui uma descrição completa, tanto de sua superfície como de seu volume, e descreve os diversos elementos de sua composição em termos de componentes discretos como prismas, cilindros, cones e superfícies variadas. Com um modelo sólido um furo pode ser criado apenas subtraindo-se um cilindro.

Assim, o usuário pode tratar esse novo elemento de uma forma mais natural, alterando seu diâmetro, posição ou profundidade simplesmente ao se mudar a dimensão correspondente.

O conceito de modelagem sólida oferece algumas vantagens potenciais sobre a modelagem wireframe e de superfície, como:

- Uma descrição não ambígua da geometria da peça.
- A possibilidade de se checar interferência.
- Uma maneira mais natural para se criar modelos de produtos através de operações lógicas em objetos sólidos primitivos (cilindro, cone, paralelepípedo, toro, ...).

- A geração de imagens consistentes dos modelos dos produtos.
- Cálculo de áreas de superfícies e propriedades volumétricas, como volume, peso, centro de gravidade, momentos de inércia e torção.
- A geração automática de malhas para análise de elementos finitos.
- A possibilidade de se usar o modelo do produto para geração automática de programas CN.

Existem hoje duas formas principais de se representar um modelo sólido no computador: CSG (Geometria de Sólidos Construtivos - *Constructive Solid Modeling*) e B-Rep (Representação de Bordas - *Boundary Representation*).

#### 2.5.2.1. Modelagem Usando CSG

O modelador baseado em CSG possui uma série de primitivas básicas as quais podem ser combinadas por meio de operações booleanas. A diferença entre os diversos modeladores está somente na quantidade de primitivas básicas, porém todos possuem prismas, esferas, cones e cilindros.

Este sistema possui vantagens por se assemelhar com as operações de manufatura da própria peça. Para se efetuar um furo cilíndrico na peça a operação de subtração de um cilindro é muito similar ao processo de furação. As operações de revolução se assemelham com as de torneamento. Para criação de moldes de injeção plástica, também podem ser utilizadas as operações de subtração.

A figura 10 mostra um exemplo de um modelo CSG de um produto.

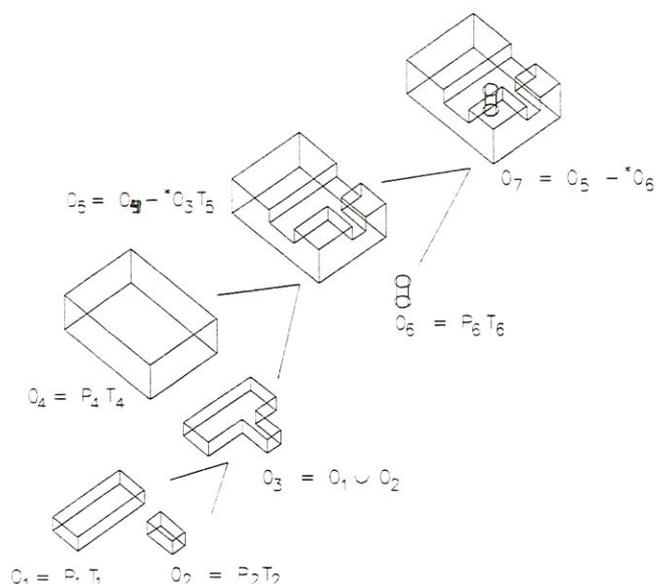


Figura 10: Uma peça modelada com CSG (CHANG, 1990).

Os modeladores CSG possuem vários benefícios, dentre eles, que o projeto dos objetos se passa de maneira muito natural, semelhante às operações de manufatura. Existem claras semelhanças entre subtrair um furo através de um cilindro em um modelador CSG e furar através de uma furadeira com uma broca. As superfícies de revolução produzem resultados semelhantes às operações realizadas no torno.

Para resumir, as vantagens do CSG sobre B-Rep são (HOUTEN, 1991):

- O CSG tem uma estrutura de dados mais simples de manusear.
- Um modelo CSG sempre corresponde a um sólido fisicamente válido.
- Um sistema usando CSG como representação interna normalmente provê a facilidade de gerar B-Reps e pode, portanto, suportar uma grande variedade de aplicações.
- Devido ao fato de que o CSG define o processo de modelagem e não a forma do modelo, este pode facilmente modificar um modelo CSG simplesmente alterando as operações booleanas, as transformações ou as primitivas.

As desvantagens do CSG são:

- A presença de apenas um conjunto limitado de operações e primitivos.
- O cálculo de wireframes e imagens renderizadas de modelos CSG por algoritmos de projeção de luz tomam tempo, porque os elementos que estão na borda do modelo (recebendo a luz) não estão explícitos e tem que ser calculados antes que possam ser mostrados.

#### 2.5.2.2. Modelagem Usando B-Rep

Como o próprio nome diz, os modeladores baseados neste princípio, tem como objetivo descrever todas as superfícies que delimitam o objeto. Todas estas informações ficam armazenadas em uma estrutura de dados, que contém basicamente dois tipos de dados: informações geométricas e topológicas.

As informações geométricas possuem as descrições das superfícies, curvas e pontos que definem o objeto; já as informações topológicas armazenam as relações entre os diversos elementos geométricos.

A figura 11 mostra um modelo B-Rep simples.

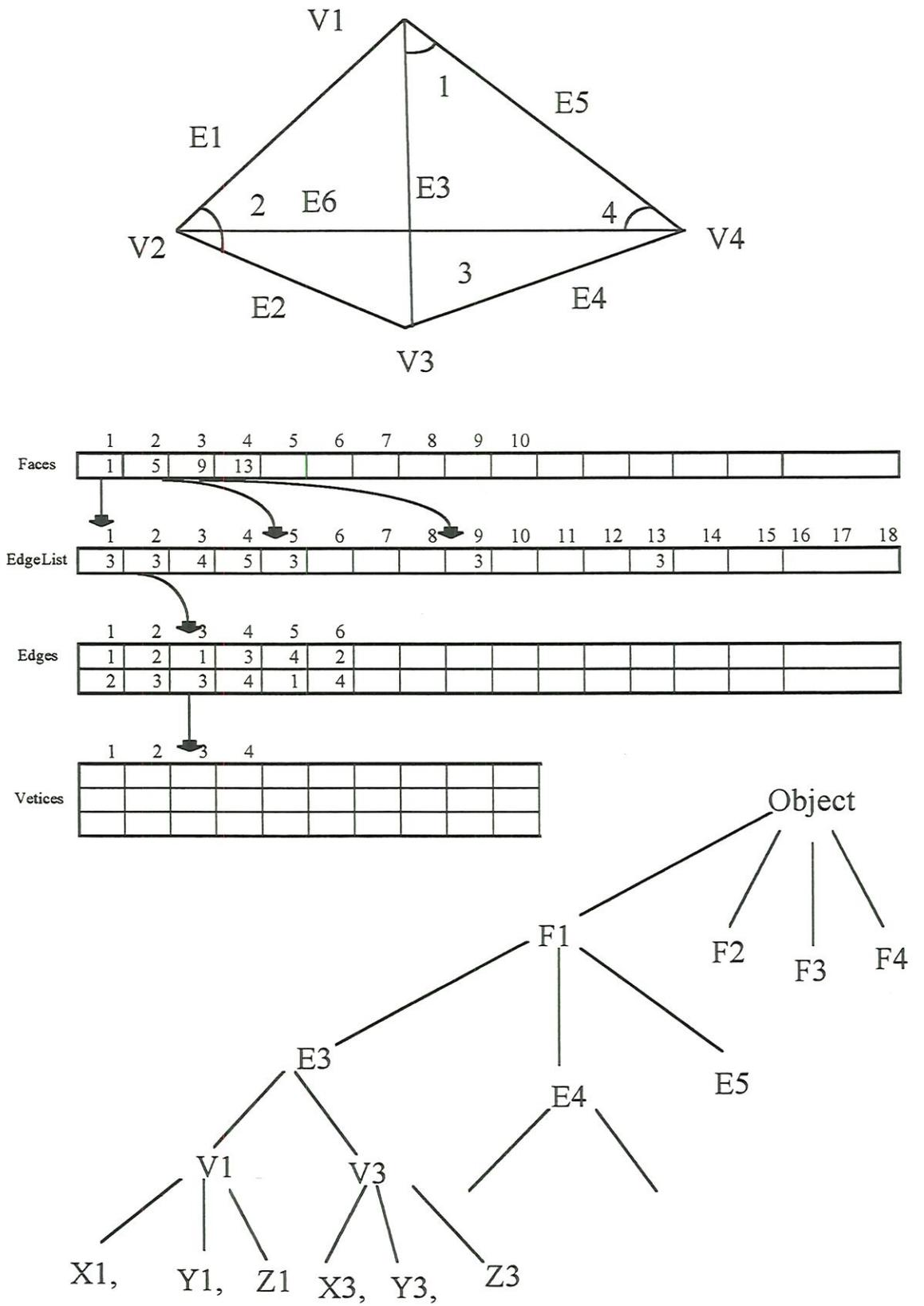


Figura 11: Um modelo B-Rep simples.

As vantagens do B-Rep sobre o CSG são (HOUTEN, 1991):

- Figuras wireframe de modelos B-Rep podem ser geradas rapidamente devido ao fato de que todas as arestas são armazenadas explicitamente. Relações topológicas podem ser verificadas com rapidez.
- Uma grande variedade de operações sobre o modelo estão disponíveis, o que torna versátil a geração de modelos complexos.

As desvantagens do B-Rep são:

- As estruturas de dados são grandes e o seu gerenciamento é difícil.
- Pequenas modificações nos modelos através de operações booleanas podem ser tediosas. A redução do diâmetro de um furo requer uma operação de união que completa o furo, seguida de uma nova interseção com um cilindro de um diâmetro menor. No CSG, o mesmo pode ser obtido simplesmente através da alteração do diâmetro do objeto primitivo. Operações locais podem, às vezes, reduzir a quantidade de trabalho.
- Operações locais também podem resultar em sólidos inválidos.

#### 2.5.2.3. Modelagem Híbrida

O objetivo da modelagem sólida não é representar superfícies nem elementos primitivos, mas sim criar uma representação completa e sem ambiguidades dos objetos físicos. Nem o B-Rep nem o CSG são por si só capazes de descrever todos os objetos possíveis e imagináveis. Em combinação, no entanto, estas duas metodologias podem se complementar muito bem para resultar em sistemas capazes de modelar uma enorme variedade de objetos. O resultado disto são os chamados modeladores híbridos, que combinam os benefícios de ambos os sistemas de representação.

Normalmente, um modelador híbrido está baseado, primariamente, em um modelo CSG ao qual se agrega informação B-Rep. Desta forma, podem ser agregadas superfícies complexas como as superfícies NURBS (*Non Uniform Rational B-Spline*)

e modelos CSG, libertando-se da rigidez que impõem os primitivos habituais deste tipo de sistema.

#### 2.5.2.4. Modelagem Paramétrica

A capacidade para modelar parametricamente uma peça ou o modelo é independente da forma da apresentação em duas ou três dimensões. Existem produtos que servem para criar desenhos mecânicos baseados em peças parametricamente inseridas, tais como porcas e parafusos. Estes produtos contam com bases de dados de centenas de milhares de peças, de acordo com uma ou mais normas padrão como a ISO ou a ANSI, e contam com comandos para inserir estas peças num desenho CAD. Neste tipo de aplicação, o termo paramétrico se refere ao fato de que as bibliotecas de peças não são meras “bibliotecas de blocos”, mas sim que o sistema gera desenhos a partir de uma base de dados que contém as dimensões dos mesmos e que é capaz de gerar listas de materiais e informar ao usuário sobre as peças utilizadas.

Ainda que estes tipos de produtos, habitualmente bidimensionais, sejam muito úteis para certos tipos de projetos mecânicos simples ou inerentemente bidimensional não se pode considerá-los como modeladores paramétricos. Embora tenham sido parametricamente gerados, não estão ligados entre si para formar um modelo paramétrico.

Um modelador paramétrico permite que o usuário gere peças ou modelos cujas dimensões dos diversos elementos possam estar matematicamente ligadas a outras dimensões ou variáveis, e se possa estabelecer relações geométricas que o modelo deve respeitar. Um exemplo são as relações de perpendicularidade e paralelismo entre os elementos de uma peça ou entre as peças de um modelo, usualmente chamadas de constraints ou restrições.

Os modelos paramétricos servem para que o projetista possa criar famílias de peças ou montagens a partir de um modelo base, ou para que possa otimizar as características de um projeto em particular.

Na figura 12 vê-se um modelo de um eixo escalonado em que a dimensão do diâmetro menor depende da dimensão do diâmetro maior através da equação mostrada

( $D_{\text{menor}} = D_{\text{maior}} / 2$ ). Caso a dimensão do diâmetro maior seja alterada, a dimensão do diâmetro menor também é automaticamente alterada. Caso a dimensão do eixo menor seja alterada, a dimensão do eixo maior pode ser automaticamente calculada pela inversa da função de relacionamento.

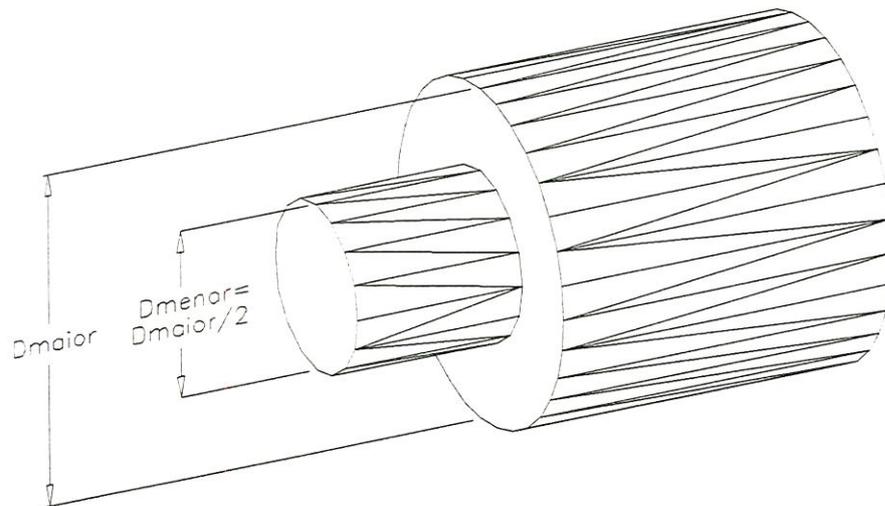


Figura 12: Modelagem paramétrica de um eixo simples.

A utilização de sistemas baseados em modelagem paramétrica tem tido muita aplicação nos dias de hoje, e pode ser vista em trabalhos apresentados por Freixo (FREIXO, 1991) e Anacleto (ANACLETO, 1991).

#### 2.5.2.5. Modelagem Baseada em *Features*

Um feature (característica, que não será traduzido devido ao amplo uso desta palavra) de engenharia é: “um elemento físico de uma peça que tem algum significado para a engenharia” (CAM-I, 1989). Ele deve satisfazer as seguintes condições (SHAH, 1990):

- Ser um constituinte físico de uma peça.

- Ser mapeável para uma forma geométrica genérica.
- Ser tecnicamente significativa (do ponto de vista da engenharia).
- Ter propriedades predizíveis.

As formas genéricas de features podem ser formalizadas em forma canônica. Elas podem ser descritas através da combinação de parâmetros genéricos e listas de entidades geométricas e topológicas.

O significado técnico de um feature pode envolver a função a qual um feature serve, como ele pode ser produzido, que ações a sua presença deve iniciar, etc. Features podem ser pensados como ‘primitivas de engenharia’ relevantes a alguma tarefa de engenharia.

Features constituem peças que, por sua vez, constituem montagens. Os atributos dos features, que determinam as suas características, podem ser especificados em qualquer nível da hierarquia do produto, em diversos níveis de abstração. Se os features forem úteis nos níveis mais altos de abstração do processo de projetar, definições de features abstratos devem ser permitidos. Mas há uma restrição: os features definidos abstratamente devem se tornar constituintes físicos de uma peça sempre que a informação sobre eles for completada. Para completar a definição de uma forma todos os parâmetros de uma dimensão devem ser especificados. Deve ser possível que seja feito diversos tipos de raciocínio em definições incompletas ou abstratas de features.

A modelagem de features é baseada na idéia de se desenhar com ‘blocos de construção’ (tradicionalmente chamado de *building blocks*). Ao invés de se usar formas analíticas como paralelepípedos, cilindros, esferas e cones como primitivos, o usuário cria o modelo do produto usando primitivos de maior nível, que são mais relevantes para sua aplicação específica. Esta abordagem deveria fazer com que os sistemas de modelagem sólida ficassem mais fáceis de serem usados. Entretanto, o conjunto fixo de features oferecido pela geração atual de modeladores baseados em features é muito limitada para uso industrial, com exceção, talvez, do novo CAD lançado pela Matra Datavision, o Euclid Quantum, baseado em STEP e possuidor de uma linguagem orientada a objetos para definição de features (CAS.CADE).

Quase todas as tentativas de se forçar os projetistas a se restringirem ao uso de um conjunto fixo de ‘blocos de construção de projeto’ falharam. Como mencionado antes, o mapeamento das funções do produto para elementos de forma não é tão simples e genericamente não pode ser feito em uma relação um para um. Mesmo nos casos onde o mapeamento um para um pode ser feito, ele não acontece. Isto dá uma mensagem clara de que o princípio restritivo não tem apelo aos projetistas. É comum ter-se um sentimento (estético) de que projetos ganham qualidade pela integração de funções e formas. Desde que os features fazem parte das peças eles variam de uma peça para outra. Por exemplo, muitos features de chapas de metal não serão relevantes para peças usinadas ou de material composto e vice-versa. Como consequência, a biblioteca de features utilizada deve variar de peça para peça, e por vezes, na mesma peça são utilizados features de duas bibliotecas diferentes.

A composição e decomposição de peças em termos de features também varia de aplicação para aplicação (HUMMEL, 1990), (veja figura 13).

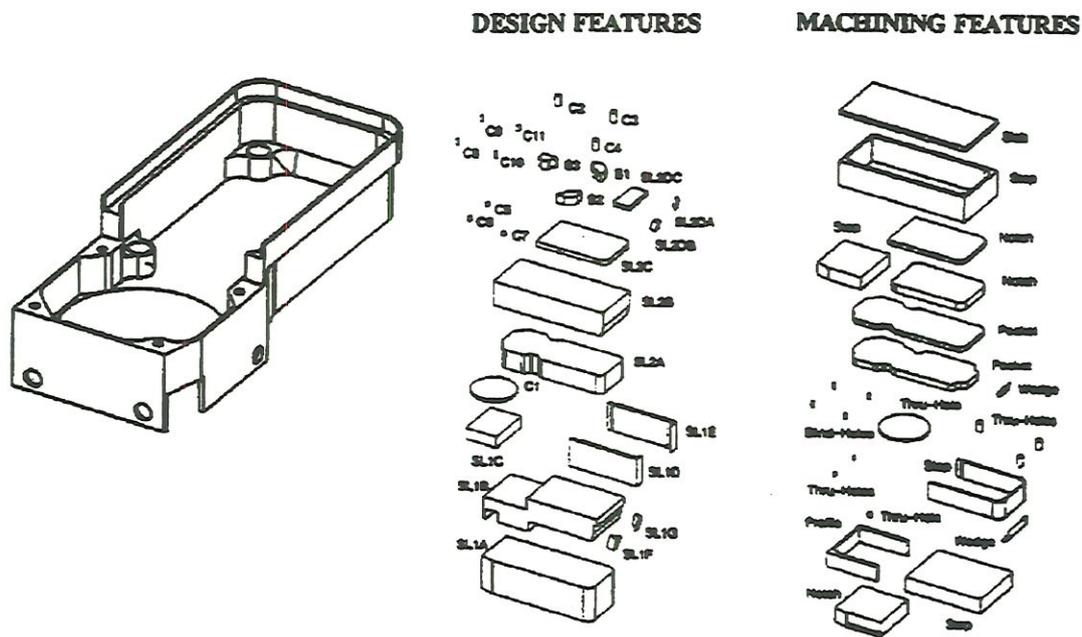


Figura 13: Uma peça decomposta em features de projeto (*Design Features*) e features de usinagem (*Machining Features*), (HUMMEL, 1990).

Conforme a aplicação do projeto, seja análise de tensões ou geração de código CN, determinados conjuntos de features são mais úteis. No caso da geração de código CN (e também para programas CAPP), os features mais úteis são os de usinagem, conforme a figura 13. Entretanto, não é comum um projetista pensar em termos de features de usinagem.

A primeira técnica de modelagem baseada em features foi a DSG (Geometria de Sólidos Destrutivos - *Destructive Solid Geometry*). Na verdade a DSG era um subconjunto do CSG que usa somente o operador de diferença. Features de usinagem (volumes criados pela varredura de ferramentas) são subtraídos de um blank. O projeto e sequenciamento básico do plano de processo são desenvolvidos simultaneamente através da transformação do blank na peça. Esta abordagem foi seguida por outros pesquisadores (CUTCOSKY et al, 1988), (TURNER & ANDERSON, 1988). Todos os sistemas usaram um conjunto de features pré-definido.

Outro método é a síntese através de features sem partir do blank. Protótipos baseados nesta abordagem foram desenvolvidos por muitos pesquisadores (CHUNG et al, 1988) (SHAH et al, 1988) (REQUICHA, 1989) (EMMERIK, 1990).

Nos primeiros protótipos de modeladores baseados em features eles eram fixos. Também eram dependentes da aplicação e eram posicionados em um sistema de coordenadas globais. Sistemas subsequentes suportam features genéricos que podem ser pré-definidos pelo usuário. A definição é especificada em termos de regras e procedimentos para:

- Instanciação e edição de features.
- A geração de modelos sólidos.
- A derivação de parâmetros.
- A validação de operações de features.

Nestes protótipos o posicionamento dos features é relativo e, em alguns casos, controlado por mecanismos sofisticados de dependência (SHAH et al, 1988), (EMMERIK, 1990).

A maioria dos pesquisadores se concentra em modelagem baseada em features com B-Rep. Deve-se isso ao fato de que o CSG básico - que é baseado somente em

primitivos sólidos -, não provê uma base apropriada para modelagem fundamentada em features. Apesar de permitir especificações de features de maneira rápida e amigável, que sempre leva a um modelo válido, ele sofre de:

- Representação não única.
- Dificuldade de referenciar elementos geométricos interativamente.
- Ausência de operações locais de forma.
- Impossibilidade de se especificar atributos diferentes para faces diferentes de um objeto primitivo (por exemplo, a rugosidade de um cubo teria que ser igual em todas as faces).

O dilema mais importante de modelagem baseada em features é que muitos métodos diferentes podem ser usados para sintetizar-se peças a partir de features. Isto implica que o número de features possíveis é virtualmente infinito. Ficou claro que os features devem ser adaptáveis aos usuários e que a biblioteca de features deve ser extensível (SHAH & ROGERS, 1988). Entretanto, isto pode complicar a troca de modelos entre sistemas CAD diferentes, bem como entre programas CAD idênticos e diferentes aplicações.

Os esforços para caracterização formal de uma linguagem de especificação de features, iniciados em 1990, proporcionaram que a versão mais nova do STEP incluísse features definíveis pelo usuário através de uma linguagem padrão de especificação de features.

## ***2.6. Métodos de Planejamento por Computador***

O computador tem sido empregado largamente em alguns setores da engenharia, e tem contribuído, com sucesso, na resolução de diversos problemas, tais como: CAD, CAE e CAM, e isto serve como uma das principais razões para a aplicação de computadores no planejamento de processo. Abaixo listam-se os principais motivos para a aplicação de computadores no planejamento de processo (ROZENFELD, 1992):

- Outros utilizam computador.
- Base de informação comum.
- Informações padronizadas.

- Qualidade da informação.
- O domínio do processo tende a permanecer na empresa.
- A recuperação de informações é muito mais rápida.
- A produtividade de planejamento é maior.
- Há escassez de especialistas em processos.
- A adaptabilidade a mudanças tende a ser maior.

Com o emprego de sistemas computadorizados é que surgiram os seguintes métodos para a realização do planejamento do processo: Planejamento Variante, Planejamento Generativo Automático, Planejamento Generativo Interativo e o Planejamento Híbrido.

#### 2.6.1. Planejamento Generativo Interativo

Normalmente o planejamento interativo é considerado como uma digitação de texto em um processador de texto qualquer, por isso tal modalidade de CAPP é normalmente ignorada pela literatura mundial. A figura abaixo (figura 14) esclarece as diferenças entre os diversos métodos de edição por computador.

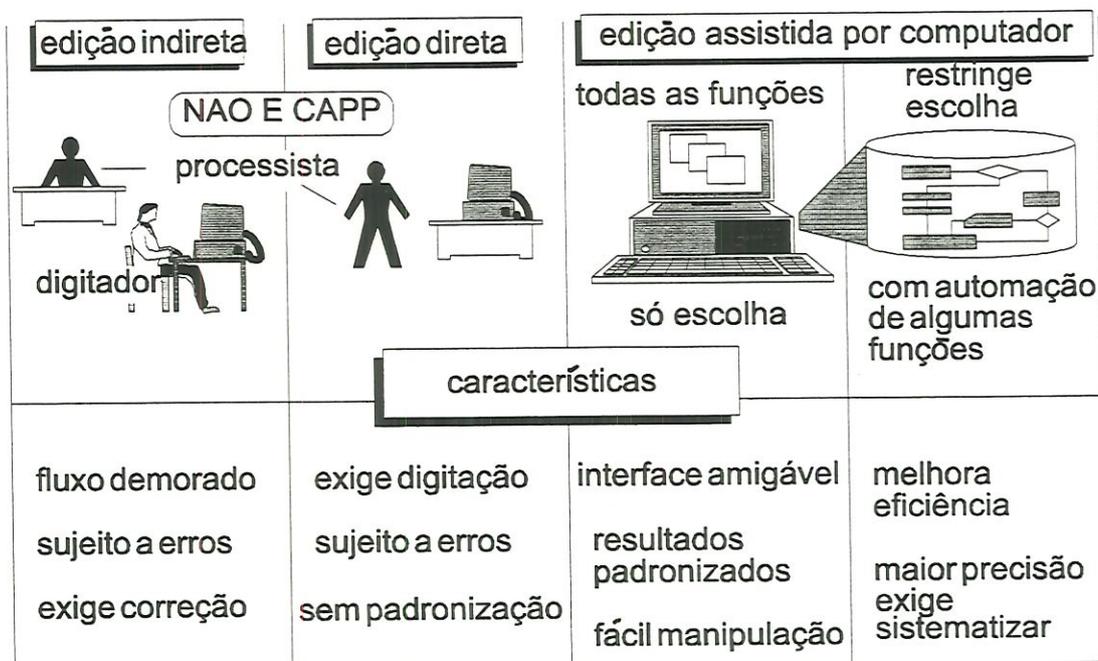


Figura 14: Localização do planejamento generativo interativo (ROZENFELD, 1992).

No final da década de 80 e início de 90 a edição indireta era o método mais difundido, onde as informações do planejamento são geradas pelo processista e enviadas a um digitador, que alimenta o computador com os dados necessários. Normalmente é impresso um formulário que o processista confere, ou seja, o processo contém idas e voltas que não agregam valor e é sujeito a erros.

Em outras empresas, o processista substitui o digitador colocando as informações diretamente no computador. Por eliminar a etapa intermediária achava-se que o ciclo de obtenção de um plano seria menor. Com isso, o processista deixa de realizar as funções para as quais é melhor capacitado (ROZENFELD, 1992).

Ambas as atividades acima não são CAPP interativo e mantêm todos os problemas do planejamento convencional supracitados. No final da década de 80 foram iniciados esforços baseados nos fatos levantados sobre a distribuição de tempo, em que constatou-se que 63% do tempo empregue na confecção de processo era gasta em digitação (ROZENFELD et al, 1992). A idéia foi utilizar o computador como um guia na escolha de parâmetros e recursos pré-cadastrados através de uma interface amigável, preferencialmente GUI (*Graphical User Interface*). Desta maneira, o processista interage diretamente com o computador com um mínimo de digitação e dificuldade.

Portanto, o CAPP interativo vem resolver os problemas mostrados para o planejamento convencional, proporcionando padronização, base de dados centralizada, qualidade de informação, maior domínio do processo, ágil recuperação de informações e melhoria na produtividade de planejamento.

A figura 15 apresenta as principais vantagens e desvantagens do uso de CAPP generativo interativo.

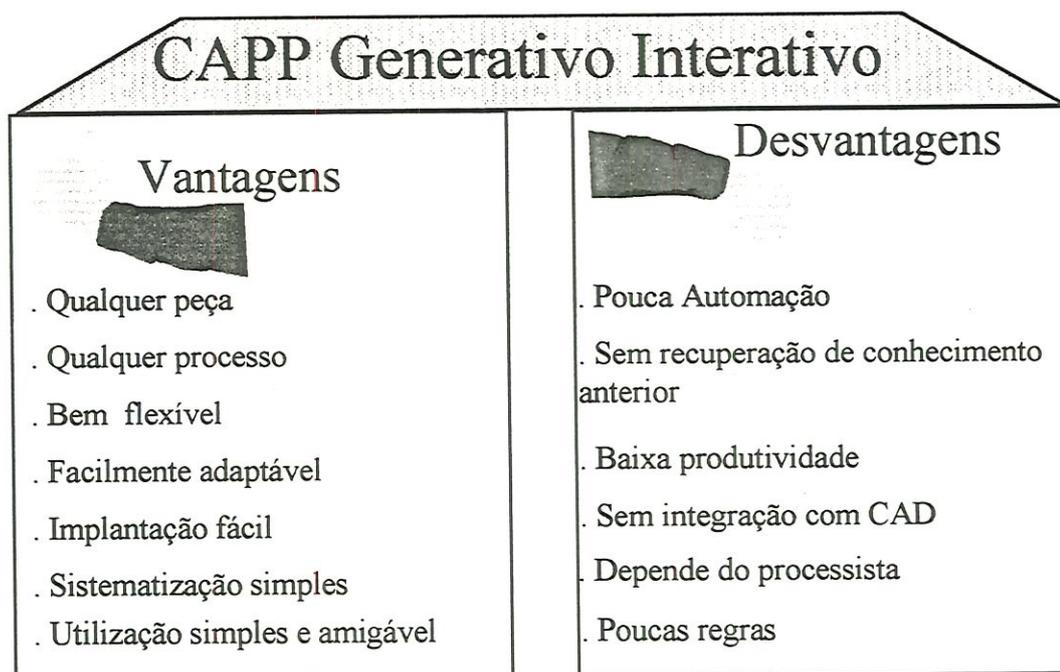


Figura 15: Vantagens e desvantagens do CAPP interativo (ROZENFELD, 1992).

#### 2.6.2. Planejamento Variante

Também chamado de ‘método de recuperação de dados’ (WANG & LI, 1991), o planejamento variante utiliza um plano de referência, também chamado de plano base, a partir do qual fazem-se modificações para se obter um novo plano.

Segundo Wang (WANG & LI, 1991): “Como o nome diz, o planejamento variante pressupõe que haja famílias de peças e existam planos padrão para cada uma destas famílias em um estágio de preparação para o CAPP variante”. Entretanto há alguns casos em que não se utilizam famílias de peças. Utilizam-se, apenas, planos semelhantes, que não requerem a formação de famílias de peças, proporcionando uma sistematização de curto período e investimento. Porém, normalmente, os planos semelhantes devem ser muito modificados.

O trabalho com planos padrão, segundo a definição de Wang (WANG & LI, 1991), pressupõe a existência de uma família de peças, que deve ser identificada em uma fase anterior ao planejamento de processo. Isto presume que as famílias contenham peças bem-comportadas, no que diz respeito aos seus planos de processo, e normalmente os agrupamentos de família existentes são relativos a características

de projeto e geometria das peças, e não às características de processo. Habitualmente os maiores problemas são encontrados no custo da obtenção de padrões e de sua manutenção quando ocorrerem mudanças no chão de fábrica (ROZENFELD, 1992).

Segundo Rozenfeld (ROZENFELD, 1992), a recuperação de planos semelhantes e de plano padrão é o ponto crucial no CAPP variante. Pode-se recuperar um plano utilizando-se de um sistema de classificação e codificação (SCC) baseado em Tecnologia de Grupo, tais como: Opitz, KK3, Brisch, etc. Normalmente estas técnicas resultam em códigos longos e/ou de difícil compreensão.

A figura 16 apresenta alguma das vantagens e desvantagens no emprego do CAPP variante.

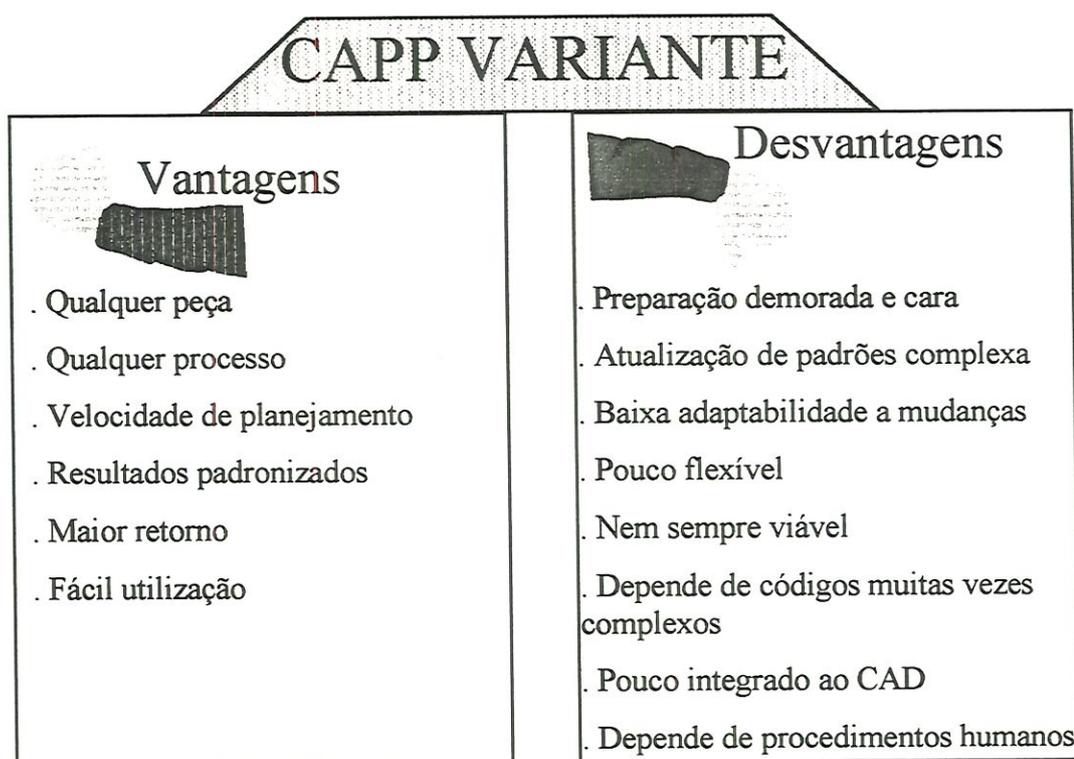


Figura 16: Vantagens e desvantagens do CAPP variante (ROZENFELD, 1992).

### 2.6.3. Planejamento Generativo Automático

“O planejamento de processo automático é o objetivo maior de todas as pesquisas em CAPP. Quase 60% dos trabalhos publicados em CAPP tratam desse assunto” (ROZENFELD, 1992).

O significado de generativo, fundamenta-se no fato de que o plano de processo pode ser gerado a partir da descrição da peça, sem a interferência humana. Conclui-se que a forma que a peça será descrita tem um papel fundamental para um sistema CAPP baseado neste modelo.

Nem todos os sistemas são totalmente generativos. Alguns são semi-generativos, como, por exemplo, os paramétricos (variantes paramétricos) como GENPLAN (TULKOFF, 1981) e DCLASS (ALLEN, 1979). Outros exemplos de sistemas semi-generativos, porém independentes de sistemas de classificação, são AUTOPLAN (TEMPELHOF, 1979), AVOPLAN (PRACK, 1984) e CORE-CAPP (LI et al, 1987).

Segundo Wang (WANG & LI, 1991), os componentes funcionais básicos de um sistema CAPP generativo são:

- a) Descrição da peça: para que haja geração do processo, primeiramente, é necessária a descrição da peça. Conforme a sofisticação e nível de complexidade do sistema CAPP utilizado, maior é a complexidade de descrição da peça. A descrição mais sofisticada vem de sistemas CAD, a partir da qual pode-se caracterizar a peça completamente. Entretanto, até agora, não existe uma interface totalmente aceita para descrição da peça para CAPP.
- b) Seleção das operações e seqüenciamento: após o conhecimento da forma da peça ter sido fornecido ao sistema, cálculos e manipulações são feitos para gerar o roteiro e informações da operação. Os métodos podem ser diversos, como regras de produção, redes neurais, etc.
- c) Base de dados de recursos de planejamento (máquinas, ferramentas, dispositivos): para que o sistema CAPP possa gerar o roteiro de fabricação, é necessário ter uma base de dados que informe todos os recursos disponíveis e suas características

tecnológicas. A estruturação dos dados e sua extensão ditam a capacidade do sistema CAPP.

- d) Seleção dos parâmetros de usinagem: o sistema CAPP deve saber gerar os parâmetros de cada operação, como velocidade, avanço, profundidade e assim por diante. Métodos diversos podem ser usados, como matemáticos (Taylor), experimentais ou tabulares.
- e) Geração de relatórios: o resultado final do planejamento é o plano de processo, que inclui diversos documentos, como plano-macro, folhas de operação e ilustrações de operação.

Um sistema CAPP automático terá aplicação restrita e dificuldade de aplicação prática dentro dos próximos anos, pois o CAPP automático não se presta ao planejamento de todas as peças de uma empresa, resolvendo apenas casos específicos.

De uma maneira geral, apresentam-se, na figura abaixo (figura 17), as principais vantagens e desvantagens do CAPP automático:

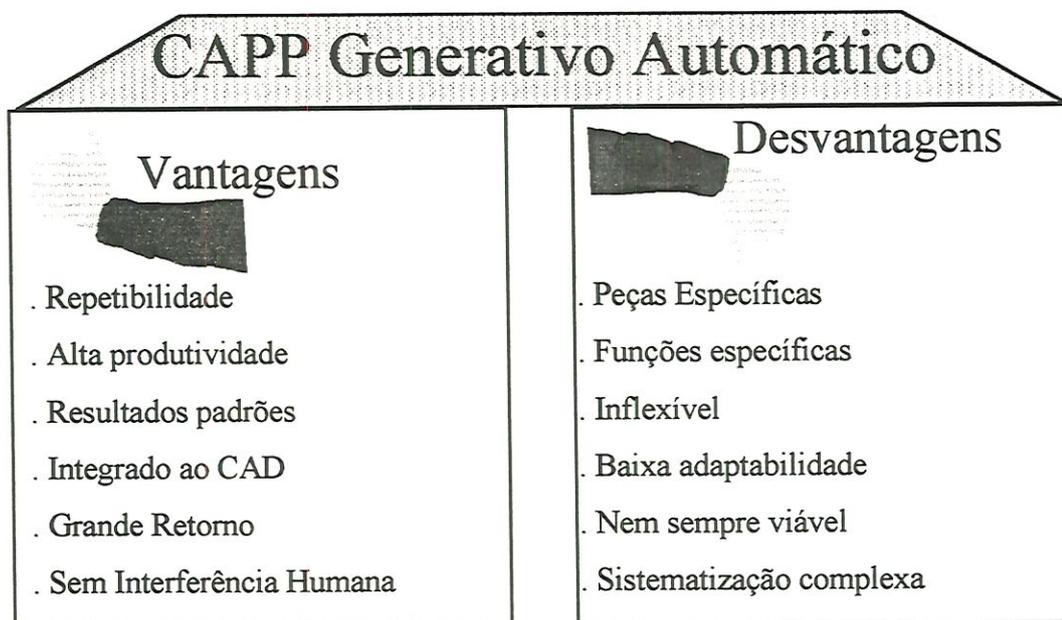


Figura 17: Vantagens e desvantagens do CAPP generativo automático (ROZENFELD, 1992).

#### 2.6.4. Planejamento Híbrido

Analisando as vantagens e desvantagens apresentadas para cada um dos métodos de planejamento citados anteriormente, isto leva a uma conclusão natural de que a combinação destes métodos em uma solução híbrida pode alcançar o melhor de cada um dos métodos (figura 18).

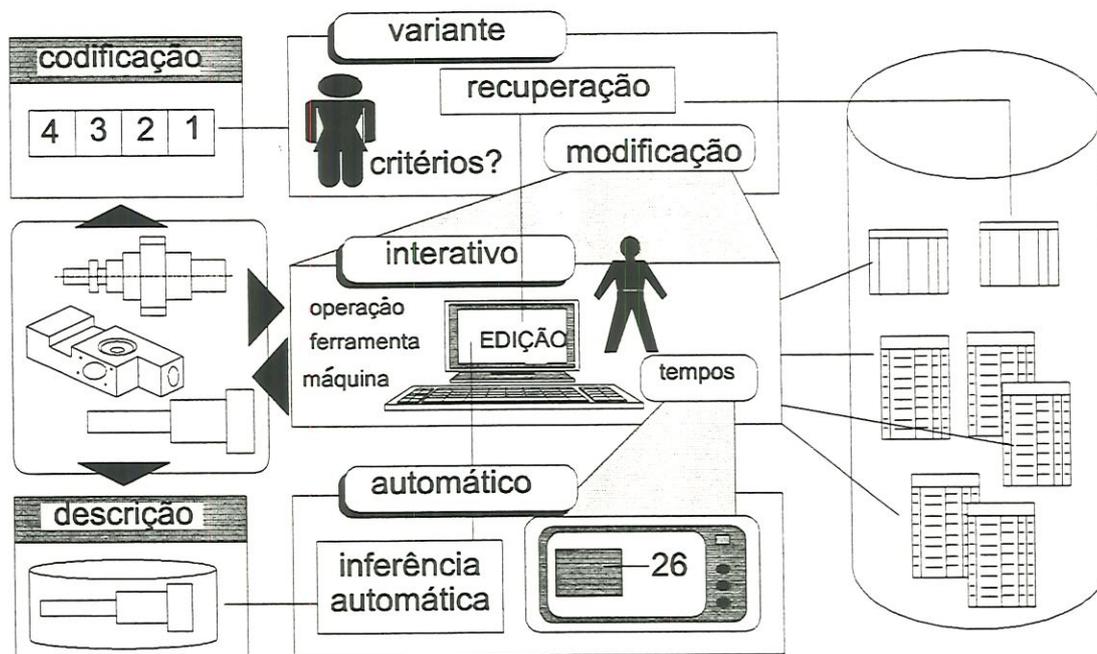


Figura 18: Solução CAPP híbrida (ROZENFELD, 1992).

A solução híbrida permite a utilização das vantagens de cada método em partes distintas das funções de planejamento de processo. Em uma peça totalmente nova, não existente na história da empresa, inicia-se o planejamento através do generativo interativo, e em determinados pontos pode-se requisitar que o sistema faça uma inferência automática (cálculo de tempos, cálculo de condições de usinagem, geração de CN para um feature conhecido). Outras peças, de aparência conhecida, podem ser melhor planejadas através do método variante.

## *2.7. Alternativas de Planejamento Automático*

As alternativas de planejamento automático existentes podem ser classificadas quanto às atividades de planejamento que são realizadas, quanto a representação da peça utilizada para o planejamento e quanto ao método utilizado para resolver o plano de processo. Abaixo estas classificações são discutidas com maior detalhe.

### *2.7.1. Atividade de Planejamento Realizada.*

Os sistemas CAPP automáticos realizam as mais diversas atividades de planejamento. A rigor, um sistema CAPP completamente automático deve realizar todas as etapas de planejamento. Entretanto, devido a complexidade de tal tarefa, há apenas um sistema que atua nesta extensão, porém nem todas as atividades são realizadas em sua plenitude.

Há, portanto, sistemas CAPP que atuam nas seguintes atividades:

- Determinação da peça em bruto.
- Determinação de operações macro e sequenciamento destas.
- Determinação dos equipamentos a serem utilizados em cada operação.
- Determinação de programas CN (programação CN).
- Determinação de ferramental.
- Cálculo de condições de usinagem.
- Cálculo de tempos de fabricação.

Segundo Rozenfeld (ROZENFELD, 1992), verifica-se que a função de determinação da sequência de operações necessita de um conhecimento advindo de experiência. Em um outro extremo, observa-se que as funções de cálculo de condições de usinagem e de tempos de fabricação necessitam de conhecimentos mais determinantes. Isto pode ser visto mais claramente através da figura 19, a seguir.



Figura 19: Tipos de conhecimento no planejamento do processo (ROZENFELD, 1992).

### 2.7.2. Representação da Peça Utilizada

Os primeiros CAPP automáticos (semi-automáticos na verdade) geravam planos para peças descritas através de códigos e tabelas de atributos. Tais descrições geravam planos relativamente pobres em informações, pois não havia riqueza de

detalhes na descrição da peça. Outros utilizaram representações paramétricas das peças, ganhando riqueza no plano de processo e, mais recentemente, com os sistemas CAD com representação volumétrica e features, surgiram sistemas CAPP que conseguem reconhecer os elementos de engenharia da peça e determinam qual será a operação para cada um deles.

De maneira qualitativa, pode-se dizer que a complexidade dos sistemas CAPP está relacionada com a complexidade de descrição das peças que estes exigem (figura 20).

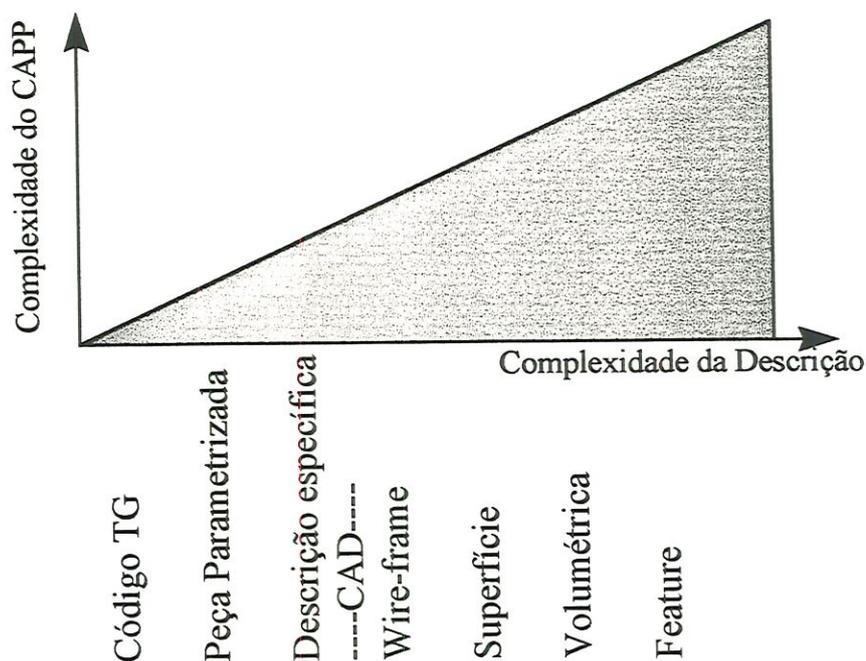


Figura 20: Relação entre a complexidade do CAPP e a complexidade da descrição da peça (KERRY, 1997).

### 2.8. Soluções Existentes

O final da década de 70 e da década de 80 foram prolíficos na geração de sistemas CAPP, quando foram criados mais de 200 sistemas de variadas aplicações. Alting e Zang (ALTING & ZHANG, 1989) reportam os sistemas da tabela 1 como exemplos:

Sistema	Forma da Peça/ Processo de Fabricação	Método de Planejamento	Linguagem de Programação	Referência	Local de Desenvolvimento
APPAS	Furação/ Retificação	Generativo	Fortran IV	Wysk/ 97	Purdue / EUA
AUTAP	Furação/ Retificação	Generativo	Fortran 77	Eversheim/ 75-80	WZL/ Alemanha
CADCAM	Furação	Generativo	Fortran	Chang e Wysk /80-85	VIP e SU/ EUA
CMPP	Rotacionais	Generativo	Fortran 77	Austin/ 82-86	UTRC/ EUA
EXCAP	Rotacionais	Generativo	Prolog	Wright/ 81-87	UMIST / Inglaterra
GARI	Furação	Generativo	Maclisp	Wolfe/ 81-85	Grenoble/ França
GENPLAN	Todas	Variante/ Generativo	Maclisp	Tulkoff/ 87	Lockheed-Georgia/ EUA
ICAPP	Prismáticas	Generativo	Fortran	Wright/ 81-87	UMIST/ Inglaterra
KAPPS	Rotacionais/ Prismáticas	Generativo	Lisp	Wright/ 81-87	Logan Ass./ EUA
MIPLAN	Rotacionais/ Prismáticas	Variante	M-Basic	Houtzeel/ 76	OIR e GE Co./ EUA
MULTI-CAPP II	Todas	Variante	Fortran	OIR news advance/ 86-87	OIR/ USA
SIPS	Todas	Generativo	Fortran 77	Liu e Allen/ 86	Southampton Un./ Inglaterra
TOM	Rotacionais	Generativo	Pascal	Matsushima / 82-87	U. de Tokyo/ Japão
XPLAN	Todas	Generativo	Fortran 77	Alting/ 84-88	Tech. Un. DK/ Dinamarca

Tabela 1: Sistemas CAPP disponíveis na década de 80.

Apesar de todos os desenvolvimentos (a maioria em universidades), poucos sistemas chegaram a ser utilizados na prática, mesmo os entendidos para tal. O SIPS supracitado, por exemplo, foi desenvolvido para ser o núcleo de um sistema CAPP utilizável comercialmente e não chegou a tal objetivo. Também os sistemas ditos generativos acima são na verdade semi-generativos. Continuando com o SIPS, este se concentra apenas na seleção das sub-operações de uma determinada operação, e assume que o sequenciamento e determinação das máquinas já foi fornecido corretamente.

Rozenfeld (ROZENFELD, 1992) fez um levantamento de sistemas CAPP que apontou 127 sistemas existentes dos quais 41 foram analisados e selecionados 12, por possuírem características de aplicação prática: ADIPLAN, AVOPLAN, C-PLAN, CAPPE, ET-CAP, ENGIN, IntelliCAPP, LOGAN, MetCAPP, MIPLAN, PART e SuperCAPES. Os seis principais serão analisados abaixo.

#### 2.8.1. CAPPE

O CAPPE foi desenvolvido no Brasil pela KSR Consultoria e Sistemas para Engenharia, baseado em conceitos trazidos do WZL, na Alemanha, e aprimorados no laboratório de Máquinas-Ferramenta (LAMAFAE), da Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo. Ele é um sistema híbrido que engloba os conceitos de CAPP variante e generativo interativo.

A partir da sistematização inicial, que inclui o cadastro das máquinas e ferramentas disponíveis e definição de operações-padrão, além da definição do grau de detalhamento do plano de processo, o usuário pode interagir com o sistema e gerar:

- Planos de processo macro (seqüência, operações e máquinas).
- Ferramental necessário em cada operação.
- Componentes montados em cada operação (no caso de planos de montagem).
- Detalhamentos diversos, que incluem planos de setup, planos de sub-operação, planos de qualidade, ilustrações via CAD ou OLE (*Object Linking and Embedding*).

Conforme o grau de organização que a empresa possui, o CAPPE permite o controle do estado de cada documento e seu fluxo entre diferentes áreas, assim como o planejamento distribuído (cada setor pode fazer partes independentes do plano e mais tarde interligá-las).

Caso a empresa possua uma metodologia de cálculo de tempos e condições de usinagem, o CAPPE fornece um processador genérico de fórmulas e tabelas, que permite automatizar o cálculo destas funções de planejamento.

A aplicação de TG também pode ser feita através de um módulo de classificação, que permite agrupar peças em famílias e ligar variáveis a elas.

Concepção do sistema:

O sistema CAPPE é um ambiente computacional sob o qual trabalham diversos módulos independentes (figura 21) que se comunicam através de uma base de dados relacional, que executam funções específicas de planejamento do processo, tais como escolha de operações, ferramentas e equipamentos.

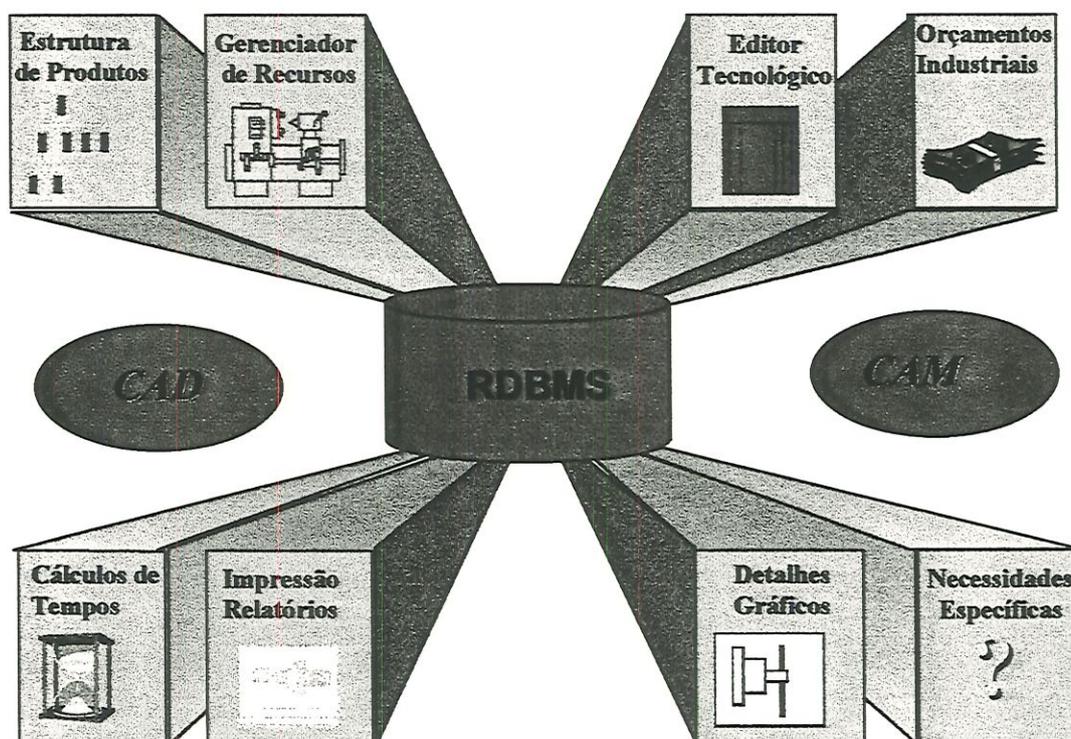


Figura 21: Concepção básica do CAPPE (KERRY, 1997).

Consegue-se criar várias soluções de planejamento do processo, voltadas a uma realidade específica da empresa, através da combinação dos módulos existentes ou novos. Com esta filosofia aberta pode-se incorporar ao ambiente CAPPE outros sistemas desenvolvidos pela empresa ou sistemas comerciais já existentes, para realizar funções de planejamento do processo.

Esta concepção permite que cada setor da empresa tenha um sistema customizado para suas necessidades, compartilhando uma mesma base de dados, garantindo, assim, uma utilização integrada. Mesmo os módulos já existentes na solução CAPPE podem também ser adaptados à empresa. Um exemplo é o editor tecnológico do sistema CAPPE, cuja tela de trabalho deve seguir os padrões da folha de processo utilizado pela empresa. Assim, segue-se a filosofia de que "o software tem que se adaptar à empresa, tomando-se o cuidado de otimizar anteriormente a função de planejamento do processo. Para isto, o sistema conta com os seguintes módulos:

M1- Módulo gerenciador de recursos de planejamento (GRP): permite organizar e padronizar a nomenclatura utilizada na empresa, que além de cadastrar elementos com suas fichas técnicas personalizadas para cada família (operações, equipamentos, ferramentas , etc.) os relaciona. Desta forma, consegue-se maior precisão nas escolhas realizadas pelos processistas durante o planejamento, e minimizando os erros de inconsistências. Neste módulo também são cadastrados os desenhos de cada recurso cadastrado através da chamada de sistemas CAD integrados.

M2- Módulo para seleção de peças: responsável pela escolha da identificação da peça a ser planejada. Este módulo agiliza a seleção através de filtros escolhidos pelo processista. Além disso, os produtos e materiais podem ser classificados tecnicamente (através de fichas definidos pelo usuário), facilitando o encontro de dados de produtos, desenhos, processos, etc.

M3- Módulo de recuperação de planos: permite selecionar uma folha de processo correspondente a uma peça previamente selecionada, além de possibilitar a criação de novos planos a partir de planos semelhantes ou padrões para famílias de peças.

M4- Módulo para edição tecnológica: responsável pela edição da folha de processo, bem como pelo gerenciamento do detalhamento de uma operação. Este detalhamento pode conter uma lista de sub-operações (para se descrever o método de realização da operação com mais detalhes), um programa de comando numérico, um croqui (utilizando um sistema CAD comercial integrável), folhas de especificação de procedimentos e inspeção, uma lista de ferramentas ou outros tipos de detalhamentos especificados pela empresa.

M5- Módulo de impressão: permite a impressão da folha de processo e os detalhamentos correspondentes a este plano. Quando os detalhamentos envolvem informações gráficas o sistema CAPPE aciona automaticamente um sistema CAD para a impressão.

M6 - Módulo de orçamentos: efetua o cálculo de custos de fabricação dos produtos a partir da estrutura do produto e de processos de fabricações atualizados. Permite simulações de custos ainda na fase de planejamento do processo, dando uma consequente agilidade nas decisões de fabricação. O módulo possibilita visualizar, para cada item, o custo agregado por operação, matéria-prima e ferramental, e permite estimar o lote ideal de produção.

M7- Módulo de cálculo de tempos: permite associar às operações padrões (macro, sub-operações e set-up) estruturas de cálculos de tempos (fórmulas e tabelas) de diferentes complexidades. Os métodos de cálculos são específicos por usuário do CAPPE, podendo atingir alta precisão nos cálculos de tempos.



M8 -Estrutura do produto: permite a definição e administração da estrutura dos produtos da empresa. A estrutura de produto pode ser montada a partir do sistema de classificação dos produtos, o que garante grande agilidade de decisões quanto a materiais, produtos e itens comprados.

O módulo básico é formado por M1 a M5.

O sistema CAPPE procura agilizar o planejamento do processo uma vez que o processista deixa de perder tempo em tarefas como recuperação de folhas de processos já existentes e digitação.

A operação das diversas funções de planejamento é protegida por senhas, que fornecem diversos níveis de acesso dentro do sistema.

Características Técnicas:

Linguagem e base de dados:

O CAPPE conversa nativamente com os principais gerenciadores de banco de dados relacionais cliente-servidor (Oracle, Sybase, e Sybase SQL Anywhere) e foi desenvolvido em PowerBuilder e C++.

### 2.8.2. MetCAPP

O MetCAPP foi desenvolvido pelo *Institute of Advanced Manufacturing Sciences* (IAMS), que tem décadas de tradição na tecnologia de usinagem de metais, por isso mesmo o MetCAPP incorpora um sistema especialista com lógica de usinagem.

O MetCAPP é um sistema híbrido que permite planejamento generativo automático e variante. O usuário cria as operações macro manualmente. Em seguida, em uma etapa de detalhamento da operação, o usuário fornece os features a serem trabalhados. Os features fornecidos são, então, passados ao sistema especialista que recomenda os detalhes de usinagem de cada um.

A característica mais marcante deste CAPP é a extensiva base de dados sobre informações de corte fornecida juntamente com o corte, que contém basicamente todo o *machining data handbook* gerado pelo IAMS durante anos de pesquisa. A prática mostrou, entretanto, que tais informações não tem aplicação em outros países, como o Brasil, com realidades completamente diferentes de fornecedores de materiais, ferramentas e máquinas.

#### Concepção do sistema:

O MetCAPP é formado por três módulos básicos integrados: CUTPLAN, CUTTECH e CUTDATA, além da base de dados e utilitários para gerenciamento dos planos gerados.

O CUTPLAN fornece a interface para edição dos planos de processo macro, onde se criam as operações macro e se determinam as máquinas e tempos (estes tempos podem ser digitados ou obtidos do módulo CUTTECH).

O CUTTECH é o módulo realizado para fazer o planejamento detalhado de usinagem. Através de seleção em uma lista, escolhem-se os features disponíveis (não há integração com CAD), especificam-se os seus parâmetros e então o sistema especifica o processo de usinagem para ele. O CUTTECH especifica os passos a serem usados para fazer este feature e todas as condições de usinagem (passes, profundidade de corte, velocidade de corte, avanços,...). Todas estas recomendações são baseadas no *machining data handbook* da IAMS.

O CUTDATA fornece acesso ao *machining data handbook*, o banco de dados de usinagem da IAMS. Apesar dos dados serem modificáveis pelo usuário, isto não é uma tarefa simples.

#### Características Técnicas:

O MetCAPP está disponível nas plataformas SUN, IBM AIX, Windows e OS/2, e trabalha com uma base de dados proprietária que aceita comandos SQL.

### 2.8.3. PART

O PART foi desenvolvido pelo Laboratório de Engenharia de Produção da Universidade de Twente, com assistência do Centro de Matemática de Amsterdam e foi patrocinado pelo Ministério Alemão de Assuntos Econômicos. Ele é o projeto de CAPP mais ambicioso de que se tem notícia (foram investidos 4 milhões de dólares entre 1987 e 1991), e com melhores resultados na área do CAPP generativo automático.

O PART é um sistema CAPP generativo, que pode gerar automaticamente programas CN, instruções de set-up e informações auxiliares para a manufatura de pequenos lotes. Ele foi projetado para trabalhar com planejamento de processo on-line e off-line (com a produção) para centros de usinagem. Ele pode lidar com um espectro variado de produtos e blanks com geometrias complexas.

O sistema interpreta os modelos CAD do produto final e do blank (representados com B-Rep) automaticamente e também pode selecionar os recursos necessários para produzir a peça, como por exemplo máquinas, dispositivos de fixação e ferramentas de corte.

O PART executa a seleção de set-ups, métodos de usinagem e sequenciamento das operações, além do cálculo dos caminhos de ferramentas e condições de usinagem. Limitações dos recursos e da capacidade da fábrica são levados em conta.

O requisito de eficiência e adaptabilidade do método de planejamento para uma variedade de culturas de manufatura resultou em um projeto baseado em sequenciamento flexível e execução paralela de funções de planejamento de processo. A arquitetura do sistema permite customização as características de cada empresa.

Normalmente não é requerida intervenção humana, mas através de uma interface gráfica o usuário pode monitorar e controlar o processo de decisão.

#### Concepção do Sistema:

ROUND e CUBIC foram dois sistemas antecessores ao PART que influenciaram na sua arquitetura. Eles tem uma arquitetura modular em que cada tarefa principal de

planejamento é resolvida por um módulo dedicado. A seqüência de planejamento global é fixa. Isto não só causa problemas de flexibilidade como falta de liberdade para selecionar as máquinas ou ferramentas antes de outras atividades, como também possui uma desvantagem séria: cada um dos módulos realizam muitas sub-tarefas sequencialmente ordenadas que têm que ser terminadas antes que o próximo módulo possa começar.

A execução sequencial destes módulos, selecionando primeiramente uma máquina, então as preparações, então os métodos de usinagem, então as ferramentas, etc, freqüentemente consome muito tempo. É difícil fazer decisões nos primeiros módulos devido à falta de informações sobre as conseqüências destas decisões nos módulos sucessivos. Os problemas são causados pela exclusão de alternativas factíveis em estágios preliminares, iniciais. O cálculo de todas as soluções factíveis levará a uma explosão combinatorial.

Para o PART foi decidido, portanto, que as sub-tarefas de planejamento devem rodar em paralelo sempre que possível e se comunicar. Estas decisões formam a base da concepção do PART. Um módulo do PART abrange um conjunto de tarefas, cada uma delas representando uma função específica de planejamento de processo, que pode ser resolvida individualmente. A figura 22 mostra uma representação esquemática do sistema PART.

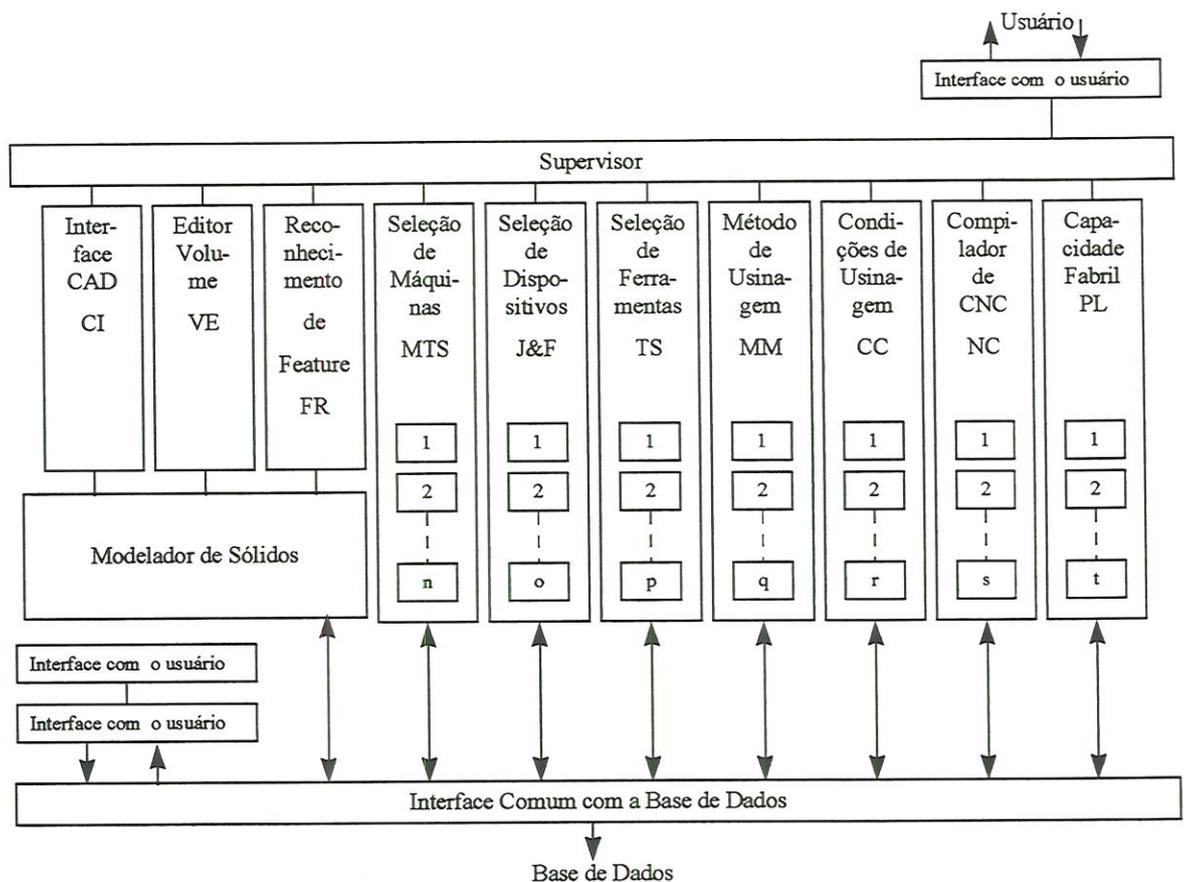


Figura 22: Representação esquemática da concepção do PART.

As tarefas de planejamento são agrupadas em seis módulos, cobrindo:

- Seleção de máquinas (MTS).
- Seleção de dispositivos de fixação (J&F).
- Seleção de métodos de usinagem e seqüências (MM).
- Seleção de ferramentas de corte (TS).
- Cálculo de condições de usinagem e geração de caminhos de ferramentas (CC).
- Planejamento de capacidade (PL).

Os módulos de entrada e saída manipulam:

- Entrada e saída de sistemas CAD (CI).
- Extração de features de manufatura (FR).
- Criação e modificação de modelos geométricos (VE).
- Geração de programas CN e documentos relacionados (NC)

Outros componentes importantes são:

- O supervisor.
- A interface com o usuário.
- A base de dados relacional.
- O módulo de ajuste.

O supervisor é o responsável pela coordenação de todos os módulos. Ele inicia, monitora e termina os processos em diversas CPUs pela rede. Para iniciar as fases utiliza-se uma seqüência pré-estabelecida pelo “cenário” adotado. O cenário descreve em qual seqüência as funções ou sub-funções devem ser ativadas, além de apontar quais funções podem ser feitas em paralelo e o que deve ser feito se uma delas terminar anormalmente. Os cenários são especificados por uma linguagem, a SSL (*Scenario Specification Language*), que permite grande flexibilidade no ajuste do PART.

Características Técnicas:

O PART foi desenvolvido em C, sob plataforma DEC, rodando DEC Windows. Ele acessa uma base de dados relacional DEC-RDB através de SQL.

#### 2.8.4. Process Innovator

O Process Innovator é um sistema CAPP híbrido (variante e generativo interativo), vendido pela CIMtelligence nos EUA, que permite a geração de planos de processo para quaisquer tipos de peças, gerando ilustrações, instruções e outros detalhes.

Ele permite:

- Categorização de especificações de projeto e planos de processo usando gerenciadores de bancos de dados relacionais.
- Classificação de peças.
- Integração gráfica com sistemas CAD com recursos de mrk-up.
- Controle de revisões e segurança.

Concepção do sistema:

O Process Innovator é composto por três módulos:

- Gerente do sistema - tem a capacidade de definir relatórios, estabelecer fluxo de trabalho e níveis de segurança para acesso ao sistema.
- Autor - cria ou aprova os planos de processo como definido nos níveis de segurança.
- Visualizador - visualizador dos processos.

Características Técnicas:

O sistema trabalha com arquitetura cliente-servidor de três camadas e roda em Windows, Windows NT, OS/2, Macintosh, SunOS, AIX e HP UX.

Gerenciadores de base de dados: Oracle, Sybase, DB2 e produtos com conectividade ODBC.

#### 2.8.5. SuperCAPPEs

O SuperCAPPEs (CAPPEs = *Computer Aided Process Planning and Estimating*) é comercializado pela SD-SCICON, uma empresa inglesa voltada ao software de manufatura. Ele é um CAPP híbrido que engloba os conceitos de CAPP variante e generativo automático, e conta com seleção de máquinas, ferramentas, cálculo de tempos e estimativa de custos.

Ele foi projetado para indústrias de manufatura discreta, normalmente gerenciadas por sistemas MRP, e oferece integração com CAD/CAM, MRPII e sistemas de gerenciamento de ferramentas. A parte variante do software utiliza a classificação MICLASS. A parte generativa trabalha com regras de produção.

Concepção do Sistema:

O SuperCAPPEs é dividido em dois componentes principais:

- Software: incorpora algoritmos, utilitários e outras características necessárias ao planejamento do processo e estimativas de custo.
- Base de dados: fornece fundamentos para o software. É acessada, manipulada e combinada pelo software para criar planos de processo. A base de dados consiste em informações sobre materiais, máquinas e especificações de centros de trabalho, tabelas MTM (*Method of Time Measurement*- tabelas de micro-movimentos)

O SuperCAPES tem três módulos básicos:

- MC: usinagem e corte de metal.
- GP: módulo de edição geral para manufatura.
- DR: cadastro e manutenção das regras de decisão.

Os módulos opcionais são:

- Costing: fornece custos conforme a estrutura de produto.
- Archive: arquivamento de dados inativos.
- Import/Export: transferência de dados entre o SuperCAPES e outros sistemas, como CAD/CAM, MRPII e gerenciamento de ferramentas.
- -Work-to lists: criação de listas de atividades e controle da carga de trabalho departamental e prioridades.
- -Miclass: classificação e codificação em tecnologia de grupo.
- -Report Generator: criação de relatórios para usuários específicos.

Características Técnicas:

O sistema roda em UNIX em DECVAX, MicroVAX 3100, HP9000, HP/UX, PC (SCO).

### 2.8.6. CAPPE para peças paramétricas

O sistema CAPPE para peças paramétricas foi uma adaptação realizada por (KERRY,1997) a partir da solução CAPP já existente e que foi descrita na seção 2.8.1 deste capítulo. O sistema CAPPE descrito no item 2.8.1 apresenta uma estrutura modular que permite a adição de funcionalidades específicas. Baseado em um dicionário de variáveis e de unidades, o usuário pode definir seus padrões de uma forma paramétrica, bem como relacioná-las entre si (KERRY, 1997).

A concepção do sistema e as características técnicas do sistema base, podem ser vistas no item 2.8.1, e a adaptação para um sistema paramétrico pode ser vista com maiores detalhes no trabalho citado, conforme os objetivos colocados anteriormente na geração automática de croquis.

## ***2.9. Síntese da Situação Atual***

Apesar do grande número de sistemas CAPP implementados há, realmente, poucos aplicáveis na prática. Mesmo o PART, um sistema CAPP que recebeu injeção maciça de recursos e é reconhecido como o de maior sucesso no mundo acadêmico, tem hoje pouca aplicação real em indústrias (em 1996 foram reportados 12 usuários no mundo). Tal ausência de aplicação é relacionada ao enfoque de automação total e restrição do campo de atuação.

Aplicações com tecnologia híbrida, tais como o generativo interativo, tem se mostrado a solução que melhor se adapta às empresas, ou então a utilização de automatismo para determinadas situações, como o de peças paramétricas, tornam os sistemas CAPP aplicáveis tecnicamente.

### **3. Requisitos para o desenvolvimento de um módulo para geração automática de croquis em um sistema CAPP para peças paramétricas.**

Um sistema CAPP para peças paramétricas oferece grande velocidade na geração de planos de processos. No entanto, a tarefa de gerar os croquis de fabricação e de ilustração do processo pode se tornar uma operação relativamente lenta, causando um descompasso entre as funções de planejamento. Isto pode inviabilizar a aplicação de tal solução, pois uma de suas justificativas econômicas, está na maior produtividade de planejamento.

Os requisitos de um módulo para geração automática de croquis em um sistema CAPP para peças paramétricas são:

a) Alta precisão e velocidade na geração de croquis para os roteiros:

Com as novas tendências do mercado consumidor as necessidades por novos produtos tem se tornado uma realidade. Isto tem feito com que as indústrias tenham que produzir cada vez mais, e em lotes menores. O reflexo desta necessidade no chão de fábrica constitui-se no fato de que as velocidades de preparação das máquinas, troca de ferramental, documentação do processo, etc. tenham que ser feitos no menor espaço de tempo possível entre a especificação do produto (e pedido) e o início de produção. Neste ponto, a velocidade e, principalmente, a qualidade dos documentos de croquis tem uma importância significativa.

b) Integração entre sistema CAD e sistema CAPP:

Como os croquis estão ligados junto a uma operação, seria recomendável que os dois sistemas possuíssem uma integração sólida e consistente, favorecendo a velocidade dos sistemas e a preservação dos dados. Geralmente os sistemas CAPP paramétricos estão associados aos sistemas CAD paramétricos.

c) Trabalhar com features:

Os features são importantes elementos de engenharia e normalmente sofrem operações, daí sua importância para o planejamento de processo. Em se falando de peças paramétricas, os features podem ser agrupadores dos parâmetros, facilitando o entendimento destes. Como um sistema CAPP para peças paramétricas normalmente é baseado em features, logo, a geração do croquis de operação também o deverá.

## 4. Concepção do sistema

### 4.1. Método Adotado

A partir da necessidade de se gerar croquis em um sistema CAPP para peças parametrizadas, este trabalho busca abordar todo o desenvolvimento do módulo de geração de croquis automático para o sistema CAPP.

Como desenvolver um sistema CAPP não faz parte do escopo deste trabalho, restou então buscar uma solução que mais se aproximasse dos requisitos acima e implementar o módulo em questão. Dada a necessidade deste módulo no trabalho desenvolvido por Kerry (KERRY, 1997), e sua estrutura já contava com todos os recursos necessários para a implementação, adotou-se o sistema CAPPE.

Com a utilização do AutoCAD, é possível fazer a integração entre CAD e o CAPPE, permitindo a geração de documentos gráficos de forma integrada com os dados de um sistema CAPP.

Esta integração foi baseada em programação na linguagem Autolisp, que é a linguagem específica para programação interna do AutoCAD, e em um recurso disponível no Windows e seus aplicativos, o DDE (*Dynamic Data Exchange*).

O desenvolvimento dos programas em Autolisp pode ser dividido em duas partes: programa geral para gerenciamento dos dados e programas específicos para cada etapa do processo de fabricação da peça.

O programa de gerenciamento dos dados tem como função receber e tratar os dados enviados pelo sistema CAPP dentro do sistema CAD. Ele também é responsável pelas atribuições das variáveis dentro do sistema CAD.

Foram feitos diversos programas para a geração de croquis parametrizados de forma automática, conforme a necessidade de cada peça em determinada situação.

#### 4.2. Visão Geral do Sistema

Conforme mostrado na seção 2.8.1, o sistema CAPPE conta com uma estrutura bastante flexível, pois é montado em cima de um dicionário de variáveis e unidades. Isto permite grande facilidade na operação sob a forma paramétrica. Com recursos de exportação destas variáveis, o CAPPE possibilita integração com um sistema CAD e, assim transferir suas variáveis relevantes para um ambiente de desenho, conforme pode ser visto na figura 23.

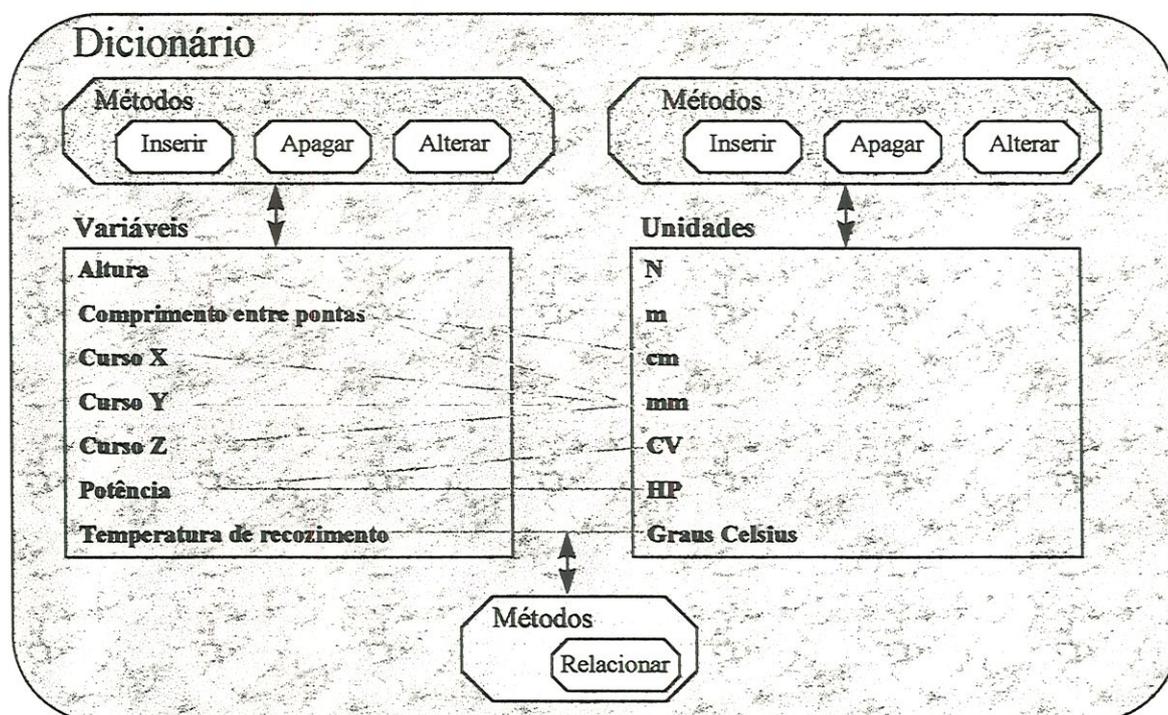


Figura 23 : Dicionário de variáveis do CAPPE (KERRY, 1997).

O sistema CAD adotado para a geração dos desenhos de croquis foi o AutoCAD R12 Windows. Esta ferramenta possui além das características de um sistema CAD normal, um interpretador LISP interno. Este interpretador permite ao usuário desenvolver programas externos e que devem ser executados dentro do AutoCAD.

A linguagem possui a maioria dos comandos tradicionais de uma linguagem normal, e permite, ainda, utilizar os comandos de geração e edição de entidades geométricas.

De posse dos parâmetros enviados pelo sistema CAPP é possível gerar um desenho de tal forma que as medidas sejam conforme os valores cadastrados no sistema CAPP. De um modo geral, esta estrutura pode ser observada na figura 24.

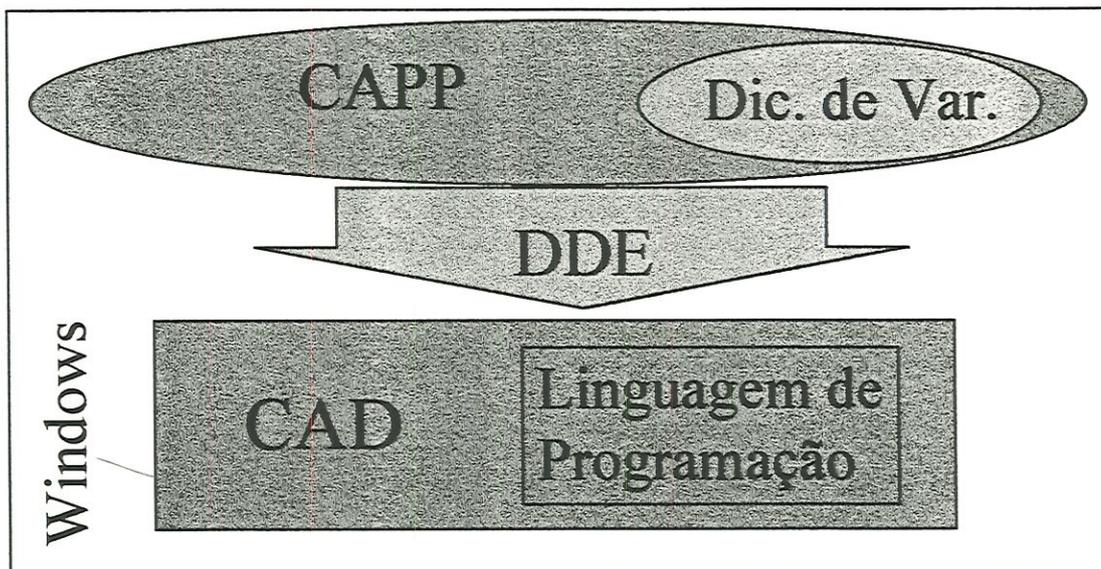


Figura 24: Visão geral do sistema.

Não caberá a este trabalho entrar em detalhes sobre a concepção do sistema CAPPE.

#### 4.3. Importação dos Parâmetros

Para que os parâmetros cadastrados no sistema CAPPE cheguem até o AutoCAD, adotou-se o recurso do DDE (*Dynamic Data Exchange* ou Troca Dinâmica de Dados). Este é um recurso disponível por alguns aplicativos que trabalham no sistema operacional Windows. Dois aplicativos que possuam características de ser servidor (aplicativo que envia) ou cliente (aplicativo que recebe) DDE, permitem que sejam feitas trocas de comando entre si, ou seja, um aplicativo que seja servidor DDE pode executar um comando de atribuição de variável em um aplicativo que seja cliente DDE.

Como o sistema CAPPE e o AutoCAD são aplicativos que já trabalham sobre o sistema operacional Windows e possuem a característica de serem servidor e cliente DDE, foi adotado este meio de se fazer a transferência dos dados do CAPPE para o AutoCAD. Isto evitou que fosse necessário a geração de arquivos temporários de transferência de dados.

#### ***4.4. Programação***

Conforme foi visto preliminarmente no item 4.1, o recurso de programação em lisp é uma ferramenta disponível dentro do AutoCAD. Chamado de AutoLISP, o interpretador é um dialeto do Lisp que possui todas as características desta linguagem acrescidas dos recursos de manipulação de entidades do AutoCAD.

O AutoLisp faz parte integrante do AutoCAD desde a versão 2.18 e vem permitindo aos usuários desenvolver implementações próprias para uma maior produtividade do AutoCAD.

Para a geração dos croquis de forma paramétrica, desenvolveu-se vários programas em AutoLisp, sendo que podem ser divididos em 3 grupos:

- Gerenciador de variáveis.
- Geradores de croquis por operação.
- Geradores de desenho de ferramenta.

##### **4.4.1. Gerenciador de Variáveis**

Este programa tem como função preparar o ambiente do AutoCAD para receber e manipular os dados enviados pelo CAPPE. Além desta tarefa, ele executa todas as funções comuns aos demais programas, tais como: colocação do formato, preenchimento de legendas, etc.

##### **4.4.2. Gerador de Croquis por Operação**

De posse dos parâmetros devidamente tratados, uma das variáveis que o CAPPE enviou é a que identifica o tipo da operação, ou seja, qual é a operação que está sendo executada. Através deste código, o AutoCAD seleciona um dos programas

desenvolvidos, de acordo com o código da operação, para desenhar o croqui da operação conforme os parâmetros proveniente do CAPPE.

#### 4.4.3. Gerador de Desenho de Ferramenta

Utilizando-se da mesma metodologia, também foi possível desenvolver programas em AutoLisp para desenhar dispositivos e ferramentas cadastradas no GRP do sistema CAPPE. Da mesma forma, os parâmetros são importados do CAPPE através do recurso de DDE e, para cada família de ferramenta, desenvolveu-se um programa em AutoLisp para a geração da ferramenta.

Os códigos fonte dos programas AutoLisp podem ser vistos no anexo 1.

#### ***4.5. Implementação do Sistema***

Para a que a implementação do sistema se dê segundo as especificações mostradas anteriormente, é necessário a utilização de ferramentas computacionais adequadas, que será mostrada a seguir.

##### **4.5.1. Seleção de Ferramentas Computacionais**

Na situação atual da tecnologia da informática os modernos micro-computadores do padrão IBM-PC/AT atingiram tal capacidade de velocidade, processamento e armazenamento, com um preços cada vez menores. Este fato provocou uma revolução nas indústrias, tornando um alavancador na implantação de sistemas computacionais e na desativação de sistemas de grande porte (Main Frame), comumente chamado de “Downsizing”.

Acompanhando isso, a Microsoft vem popularizando os seus sistemas operacionais Windows 95 e Windows NT, e com seu comportamento cada vez mais confiável, as empresas estão passando a adotar esta plataforma.

Com os argumentos citados, fica claro que o hardware e o sistema operacional a ser utilizado para este desenvolvimento será baseado em microcomputadores e sistemas operacionais Windows.

Para o desenvolvimento em questão, a linguagem a ser utilizada deve:

- ◆ Ser baseada em um sistema CAD comercial e oferecer uma interface simples e produtiva para geração de interface com o usuário.
- ◆ Oferecer integração de diversas maneiras para troca de dados.
- ◆ Oferecer serviços básicos do ambiente Windows com pouca codificação: impressão, OLE (*Object Linking and Embedding*- Ligação e Embutimento de Objetos), DDE (*Dynamic Data Exchange*- Troca Direta de Dados entre aplicativos), *Drag-and-Drop* (Arrastar e Soltar).
- ◆ Suportar integração com outras linguagens.

Atendendo às características da página anterior, podemos encontrar alguns sistemas CAD como possíveis candidatos para a avaliação: AutoCAD, Mechanical Desktop, Microstation, Unacad e PTC.

Segue abaixo a tabela de avaliação destes sistemas:

	AutoCAD	MDT	Microstation	Unacad	PTC
S.O. Win	sim	sim	sim	sim	sim
Plataforma	PC	PC	PC	PC	WS
Paramétrico	não	sim	não	sim	sim
Ling. Prog.	Sim	sim	sim	sim	sim
Custo	3.5K	5.5K	5.5K	5.5K	40K

Tabela 2: Comparação entre as linguagens disponíveis para desenvolvimento.

Analisando a tabela comparativa acima, o sistema CAD adotado foi o AutoCAD R12 para windows, pois oferece:

- ⇒ Atende aos requisitos listados anteriormente.
- ⇒ Menor custo.
- ⇒ Compatível com a tecnologia DDE.
- ⇒ Linguagem interna de programação baseada em AutoLISP, C e Visual Basic.
- ⇒ Vasta literatura técnica disponível no mercado.
- ⇒ Mais de 5 milhões de cópias espalhadas pelo mundo.
- ⇒ Grande suporte e apoio por parte da rede de vendas.

#### 4.5.2. Implementação dos Programas

De posse de todos os recursos necessários para a implementação do sistema, tais como hardware e softwares, foi dado início à etapa de desenvolvimento dos programas em AutoLisp. Tendo em vista uma aplicação prática deste trabalho, toda implementação foi focada diretamente na implantação do sistema, em que o desenvolvimento foi feito de forma quase que simultânea com os testes e novos requisitos do sistema.

Os resultados obtidos da implementação dos programas desenvolvidos em AutoLisp podem ser verificados através de telas e planos de processos que serão vistos nas figuras a seguir.

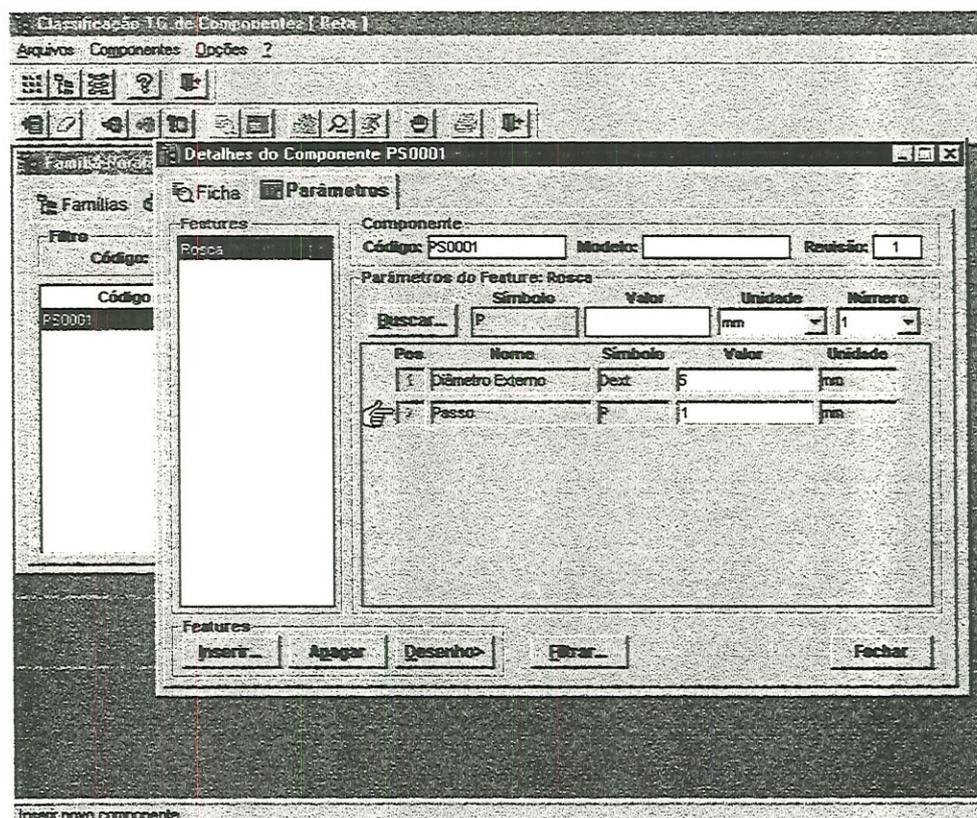


Figura 25: Preenchendo os parâmetros de um feature.

Na figura 25 pode-se verificar os parâmetros de um determinado componente apresentado sob a forma de ficha, e que são armazenados pelo sistema CAPPE. Ao se clicar no botão 'Desenho', o AutoCAD é executado e os devidos parâmetros são enviados do sistema CAPPE para o AutoCAD através de comandos DDE.

Na medida em que o AutoCAD é executado ele recebe a informação de qual família de componente a ficha pertence, e um dos programas LISP é acionado para produzir o desenho conforme os parâmetros enviados.

A figura 26 apresenta o AutoCAD e o desenho já concluído, conforme os parâmetros enviados pelo sistema CAPPE.

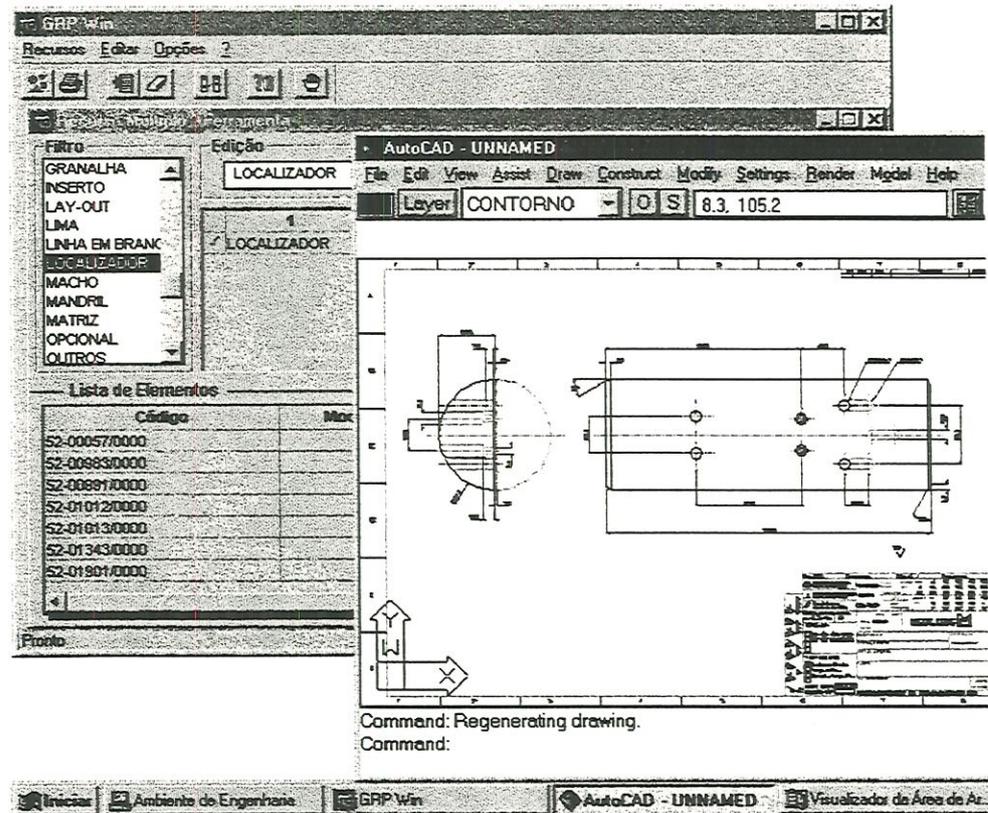


Figura 26: Desenho CAD executado automaticamente a partir do GRP.

## **5. Aplicação Prática**

A seguir, será apresentada a aplicação prática deste trabalho, que, atualmente, se encontra implantado e em operação em uma indústria de grande porte do setor metalúrgico. A aplicação prática do sistema descrito anteriormente faz parte de uma continuidade do trabalho apresentado por Kerry (KERRY, 1997).

### ***5.1. Descrição do Caso***

A empresa onde foi feita a implantação situada-se na região do grande ABC paulista. Com um projeto de implantação de um novo sistema de fabricação de bronzinas baseado em células, denominado CAP (Célula de Alta Produtividade), e buscando a garantia da qualidade associada à uma elevada produtividade, sem comprometer a consistência das informações, foi implantado o sistema CAPPE para peças paramétricas, juntamente com o módulo de detalhamento automático de croquis.

Após levantamento efetuado na empresa, foi detectado que a bronzina é um produto que pode ser enquadrado como parametrizável. Cada bronzina contém cerca de 10 features, contendo cada feature em torno de 5 parâmetros. Ou seja, com 50 parâmetros é possível descrever os aspectos técnicos e geométricos da bronzina. Na figura 27 estão sendo mostrados exemplos de alguns features.

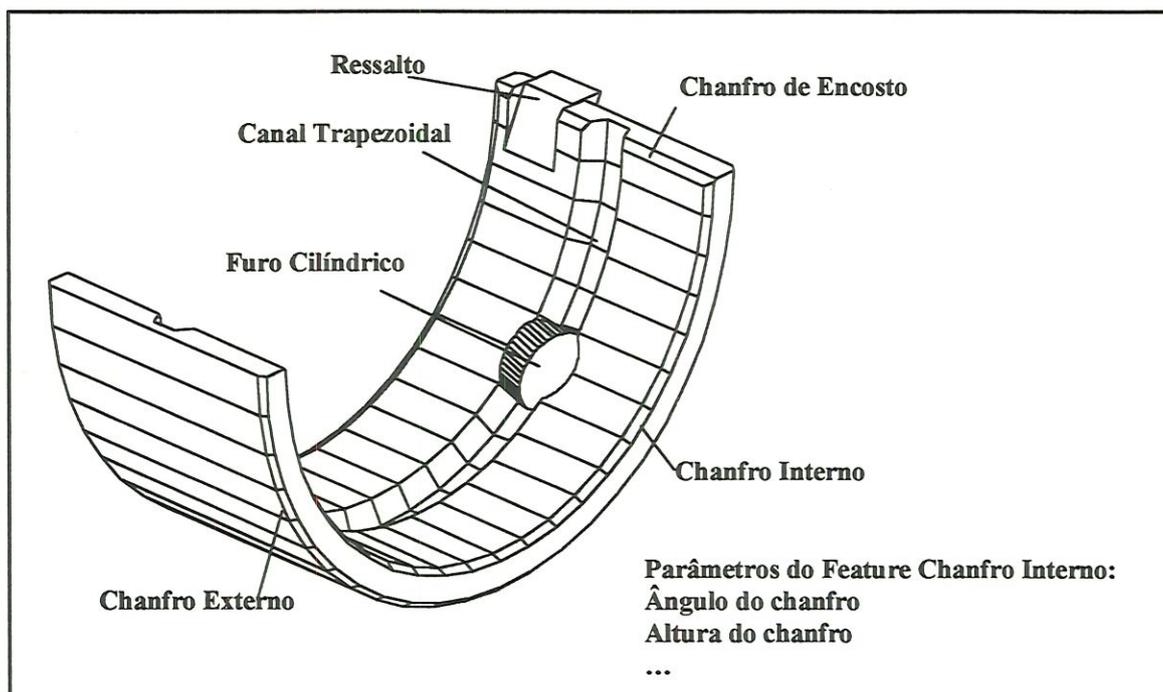


Figura 27: Exemplo de uma bronzina típica.

Uma vez que o produto pode ser parametrizável e descrito através de features, fica praticamente atendido quanto a geração automática dos desenhos de produção das bronzinas. Uma vez que os dados de produtos foram parametrizados, o desenho de produção da bronzina deve ser gerado de maneira automática a partir dos dados armazenados para cada bronzina.

Uma das funções críticas no planejamento do processo é o desenvolvimento de ferramentas e dispositivos de usinagem e fixação. No caso das bronzinas são necessários o cálculo de cerca de 70 tipos de ferramentas diferentes. Portanto, o sistema CAPP deve ler os dados da bronzinas, que já estão disponíveis em forma de *features*, e calcular todas as ferramentas necessárias para fabricar uma bronzina específica.

Para o plano de processo, os requisitos deveriam estar direcionados para as seguintes especificações:

⇒ Garantir grande velocidade para geração das informações. A célula CAP trabalha com previsões de quatro trocas de produtos por dia. Ou seja, terão em torno de quatro preparações de máquinas por dia para peças diferentes.

⇒ Manter particularidades de fabricação e qualidade buscando atender aos requisitos de cada cliente. Os critérios de qualidade (especificação de inspeção) e fabricação se alteram a cada troca de produto na célula.

O volume de informações que antecede uma ordem de fabricação de uma bronzina é bastante elevado. A célula CAP tem sua produtividade afetada caso as informações dos planos de processos não cheguem ao piso da fábrica rapidamente e sempre confiáveis.

A empresa pesquisou, sem sucesso, alternativas convencionais, inclusive as utilizadas em suas outras plantas fabris.

### ***5.2. Solução Proposta: Automação da Geração da Documentação***

O uso de um CAPP para peças parametrizadas tem grande aplicação no ambiente fabril da empresa. O CAPPE foi integralmente aplicado. Havia, ainda, um problema a ser solucionado: de como automatizar a geração de documentação.

Para atender a alta velocidade com que os produtos são alterados nas células de produção, os documentos de processos devem ser gerados, também, com grande velocidade, acuracidade e clareza.

Dentre os detalhamentos necessários para o chão de fábrica, os que envolvem detalhamentos gráficos de croquis é que tomam grande parte do tempo do processista, pois devem ser desenhados manualmente para cada tipo de produto.

A utilização de um sistema CAPP integrado com um sistema CAD pode proporcionar ao processista meios mais fáceis para a geração de croquis.

Com a utilização dos sistemas CAD atuais, que permitem programação interna e desenvolvimento de modelos paramétricos, o desenvolvimento de um sistema para geração de croquis automático passa a ser facilitado.

#### **Etapas**

a) Levantamento das operações com croquis a serem automatizados: foi feita uma pesquisa para verificar quais operações necessitariam de detalhamento gráfico

automatizado, bem como a definição e padronização da forma de apresentação dos croquis de operação e de inspeção.

b) Levantamento dos Features e devidos parâmetros: esta etapa foi realizada de forma conjunta com o cadastramento dos produtos dentro do sistema CAPPE, e trata de identificar os diversos features existentes na bronzina, bem como determinar os seus parâmetros.

c) Programação Lisp: desenvolver as rotinas na linguagem Lisp para os croquis de operação, utilizando os features e parâmetros levantados nas duas etapas anteriores.

d) Implementação e testes: aplicação dos programas desenvolvidos na etapa acima para teste de desempenho e conformidade junto aos usuários.

Um exemplo de uma rotina Lisp pode ser visto no Anexo 1.

### ***5.3. Exemplo de Aplicação***

A seguir, serão mostrados os exemplos de aplicação do detalhamento de ferramental e do detalhamento de operação. Por meio de telas obtidas do sistema será mostrada uma ferramenta gerada através do cálculo de fórmulas do sistema CAPPE, e o resultado de um plano de processo com um croqui gerado automaticamente a partir de uma bronzina previamente cadastrada no sistema CAPPE.

#### **5.3.1. Detalhamento de Ferramental**

A Figura 28 ilustra a tela do sistema CAPPE, com os dados cadastrais de uma ferramenta/dispositivo, gerados através de cálculos automatizados.

Com os valores calculados pelo sistema CAPPE para o desenvolvimento de uma nova ferramenta, ao se clicar no botão 'EDITAR' o AutoCAD irá utilizar o programa Lisp, desenvolvido especialmente para a família desta ferramenta, e gerar um novo elemento conforme os valores das variáveis encontradas pelo CAPPE.

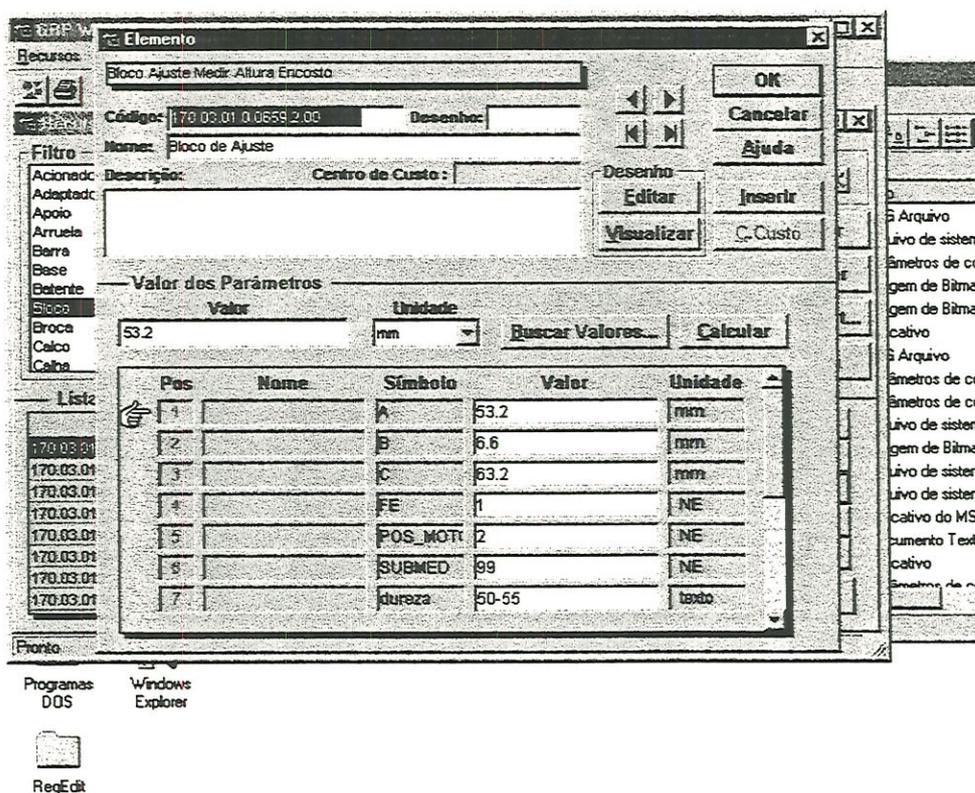


Figura 28: Parâmetros de uma ferramenta.

Uma vez que o AutoCAD é acionado para realizar a construção do desenho da nova ferramenta, todos os parâmetros são enviados para o AutoCAD por meio do canal DDE. O programa Lisp manipula os dados enviados pelo CAPPE e gera o desenho da ferramenta automaticamente, conforme pode ser visto na figura 29.

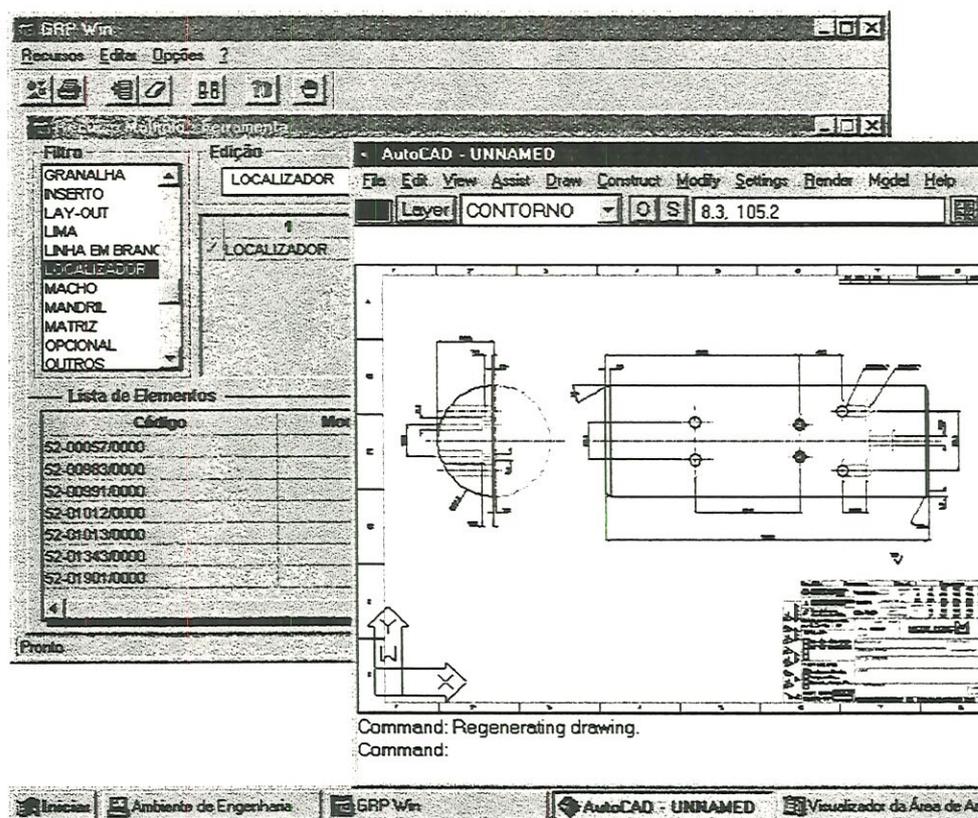


Figura 29: Desenho de uma ferramenta executado automaticamente no CAD.

### 5.3.2. Detalhando o Plano de Processo

A figura 30 mostra as operações envolvidas para a fabricação de uma bronzina, bem como os diferentes tipos de detalhamento gráfico e não gráfico que podem estar ligados a uma operação. Pressionando o botão 'Editar...' o sistema aciona o sistema CAD e apresenta o documento selecionado no caso de um detalhamento do tipo gráfico.

Se o documento for do tipo não gráfico, ao pressionar o botão 'Editar...', o editor de detalhamento é acionado, possibilitando inserir sub-operações.

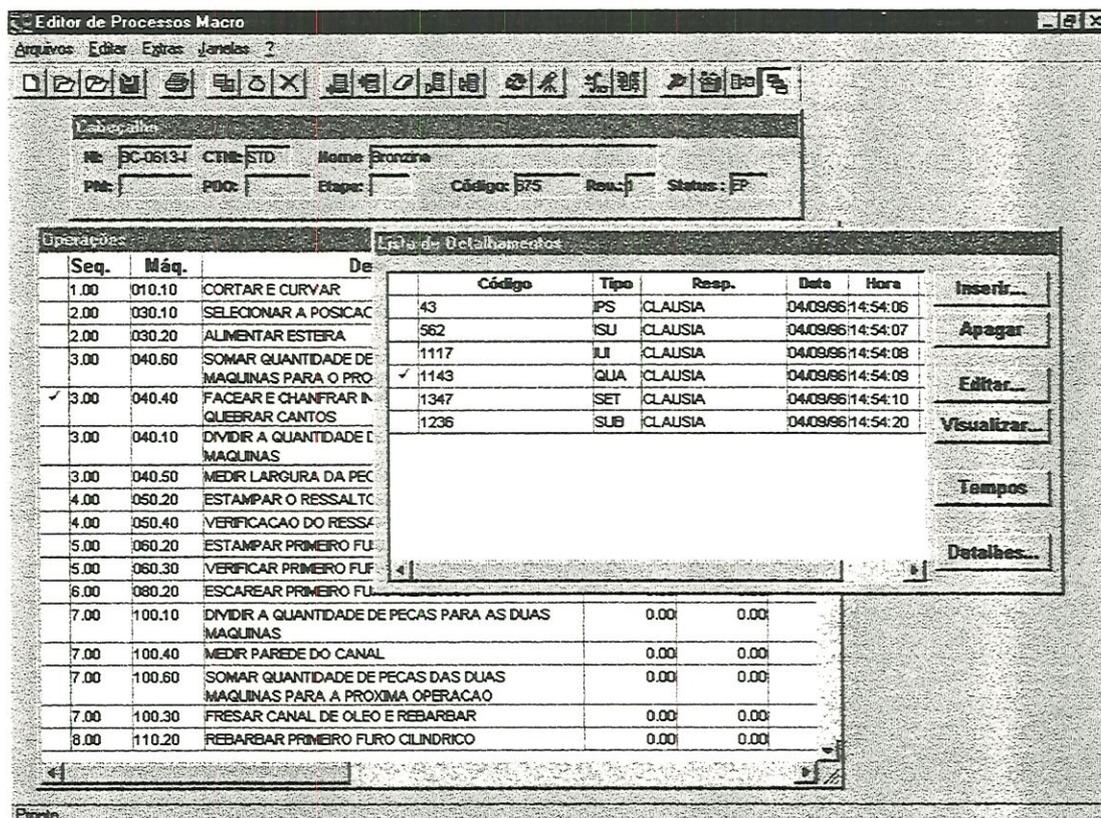


Figura 30: Detalhamentos ligados a uma operação

Na figura 31, é mostrado o editor de sub-operações de qualidade, que serão utilizadas na geração do detalhamento gráfico da operação.

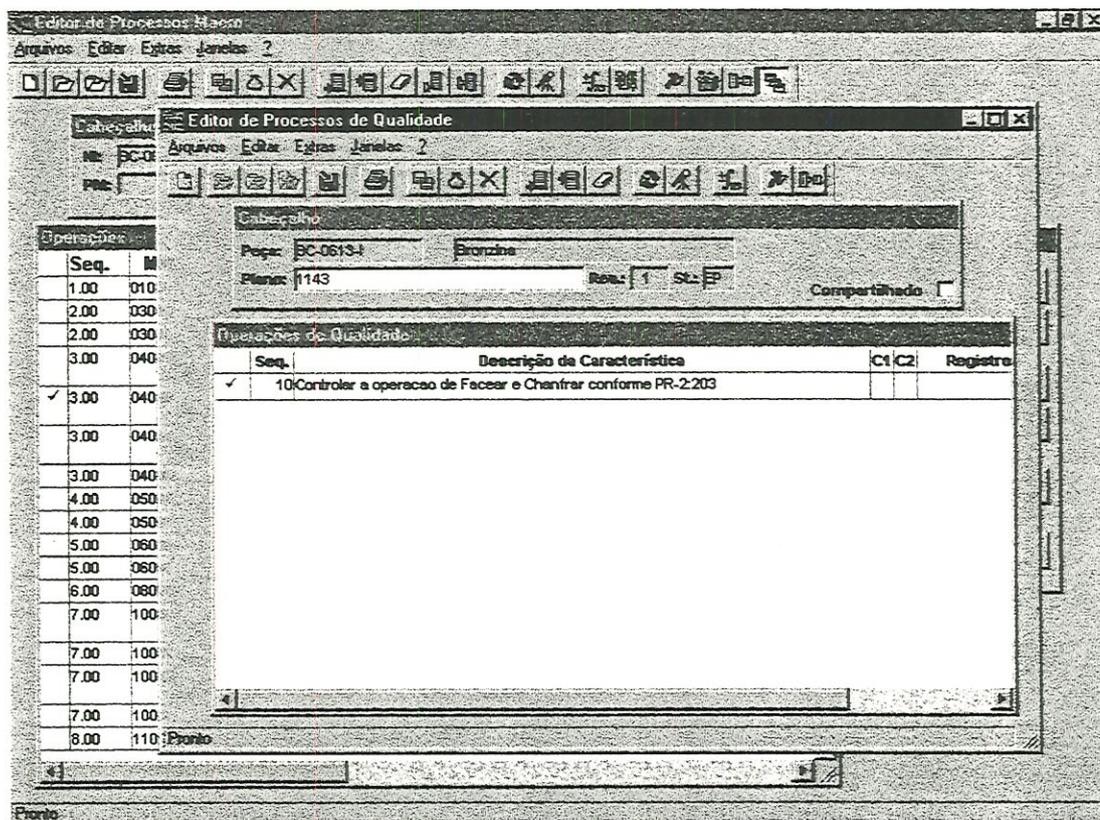


Figura 31: Detalhamento tipo plano de qualidade de uma operação.

A figura a seguir mostra a edição de um detalhamento gráfico através do AutoCAD. Este detalhamento é gerado automaticamente a partir dos parâmetros da operação, dados gerais e dados de produto. No lado esquerdo da figura é mostrado o croqui de operação de usinagem, e no lado direito, o croqui de inspeção.

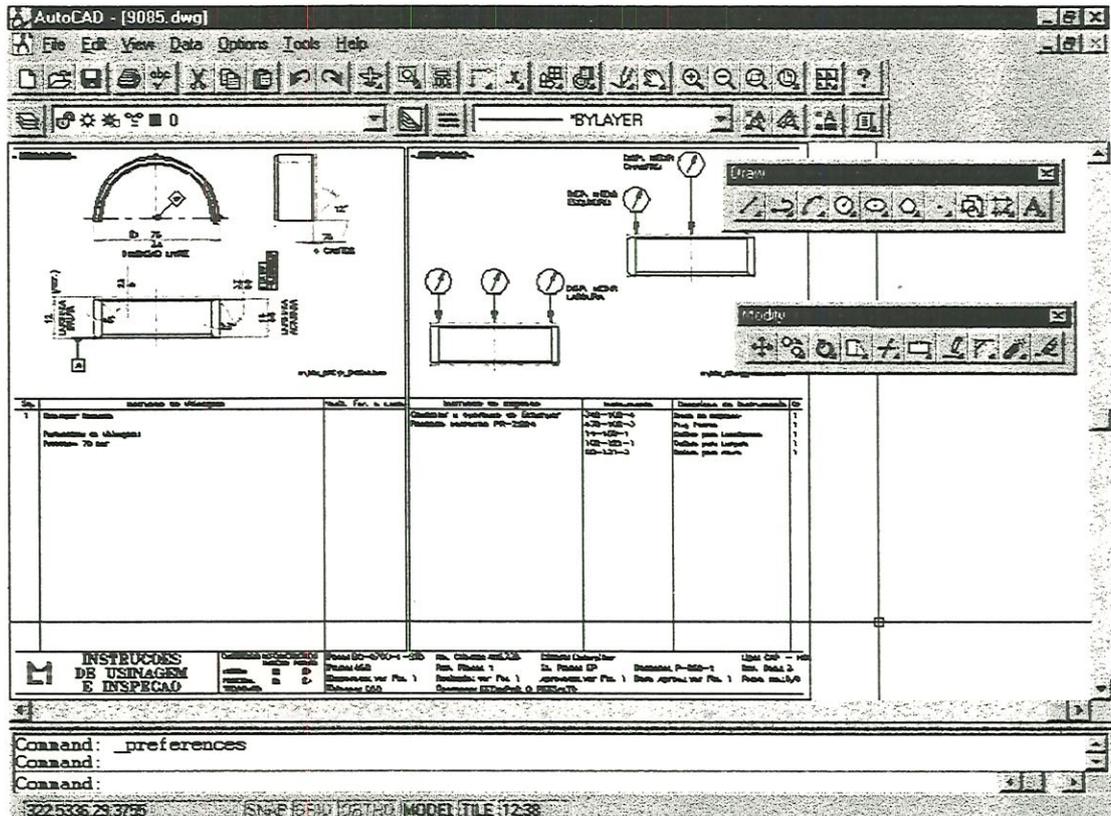


Figura 33: Detalhamento gráfico de uma operação.

#### 5.4. Resultados obtidos

Em conjunto com o trabalho desenvolvido por Kerry (KERRY, 1997) e no emprego deste trabalho, foi realizado um levantamento junto aos usuários, e verificou-se que o tempo de geração de um plano de processo do modo tradicional, que chegava a 30 dias, passou a ser de 4 horas.

Outro fator que também foi observado na aplicação destes sistemas foi na redução da quantidade do ferramental repetido. A documentação gerada pelo sistema teve um incremento na qualidade, grau de detalhamento e precisão em relação à gerada pelo método tradicional.

## 6. Conclusões e trabalhos futuros

A implantação de um sistema CAPP em um departamento de engenharia tem se tornado uma consequência da informatização. Outros setores da engenharia, tais como projeto e planejamento da produção já utilizam ferramentas computacionais tais com CAD e MRP.

As aplicabilidades destes sistemas com automatismo têm-se mostrado eficientes para aplicações específicas e restritas a alguns segmentos das indústrias. Com o emprego de um sistema híbrido, onde o processista emprega a sua capacidade de criação, e o computador é utilizado para realizar as tarefas repetitivas, é possível encontrar uma aplicação prática e utilizável para grande parte das empresas destes sistemas.

Este trabalho buscou utilizar de ferramentas flexíveis, tal como o CAPPE, configurando-o para atender ao planejamento de peças paramétricas, e com o auxílio do desenvolvimento de uma série de programa específicos, conseguiu-se obter um sistema aplicável tecnicamente em uma indústria brasileira.

Com ganhos consideráveis em tempo, qualidade, e confiabilidade dos seus planos de processo, esta indústria se mostrou bastante satisfeita com a utilização do sistema, e tem conseguido atender seus clientes de uma maneira mais eficiente.

Na ocasião dos estudos e levantamentos das ferramentas computacionais a serem utilizadas, algumas delas não se encontravam “maduras” o suficiente para a aplicação no projeto. Isto levou a ter que ser encontradas algumas alternativas para o desenvolvimento em questão.

A utilização de programação na linguagem Lisp, por exemplo, se mostrou lenta e pobre na quantidade de comandos, dificultando a geração dos aplicativos e comprometendo o desempenho do sistema. Sendo uma linguagem interpretada, o AutoLisp juntamente com o AutoCAD, vem se tornando obsoleto ao longo dos anos.

Agora o AutoCAD, na sua última versão, já conta com outras possibilidades de programação, tais como: linguagem C, Visual Basic, e a mais recente ARX, que não estavam disponíveis na época do início deste trabalho. A utilização de linguagens mais novas possibilitam ao usuário e ao desenvolvedor maior agilidade e abre um horizonte maior de aplicações.

Não faz muito tempo que os modeladores sólidos 3D eram programas pesados e que se limitavam às aplicações de engenharia de simulações, e que somente as grandes empresas podiam contar com equipamentos capazes de rodá-los. Hoje, com o avanço dos softwares e o desenvolvimento dos computadores tipo PC, tem-se modeladores sólidos paramétricos ao alcance de qualquer empresa. Tomando por base o mesmo AutoCAD utilizado para este trabalho, hoje já existe o AutoCAD Mechanical Desktop, que possibilita a construção de modelos sólidos paramétricos em micros do tipo PC, largamente utilizado pelas empresas.

Durante a escolha do sistema CAD adotado para este desenvolvimento, o Mechanical Desktop ainda era um produto que estava em início de uso, e contava com um pequeno número de base instalada. Os testes realizados preliminarmente demonstraram muita instabilidade desta ferramenta para um aplicação deste porte, forçando a escolha por desenvolver os programa de forma paramétrica na linguagem do AutoCAD.

Ao longo do desenvolvimento deste trabalho, os sistemas e as linguagens foram evoluindo constantemente, que até ao término deste, já permitiam novas alternativas deste trabalho.

O mais importante, é que o resultado do estudo deste trabalho, juntamente com os aplicativos e adaptações dos sistemas desenvolvidos, estão implantados em uma empresa nacional produzindo seus benefícios.

Para o futuro planeja-se:

- Utilização de um sistema CAD paramétrico para modelamento das ferramentas, evitando a necessidade da utilização de programas específicos.
- Integração CAPP e CAD de uma forma mais envolvente e com uma estabilidade mais confiável, baseada em OLE.

### **Referências Bibliográficas**

**AGOSTINHO, O.L.; RODRIGUES, A.C.S.; LIRANI, J.** Princípios de engenharia de fabricação mecânica: processos de fabricação. v. 01 EESC, São Carlos, 1978.

**ALLEN, D.K.** Generative process planning using the DCLASS information system, monograph no.14, CAM software research laboratory, Brigham Young University, Inglaterra, 1979.

**ALTING, L.; ZHANG,H.** Computer Aided Process Planning: The state of the art survey. Int. Jornal Prod. Res., vol.27, n4 p. 553-585, Dinamarca, 1989.

**ANACLETO, R. C.** Aumento da produtividade dos sistemas CAD através da utilização de parametrizados, Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) EESC-USP, São Carlos, 1991.

**ATKINSON, A. O.; LINDBERG, J.R.** CAPP enables concurrent design and manufacturability analysis, p. 283-291, 1991.

**CAM-I-** Functional requirements for a feature based modelling System, CAM-I, Arlington, EUA, 1989.

**CHANG, T.-C.** Geometric Reasoning- The key to integrated process planning, Proceedings of the 22nd CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Holanda, 1990.

**CHUNG, J. C; COOK, R.L.; PATEL, D.;SIMMONS, M.K.** Feature based geometry construction for geometric reasoning, ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, 1988.

**CUTCOSKY, M.; TENEMBAUM, J.; MILLER, D.** Feature Based Design, ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, 1988.

**EMMERIK, M.J.G.M.** Interactive design of parametrized 3D models by direct manipulation, Phd. Thesis, Delft University of Technology, 1990.

**FERREIRA, P.M.; KOCHAR, B.; LIU, C.R.; CHANDRU, V.** AIFIX: An expert system approach to fixture design. Computer-Aided/Intelligent Process Planning. New York: The American Society of Mechanical Engineers, p. 73-82, p. 73-82, 1985.

**FREIXO, O.M.** Modelagem de termoplásticos pelo processo de injeção e a utilização de componentes parametrizados no projeto de moldes assistido por computador, Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) EESC-USP, São Carlos, 1991.

**HALEVI, G.; WEILL, R.D.** Principles of Process Planning: a logical approach, Editora Chapman & Hall, Inglaterra, 1995.

**HOFSTADTER, D.R.** Metamagical Themas, Bantam Books, New York, 1985.

**HOUTEN, F.J.A.M.** PART: A Computer Aided Process Planning System, Phd. Thesis, Universidade de Twente, Holanda, 1991.

**HUMMEL, K. E.** The role of features in computer aided process planning, Proceedings of the CAM-I features symposium, 1990.

**KERRY Jr, H.T.** Planejamento de processo para peças paramétricas, Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) EESC-USP, São Carlos, 1997.

**LI, J.C., HAN, C.; HAM, I.** CORE-CAPP: a company-oriented semi-generative computer aided process planning system, Proceedings of the 19th CIR international seminar on manufacturing systems, Pennsylvania State University, 1987.

**MACHADO, A.** Comando numérico aplicado às máquinas ferramenta, Ícone Editora, 1986.

**PRACK, K.W.**. Systemkonzept zur standardisierten rechnerunterstützten Arbeitsplanung, Phd. Thesis, IFW, Universidade de Hannover, Alemanha, 1984.

**PROENÇA, A.**. O cronômetro em crise: um estudo comparativo do controle do tempo de trabalho em máquina-ferramenta convencional e máquina-ferramenta a controle numérico, Rio de Janeiro: Universidade Federal, 205p. Dissertação (Mestre em Engenharia de Produção) UFRJ, 1987.

**REQUICHA, A.A.G.**. Form Features for mechanical design and manufacturing, ASME Computers in Engineering Conference, Anaheim, EUA, 1989.

**ROZENFELD, H.; MODOLO, D.L.**. Sistema modular de planejamento de processo (CAPP) visando padronização e maior velocidade ao planejamento do processos. COBEM. p. 591-593, São Paulo, 1991.

**ROZENFELD, H.; RODRIGUES, S.R.; OLIVEIRA, J.F.G.**. AI based CAPP methods integrated into a CAPP environment. MATADOR CONFERENCE, p.53-63, Manchester, 1992.

**ROZENFELD, H.**. Implantação distribuída de processo assistido pós computador na manufatura integrad., São Carlos, 1992. 152p. Tese (Livre Docência) - Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo.

**ROZENFELD, H.**. Sistema CAPP: seus conceitos, casos práticos e desenvolvimentos, Revista Máquinas e Metais, pp. 124 - 142, São Paulo, março de 1994.

**SHAH, J.J.** et al, Current status of features technology, CAM-I report R-88-GM-04, 1988.

**SHAH, J.J.; ROGERS, M.T.**. Functional requirements and conceptual design of feature based modelling systems, Computer Aided Engineering Journal, pp. 9-15, 1988.

**SHAH, J.J.; ROGERS, M.T.** Feature based modelling shell: design and implementation, in Proceedings of the ASME Computers in Engineering conference, San Francisco, 1988.

**SHAH, J.J.** Philosophical development of form feature concept, in Proceedings of the CAM-I features symposium, pp. 113-128, 1990.

**TEMPELHOF, K.H.** A system of computer aided process planning for machine parts, SME technical paper, series MS-79-154, 1979.

**TULKOFF, J.** Lockheed's GENPLAN, 18th Numerical control society technical conference, Dallas, pp. 417-421, 1981.

**TURNER, G.P., ANDERSON, D.C.** An object oriented approach to interactive feature based design for quick turn around manufacturing, ASME Computers in Engineering Conference, San Francisco, 1988.

**VIEIRA NETO JR., A.** Cálculo de custo de fabricação integrado ao planejamento de operações. Dissertação (Mestre em Engenharia Mecânica) EESC-USP, São Carlos, 1992.

**WADZ, O.R.** Now tolerance charts by computers, 1973.

**WANG, H.-P.; LI, J.** Computer Aided Process Planning in: Advances in Industrial Engineering, 13, Elsevier Science Publishers, Holanda, 1991.

### **Bibliografia Adicional**

**ANDERSON, J.A.** Neural Models with cognitive implications. Em: Basic Processes in Reading Perception and Comprehension. Editora D. LaBerge e S. J. Samuels, New Jersey, EUA, 1977.

**BOEHS, L.** Projeto e implantação de um sistema computadorizado de banco de dados de usinagem (CINFUS). Tese (Doutor em Engenharia Mecânica) UFSC, 1988.

**BRAID, I.C., LANG, C.A.** Computer Aided Design of mechanical components with volume building bricks, in Computer Languages for Numerical Control, Editora J. Hatvany, Holanda, 1973.

**BRAID, I.C.** Notes on a Geometric modeller, CAD Group Document No. 101, Computer Laboratory, Cambridge, 1979.

**CHIYOKURA, H.** Solid Modelling with Designbase, Editora Addison-Wesley, 1988.

**CIMTELLIGENCE.** Home page em [www.cimtelligence.com](http://www.cimtelligence.com), Estados Unidos da América, 1997

**CIMX.** Home page em [www.cimx.com](http://www.cimx.com), Estados Unidos da América, 1997.

**DARBYSHIRE, I.L., DAVIES, B.J.** EXCAPP: an expert system's approach to recursive process planning, Proceedings of the 16th CIRP International Seminar on Manufacturing Systems, Tokyo, 1984.

**DESCOTE, Y., LATOMBE, J.C.** GARI: a problem solver that plans to machine mechanical parts, Proceedings of IJCAI-7, 766-772, 1981.

**EASTMAN, C.; HENRION, M.** GLIDE: a language for design information systems, Proceedings of SIGGRAPH'77, vol. 11 pp. 24-33, 1977.

**EVERSHEIM, W.; KONIG, W.** Computer aided determination and optimization of cutting data and cutting time, p.01-08, 1978.

**FEIGENBAUM, E.A.** The Art of Artificial Intelligence: I. Themes and case studies of knowledge engineering, Proceedings of IJCAI 6, Tokyo, 1977.

**GIRONDI, A. C. ; FERREIRA, A. C. ; BOCHS, L.** Determinações automáticas de condições de usinagem na programação APT de máquinas NC. Revista MÁQUINAS E METAIS, p.134-138,1988.

**GIUSTI, F., SANTOCHI, M., DINI, G.** COATS: a n expert module for optimal tool selection, Annals of the CIRP, vol 38/1, 1996.

**HOSAKA, M.; KIMURA, F.; KAKISHITA, N. A.** Unified method for processing polyhedra, Information processing, Holanda, 1974.

**HUMMEL, K.E., BROOKS, S.L.** Symbolic representation of manufacturing features for an automated process planning system, ASME winter annual meeting, Anaheim, EUA, 1986.

**ISO82-** ISO 6983. Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems, 14p, 1982.

**ISO88a-** ISO 6983. Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 2: Coding and maintenance of preparatory functions G and universal miscellaneous functions M, 9p, 1988.

**ISO88b-** ISO 6983 . Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 3: Coding of miscellaneous functions M (classes 1 to 9), 17p, 1988.

**KIMURA, F.** GEOMAPIII: Designing solids with free form surfaces, IEEE Computer Graphics and Applications, pp 4, 6, 58-72, 1984.

**KRUTH J. P., VAN ZEIR G., DETAND J.** An interactive CAPP kernel based on a blackboard system architecture, Proceedings of the 16th International ASME-Design Engineering Technical Conferences and Computers in Engineering Conference, CD-ROM, Irvine, California, 1996.

**MATSUSHIMA, K.; OKADA, N.; SATA, T.** The integration of CAD and CAM by application of artificial intelligence techniques. Annals of the CIRP, vol 31/1, 1992.

**NAU, D.S.; CHANG, T.C.** Prospects for process selection using AI, Computers in Industry, vol 4, 1983.

**NAU, D.; GRAY, M.** SIPS: an application of hierarchical knowledge clustering to process planning, ASME winter annual meeting, Anaheim, EUA, 1986.

**OKINO, N.; KAKAZU, Y. KUBO.** TIPS-1: technical information processing system for Computer Aided Design, drawing and manufacturing, in Computer Languages for Numerical Control, Editora J. Hatvany, Holanda, 1973.

**SHAH, J.J.** Feature transformations between application specific feature spaces, CAE journal, 5, n.6, 1989,

**SMITH, R.** 1996 Jolt & Productivity Awards, artigo publicado na revista Software Development, pp. 32-41, junho, 1997.

**SPUR, G. GAUSEMEIR, J.** Processing of workpiece information for production engineering drawing, Proceedings of the 16th international Machine Tool Design and Research Conference, pp. 19-75, Manchester, 1975

**VALVO, E.L.; PIACENTINI, M.; RUISI, V.F.** Computer aided blank layout optimum design. CIRP INTERNATIONAL SEMINAR ON MANUFACTURING SYSTEMS, 24. p.183-188 Copenhagen, 1992.

**VAN ZEIR G., KRUTH J. P., DETAND J.** A Taxonomy for Interactive and blackboard based CAPP, Proceedings of the 2nd International Conference on Manufacturing Automation (ICMA'97), vol. 1, pp. 188-195, Hong Kong University, Hong Kong, 1997.

**WANG, H.-P., WYSK, R.A.** An expert system for machining data selection, Computers in industrial engineering, pp. 99-107, 1986.

## **Anexo 1: Exemplo de um programa Lisp**

# EXEMPLO DE UM PROGRAMA PARA GERAÇÃO DE UMA FOLHA DE CROQUI

## OPERAÇÃO: CORTAR E CURVAR

```
(defun croqui()

  (if(/= tipofolha "TUI")
    (quit)
  );endif

  (setq escala 1.0)

  (load (strcat lisppath "/" "br"))
  (br)

  ;POSICIONAMENTO

  (setq p1 (list 3.7 117.0))
  (setq p2 (list 145.0 202.0))

  (setq x1 (car p1))
  (setq y1 (cadr p1))
  (setq x2 (car p2))
  (setq y2 (cadr p2))

  (setq esp 40.0)

  (setq xnec (+ esp de esp largura_acabada esp))
  (setq ynec (+ esp largura_acabada esp (/ de 2) esp))

  (setq xdisp (- x2 x1))
  (setq ydisp (- y2 y1))

  (setq escala (min (/ xdisp xnec) (/ ydisp ynec)))

  (br)

  (command "units""2""1""1""0""")
  (command setvar "DIMLFAC" (/ 1 escala)) ;Escala de dimensionamento linear
  (command setvar "DIMSCALE" 1.0) ;Dim Features scale
  (command setvar "DIMTXT" "2.0") ;Altura do texto
  (command setvar "DIMTFAC" "1.0") ;Altura da tolerancia
  (command setvar "DIMASZ" "2.5") ;Tamanho da seta
  (command setvar "DIMITAD" "1") ;Centrado
  (command setvar "DIMEXE" "1") ;Extension above line
  (command setvar "DIMEXO" "1") ;Feature Offset
  (command setvar "DIMITAD" "1") ;Text above
  (command setvar "DIMITIX" "0") ;Force text inside
  (command setvar "DIMTOH" "0") ;Text outside is horizontal
  (command setvar "DIMTIH" "0") ;Text inside is horizontal
```

```
(command setvar "DIMCLRD" "2") ;Cor da linha de cota = amarelo
(command setvar "DIMCLRE" "2") ;Cor da linha de exte = amarelo
(command setvar "LTSCALE" "3") ;Escala da linha
```

```
(command "setvar""dimpost"".")
```

```
(setq posx (+ x1 (* 30.0 escala) (/ de 2)))
(setq posy (+ y1 (* 110.0 escala) largura_acabada))
```

```
(planta1 posx posy)
```

```
(command "dimtp""0.0")
(command "dimtm"(rtos (- maxdlac mindlac)))
(command "dimlim"1)
(command "dim1" "hor"
  (list (- posx (/ de 2)) (- posy e))
  (list (+ posx (/ de 2)) (- posy e))
  (list (+ posx (/ de 2)) (- posy e 10))
  ""
)
```

```
(command "explode""last")
(command "text" (list (- posx (* 65.0 escala)) (- posy e 10 4)) "2.0" "0" "DIMENSAO LIVRE APOS
CURVAR")
(command "dimlim"0)
```

```
;Desenhando Vista Sup
```

```
(setq posx (+ x1 (* 30.0 escala)))
(setq posy (+ y1 (* 10.0 escala) largura_acabada))
(command "line" (list posx posy)
  (list posx (+ posy (* blk1 escala)))
  (list (+ posx (* blkc escala)) (+ posy (* blk1 escala)))
  (list (+ posx (* blkc escala)) posy)
  "c")
)
```

```
(command "dim1" "hor"
  (list posx posy)
  (list (+ posx (* blkc escala)) posy)
  (list (+ posx (* blkc escala)) (- posy 10))
  (rtos blkc)
)
```

```
(command "explode""last")
(command "dim1" "leader"
  (list posx (+ posy (* blk1 escala 0.5)))
  (list (- posx 5) (+ posy (* blk1 escala 0.5)))
  ""
  "\"B\"")
)
```

```
(command "dim1" "leader"
  (list (+ posx (* blkc escala)) (+ posy (* blk1 escala 0.5)))
  (list (+ posx (* blkc escala) 5) (+ posy (* blk1 escala 0.5)))
  ""
  "\"A\"")
)
```

```
(command "text" (list (+ posx (* blkc escala 0.30)) (+ posy (* blkl escala 0.5))) "2.0" "0" "SEGMENTO  
(BLANK)")
```

```
;Desenhando vista lateral
```

```
(setq posx (+ x1 (* 200.0 escala)))
```

```
(setq posy (+ y1 (* 110.0 escala) largura_acabada))
```

```
(command "line" (list posx posy)  
  (list posx (+ posy (/ de 2)))  
  (list (+ posx (* blkl escala)) (+ posy (/ de 2)))  
  (list (+ posx (* blkl escala)) posy)  
  "c"  
)
```

```
(command "linetype""s""dashed""")  
(command "color""green")  
(command "line" (list posx (+ posy (/ di 2)))  
  (list (+ posx (* blkl escala)) (+ posy (/ di 2)))  
  ""
```

```
)  
(command "linetype""s""bylayer""")  
(command "color""bylayer")
```

```
(command "dim1" "hor"  
  (list posx posy)  
  (list (+ posx (* blkl escala)) posy)  
  (list posx (- posy 10))  
  ""
```

```
)  
(command "explode""last")  
(command "text" (list (+ posx (/ (- (* blkl escala) 12) 2)) (- posy 8.0)) "2.0" "0" (rtos blkl 2 1))  
(command "text" (list (+ posx 6.0 (/ (- (* blkl escala) 12) 2)) (- posy 7.5)) "1.5" "0" (strcat "%%p" a-op))
```

```
;(command "text" (list (+ posx (/ (- (* blkl escala) 12) 2)) (- posy 8.0)) "2.0" "0" a-op)  
;(command "text" (list (+ posx (* blkl escala) 2) (- posy 8.0)) "2.0" "0" a-op)  
;(command "text" (list (+ posx (* blkl escala) 2) (- posy 8.0)) "2.0" "0" (strcat (rtos blkl 2 1) "%%p" a-  
op))
```

```
;CROQUI DE INSPECAO
```

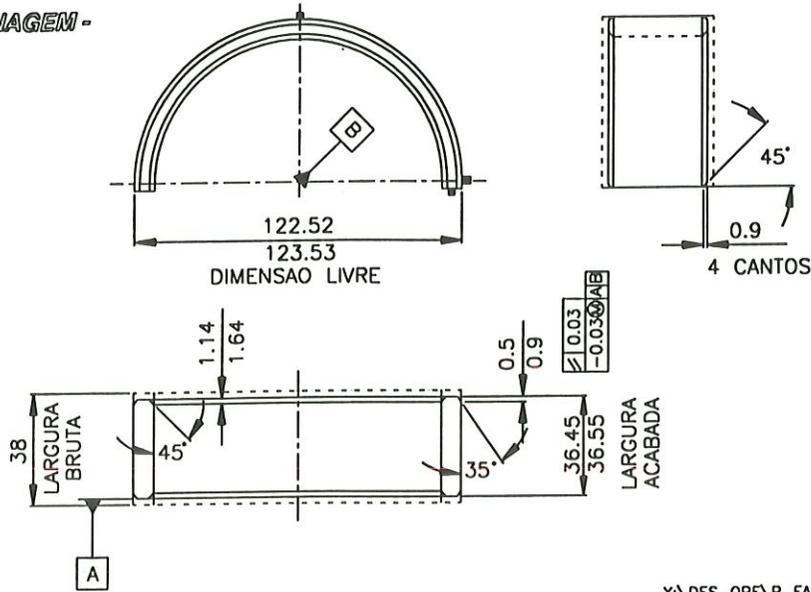
```
(command "insert" (strcat lisppath "/cortaco") "7,122" "" "" "0" (strcat (rtos maeac 2 3) "\\") (strcat (rtos  
miaeac 2 3) "\\") (rtos fkgf 2 0) (rtos (/ fkgf 3) 2 0) (rtos bpcam 2 1))  
)
```

## **Anexo 2: Exemplo de um detalhamento de um plano de processo.**

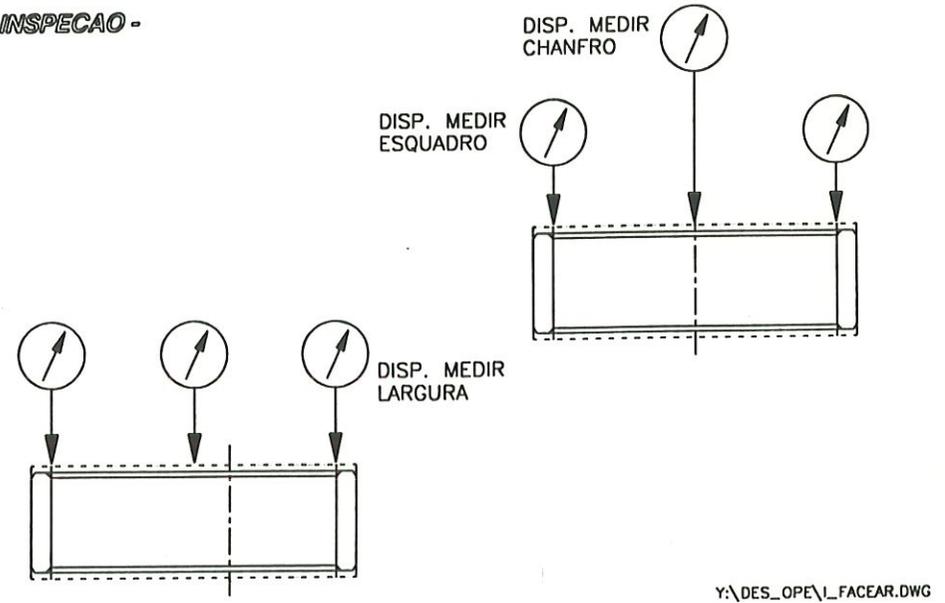
A seguir, será apresentada algumas folhas de detalhamento que fazem parte de um plano de processo, e que contém croquis gerados de forma automática pelo sistema.

Os detalhamentos possuem croquis de usinagem e croquis de inspeção da qualidade.

**- USINAGEM -**

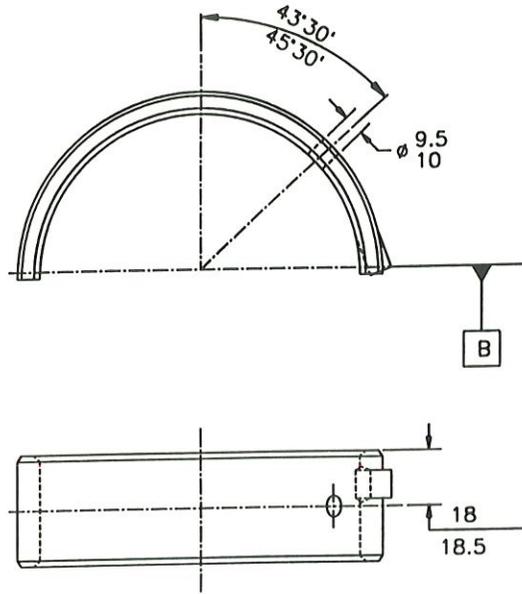


**- INSPECAO -**



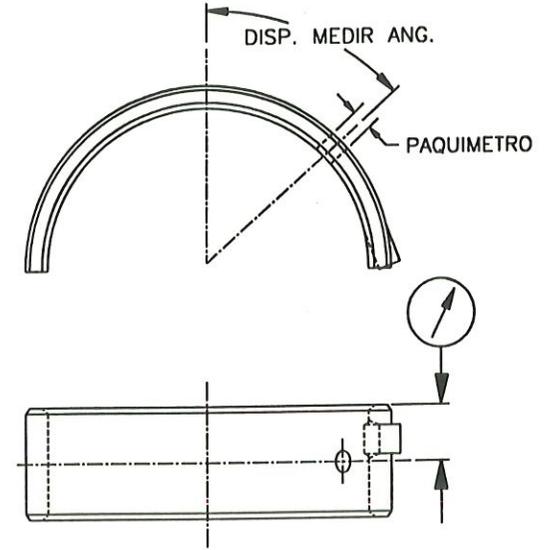
Sq.	Instrucao de Usinagem	Verif. Fer. a cada	Instrucao de Inspecao	Instrumento	Descricao do Instrumento	Qt
						1

- USINAGEM -



Y:\DES\_OPE\P\_ESTF1D.DWG

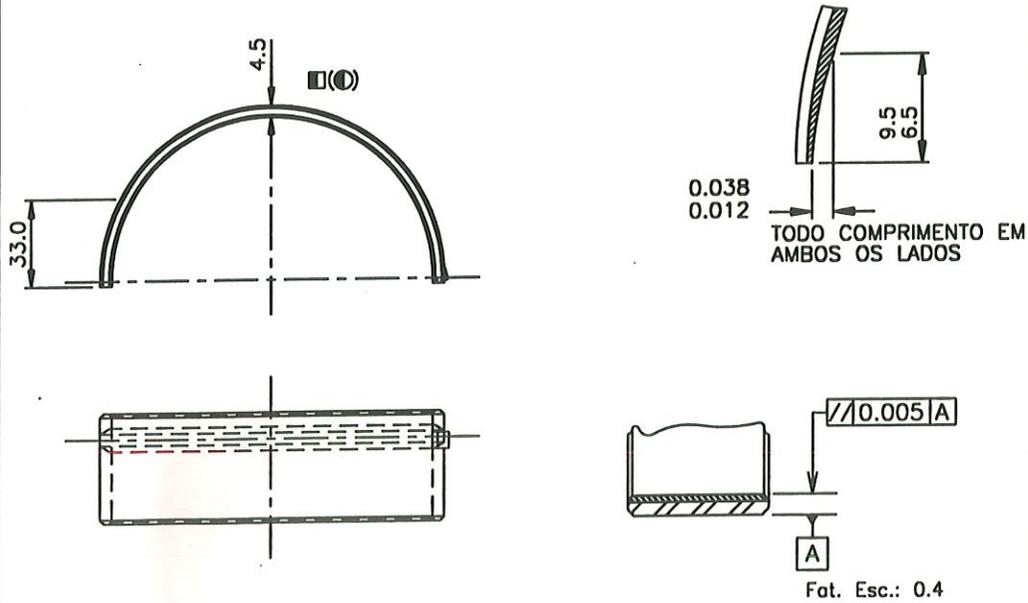
- INSPECAO -



Y:\DES\_OPE\L\_ESTRE1.DWG

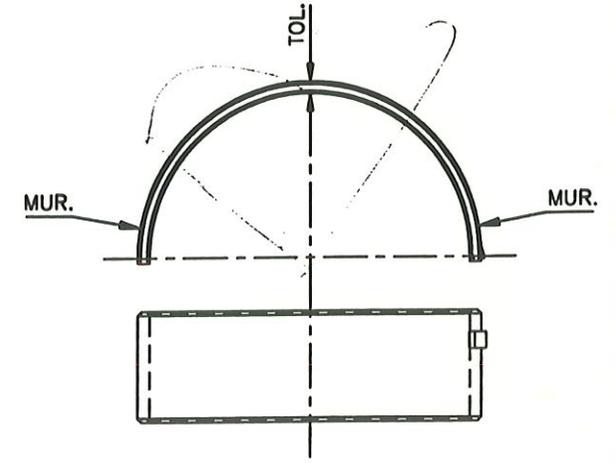
Sq.	Instrucao de Usinagem	Verif. Fer. a cada	Instrucao de Inspecao	Instrumento	Descricao do Instrumento QI

**- USINAGEM -**



**- INSPECAO -**

"A"	MIN. 6.50
PAREDE ANTES	MAX. 4.541
PADRAO	MIN. 4.547
	MAX. 129.903
ACERTAR RELOGIO P/	130.79 131.79
CENTRO TOL.	0 a +5



Sq.	Instrucao de Usinagem	Verif. Fer. a cada	Instrucao de Inspecao	Instrumento	Descricao do Instrumento
1	Mandrilor Diometro Interno. Usar Programa BC-717-I.  Parametros de Usinagem: Rotacao= 10000 rpm Avanco= 0.017 mm/rpm  PROGRAMA:  F1- POS. FINAL VERTICAL: -111,8140 [-100 a -117] F2- POS. INICIAL HORIZONTAL: -30,0 [-30,0 a -60,0] F3- POS. FINAL HORIZONTAL: -99,0 [-80 a -100] F4- VELOC. AVANCO MANDRIL: +1750 [100 a 20000] F5- ROTACAO DO MANDRIL: +10000 [1000 a 20000] F6- RETORNO AO MENU PRINCIPAL		Controlar a operacao de Mandrilor o Diometro Interno das Bronzinas conforme PR-2:210		



**INSTRUCOES DE USINAGEM E INSPECAO**

CLASSIFICACAO DAS CARACTERISTICAS  
 PROCESSO    PRODUTO  
 CRITICA        ■        ●  
 PRINCIPAL    □        ○  
 SECUNDARIA

Peca: BC-0717-I -STD  
 Plano: 652  
 Elaborado: Ver Pl. Pr.  
 Estacao: 150

No. Cliente: 4W5738  
 Rev. Plano: 1  
 Revisado: Ver Pl. Pr.  
 Operacao: MANDRILAR DIAMETRO INTERNO

Cliente: Caterpillar  
 St. Plano: EP  
 Aprovado: Ver Pl. Pr.

Desenho: P-1710-1  
 Data Aprov.: Ver Pl. Pr.

Liga: ML-183  
 Rev. Des.: 9  
 Folha No.: 10/14