

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO  
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA



DESENVOLVIMENTO E IMPLANTAÇÃO DE UM SISTEMA  
DE PROGRAMAÇÃO COMANDO NUMÉRICO PARA CORTE  
TÉRMICO DE CHAPAS EM UMA EMPRESA PRODUTORA  
DE BENS DE CAPITAL SOB ENCOMENDA

AUTOR : EDSON AUGUSTO EBISUI

ORIENTADOR : PROF. DR. HENRIQUE ROZENFELD

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017773

DISSERTAÇÃO APRESENTADA À ESCOLA  
DE ENGENHARIA DE SÃO CARLOS, DA  
UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, COMO  
PARTE DOS REQUISITOS PARA A  
OBTENÇÃO DO TÍTULO DE MESTRE.

SÃO CARLOS, FEVEREIRO DE 1993.

Class. <u>Leve - EESC</u>
Curr. <u>F1972</u>
Tombo <u>+132/93</u>

Eng Mecanica

3160017773

10 0737110

## FICHA BIBLIOGRÁFICA

EBISUI, Edson Augusto. Desenvolvimento e Implantação de um Sistema de Programação Comando Numérico para Corte Térmico de Chapas em uma Empresa Produtora de Bens de Capital sob Encomenda. EESC-USP, fevereiro 1993.

Resumo: Esta dissertação propõe um método de programação CN orientado para corte térmico de chapas (oxicorte ou plasma). A seguir, apresenta o desenvolvimento e implementação de um sistema computacional baseado neste método. O sistema considera elementos relevantes nestes processos, tais como os fatores de rentabilidade e produtividade (aproveitamento de chapa, corte com vários bicos, "encadeamento" de peças) e fatores técnicos (ponto de entrada, sentido e sequenciamento dos recortes, compensação da "sangria"). O modelo proposto é integrado com um sistema CAD, permitindo o acesso direto às informações geométricas dessa Base de Dados e consultas "on-line" do "Nesting" sendo montado (ex: relação de peças, quantidades parciais e totais, aproveitamento, etc.). O trabalho foi desenvolvido e implantado em uma empresa produtora de bens de capital sob encomenda, sendo apresentados os resultados obtidos, a conclusão e sugestões para desenvolvimentos futuros.

Unitermos: Programação Comando Numérico, "Nesting", Corte Térmico de Chapas, CAD/CAM.

EBISUI, Edson Augusto. Desenvolvimento e Implantação de um Sistema de Programação Comando Numérico para Corte Térmico de Chapas em uma Empresa Produtora de Bens de Capital sob Encomenda. EESC-USP, fevereiro 1993.

Abstract: This work presents a method for NC Programming oriented to thermal cutting of sheet plates (oxyfuel and plasma cutting). Based on this method, the development and implementation of a system are detailed.

The system concerns about economical factors (sheet utilization, multiple torches, "one pierce" cutting) and technical factors ("pierce" point, sequencing and direction of cutting, "kerf" compensation).

The proposed model is integrated with a CAD system, allowing direct access to geometric data and "on-line" informations about the "Nesting" (ex: parts listing, parcial and total quantities, sheet utilization, etc.).

This system was developed and implemented in a capital goods company and the results, conclusion and suggestions for further developments are presented.

## AGRADECIMENTOS

À minha esposa Cássia, pelo carinho, apoio, dedicação e por saber compreender a necessidade de minha ausência.

Ao meu pai Koji, meu irmão Fausto e à memória de minha mãe Miho, que sempre me incentivaram.

Ao Prof. Henrique, pela orientação deste trabalho.

Ao Christiano, pelo incentivo e sugestões.

Ao Roberto, pelo apoio e ajuda na revisão final.

Aos professores da Escola de Engenharia de São Carlos e Instituto de Ciências Matemáticas de São Carlos, que me orientam e ensinam desde a graduação.

À Ana Mara, pela grande ajuda prestada na obtenção das referências bibliográficas.

Aos colegas do departamento de Desenvolvimento e Engenharia Industrial, pelo apoio, incentivo e sugestões.

A todos os demais que, de alguma forma, colaboraram neste trabalho.

À minha esposa Cássia, e meus  
filhos, Tiago Henrique e Guilherme.

## ÍNDICE

Ficha bibliográfica .....	ii
Abstract .....	iii
Agradecimentos .....	iv
Dedicatória .....	v
Índice .....	vi
Relação de figuras .....	xii
Lista de siglas e símbolos .....	xvi
Capítulo 1 : Introdução .....	1
Capítulo 2 : Revisão bibliográfica .....	5
2.1. Processos para corte de chapas .....	5
2.2. Processos térmicos de corte .....	6
2.2.1. Generalidades dos processos .....	7
2.2.1.1. Oxicorte .....	7
2.2.1.2. Corte por arco de plasma .....	9

2.2.2. Informações importantes para a execução do corte .....	11
2.2.3. Fatores de rentabilidade e produtividade .....	13
2.2.4. Equipamentos de corte .....	16
2.2.4.1. Maçarico de corte manual .....	16
2.2.4.2. Máquinas de corte portáteis .....	16
2.2.4.3. Bancos de corte .....	17
2.2.4.4. Pantógrafos óticos .....	17
2.2.4.5. Pantógrafos Comando Numérico .....	18
2.3. Programação Comando Numérico .....	19
2.3.1. Evolução dos Comandos Numéricos .....	19
2.3.2. Princípios de programação Comando Numérico .....	22
2.3.3. Métodos de programação .....	24
2.3.3.1. Programação com linguagem orientada .....	26
2.3.3.2. Programação via CAD/CAM .....	29
2.3.4. Simulação .....	33
2.3.5. Pós-processadores .....	35
2.4. A problemática do "Nesting" .....	37
2.5. Exemplos de sistemas existentes .....	42

Capítulo 3 : As necessidades da empresa .....	47
3.1. Áreas envolvidas no processo .....	47
3.2. Origens do problema .....	49
3.2.1. Limitações dos equipamentos existentes .....	49
3.2.2. Extensão da gama de produtos .....	51
3.2.3. Mudanças no sistema produtivo .....	52
3.2.4. Modernização do parque de máquinas .....	52
3.3. Requisitos do sistema .....	54
Capítulo 4 ; Método de programação proposto .....	56
4.1. Funções de planejamento de processo .....	56
4.1.1. Desenho da peça e croqui de delineamento .....	56
4.1.2. Processamento das peças .....	59
4.1.2.1. Determinação do ponto de entrada .....	59
4.1.2.2. Identificação da sequência dos recortes .....	61
4.1.2.3. Determinação do sentido de corte .....	62
4.1.2.4. Compensação automática do bico de corte .....	63

4.1.3. Encaixe de peças (NESTING) .....	70
4.1.3.1. Definição do lote de peças e escolha da chapa .....	70
4.1.3.2. Operação de encaixe e consultas .....	71
4.1.3.3. Sequenciamento .....	73
4.1.3.4. Geração de retalho .....	74
4.1.3.5. Processamento do encaixe .....	75
4.1.4. Pós-processamento de peça individual ou da chapa completa .....	76
4.2. Requisitos de software e hardware .....	77
4.3. Recursos humanos necessários .....	79
Capítulo 5 ; Concepção e realização de um sistema .....	81
5.1. Seleção do sistema CAD .....	81
5.2. Funções do sistema .....	82
5.2.1. Desenho da peça e croqui de delineamento .....	82
5.2.2. Processamento das peças .....	85
5.2.3. Encaixe de peças .....	92
5.2.3.1. Escolha da chapa .....	92
5.2.3.2. Operação de encaixe e consultas .....	93
5.2.3.3. Sequenciamento .....	94
5.2.3.4. Geração do retalho .....	96
5.2.3.5. Processamento do encaixe .....	97

5.2.4. Pós-processamento .....	98
5.3. Estrutura de dados .....	98
5.3.1. Arquitetura do sistema .....	98
5.3.2. Informações .....	102
5.3.2.1. Arquivos padronizados .....	104
5.3.2.2. Classificação dos arquivos .....	107
5.3.2.3. Controle dos arquivos .....	108
5.3.2.4. Codificação dos arquivos .....	109
Capítulo 6 : Exemplo de aplicação .....	111
6.1. Menus e funções especiais .....	111
6.2. Geração do croqui de delineamento .....	113
6.3. Processamento das peças .....	118
6.4. Encaixe de peças e processamento da chapa .....	125
6.5. Pós-processamento .....	135
Capítulo 7 : Conclusão .....	138

Anexos .....	145
Anexo A : Estruturas de armazenagem de pontos e entidades .....	145
Anexo B : Estrutura do CLDATA proposto .....	147
Anexo C : Estrutura do arquivo das matrizes de transformação .....	149
Anexo D : Arquivo PATHS.TXT .....	152
Anexo E : Exemplo de arquivo MTX .....	153
Anexo F : Exemplo de arquivo RET .....	154
Anexo G : Exemplo de arquivo DAT .....	155
Anexo H : Exemplo de arquivo CN .....	157
Referências Bibliográficas .....	159

## RELAÇÃO DE FIGURAS

### Capítulo 2

- 2.1. Posição da ferramenta na compensação ..... 23
- 2.2. Métodos de programação CN ..... 25
- 2.3. Exemplos de sistemas "Nesting" existentes ..... 43

### Capítulo 3

- 3.1. Fluxo de dados/informações no corte térmico ..... 48

### Capítulo 4

- 4.1. Vetor de entrada tangencial ..... 60
- 4.2. Vetor de entrada perpendicular ..... 60
- 4.3. Vetor de entrada bissetriz ..... 61
- 4.4. Compensação inativa ..... 65
- 4.5. Exemplo de aplicação da compensação inativa ..... 65
- 4.6. Compensação externa ..... 66
- 4.7. Compensação interna ..... 66
- 4.8. Exemplo de aplicação da compensação interna ..... 67

4.9.	Método para obtenção da compensação .....	68
4.10.	Exemplo de processamento da compensação .....	69
4.11.	Encadeamento de peças .....	72
4.12.	Corte com vários bicos .....	73

## Capítulo 5

5.1.	Formas parametrizadas .....	84
5.2.	Exemplos do uso de layers .....	87
5.3.	Listas de pontos e entidades .....	88
5.4.	Ordenação da lista de pontos .....	89
5.5.	Encadeamento de entidades .....	90
5.6.	Filtragem de entidades .....	91
5.7.	Geração do retalho .....	96
5.8.	Grupos funcionais do Módulo Proc.Peça .....	99
5.9.	Grupos funcionais do Módulo Nesting .....	100
5.10.	Grupos funcionais do Módulo Geral .....	101
5.11.	Fluxograma para processamento de peças individuais .	102
5.12.	Fluxograma para processamento de "Nesting" .....	103

## Capítulo 6

6.1.	Sub-Menu Proc.Peça .....	111
6.2.	Sub-Menu Nesting .....	112
6.3.	Sub-Menu Geral .....	113
6.4.	Tela dos dados da peça .....	114
6.5.	Desenho da peça-exemplo .....	115
6.6.	Menu de ícones das macros .....	116
6.7.	Desenho do croqui de delineamento .....	117
6.8.	Visualização dos pontos de entrada .....	120
6.9.	Tela do processamento de peças .....	121
6.10.	Sobreposição do perfil compensado .....	122
6.11.	Detalhe da compensação .....	122
6.12.	Simulação dinâmica do corte da peça .....	123
6.13.	Tela dos dados da chapa .....	125
6.14.	Operação de encaixe de peças .....	127
6.15.	Corte com vários bicos e encadeamento de peças .....	128
6.16.	Sequenciamento do corte .....	129

6.17. Tela do pré-processamento do encaixe .....	131
6.18. Tela do processamento do encaixe .....	132
6.19. Simulação dinâmica do corte do "Nesting" .....	133
6.20. Tela dos parâmetros do pós-processamento .....	135
6.21. Tela do pós-processamento .....	136

## Capítulo 7

7.1. Melhoria da produtividade na programação CN .....	139
--	-----

## LISTA DE SIGLAS E SÍMBOLOS

- APT - Automatically Programmed Tool
- ASCII - Código padrão americano para intercâmbio de informações (American Standard Code for Information Interchange)
- CAD - Projeto assistido por computador (Computer Aided Design)
- CAM - Manufatura assistida por computador (Computer Aided Manufacturing)
- CAPP - Planejamento de processo assistido por computador (Computer Aided Process Planning)
- CCW - Counter-clockwise (sentido anti-horário)
- CIM - Manufatura integrada por computador (Computer Integrated Manufacturing)
- CLDATA - Dados da posição da ferramenta (Cutter Location Data)
- CN - Comando Numérico
- CW - Clockwise (sentido horário)
- DNC - Controle Numérico Direto (Direct Numerical Control)
- DXF - Drawing Interchange Format. Interface desenvolvida pela Autodesk para troca de informações entre sistemas CAD

- ÍCONE - Figura com significado semântico
- LAYER - Recurso existente nos sistemas CAD para agrupar entidades
- LAYOUT - Termo empregado para definir arranjo físico.
- NESTING - Encaixe de elementos (peças) de forma a otimizar o aproveitamento da matéria-prima
- MACRO - Rotina empregada para processar elementos semelhantes (parametrizados)
- SANGRIA - Termo empregado para definir a faixa de material que é fundida no processo de corte térmico ("KERF")

## 1 - INTRODUÇÃO

A revolução dos sistemas de informação começou no início dos anos 50 com o advento dos modernos computadores. Nos anos 60, a tecnologia computacional provou ser bastante útil em aplicações na manufatura, com as máquinas comando numérico (CN) e controladores programáveis. Nos anos 70 apareceram os primeiros sistemas para planejamento e controle da manufatura. Nos anos 80 surgiu o mercado dos computadores pessoais, com a explosão da tecnologia dos "microprocessadores" e "softwares" poderosos. No entanto, a crença de que apenas investimentos em computadores e sistemas trariam lucros imediatos, levou muitas empresas ao insucesso. A chave para atingir o pleno gerenciamento da manufatura fundamenta-se em seis requisitos básicos (PLOSSL, 1988):

- planejamento mestre realista;
- sistemas integrados;
- registros precisos;
- pessoal qualificado;
- "lead times" gerenciáveis;
- organização por ação.

Estas novas técnicas gerenciais, associadas às modernas tecnologias de fabricação, passaram a ter vital importância no novo conceito de manufatura integrada, que surgiu como consequência das necessidades de contínuas adaptações, resultantes da maior diversificação dos produtos e redução no ciclo de vida destes. As novas exigências de "flexibilidade", "qualidade", "baixo custo" e "cumprimento de prazos" não podiam mais ser realizadas na estrutura convencional de manufatura (BULLINGER et alii, 1986; ROZENFELD & TAKAHASHI, 1990).

A extensa utilização de equipamentos controlados numericamente, na automação da manufatura flexível, trouxe grande destaque aos métodos de geração automática de programas CN, onde o uso de CAD/CAM têm-se firmado como uma das ferramentas mais adequadas.

O grande aumento no uso de microcomputadores provocou sensíveis mudanças nas tecnologias de fabricação. Sistemas CAD/CAM que necessitavam de pesados investimentos por exigirem plataformas caríssimas de hardware ("mainframes"), puderam ser implementados em microcomputadores a preços cada vez mais acessíveis. Os recursos de computação gráfica interativa permitiram eliminar os exaustivos e demorados comandos de programação (FERRAZ et alii, 1991).

O emprego cada vez mais crescente de equipamentos CN no corte térmico de chapas (oxicorte e arco de plasma), trouxe à tona algumas necessidades vitais desta área:

- Cumprimento de prazos. Esta é uma área de preparação de peças, ou seja, o estágio inicial no processo de fabricação. Qualquer atraso nesta etapa compromete o prazo final de entrega do produto;
- Geração rápida dos programas CN. De forma a acompanhar qualquer mudança no planejamento (alteração dos itens ou máquinas) e minimizar o inventário em processo;
- Economia de matéria-prima. Obtida pela otimização do aproveitamento da chapa, através do encaixe de peças ("NESTING"). Esta tarefa é extremamente difícil de ser realizada sem auxílio computacional;
- Redução da movimentação de material. Através do aproveitamento mais intenso da chapa, reduzindo-se assim o retorno de "retalhos" para o almoxarifado;

- Utilização plena do equipamento, com alta produtividade, visando reduzir os custos operacionais. Nas peças de geometria complexa, a programação CN pode se tornar o "gargalo" do processo.

O objetivo deste trabalho é propor um método de programação CN orientado para o corte térmico de chapas e desenvolver um sistema computacional baseado neste método.

O sistema deve atender às reais necessidades da área de corte, nos aspectos econômicos (custos) e técnicos (processo). Deve ainda apresentar um baixo custo de desenvolvimento e implantação.

O modelo proposto foi desenvolvido e implantado em uma empresa produtora de bens de capital sob encomenda. A sobrevivência de tais empresas está diretamente ligada à modernização de sua manufatura. A meta da implantação deste trabalho foi o aumento de produtividade da área, tornando a empresa mais competitiva.

A dissertação está estruturada nos capítulos descritos a seguir.

O capítulo 2 consiste da revisão bibliográfica, contendo o embasamento teórico, relatando dados relevantes do processo de corte térmico, métodos de programação CN e soluções existentes para o encaixe de peças ("NESTING").

O capítulo 3 descreve as características da empresa e os principais fatores que influenciaram na decisão de se desenvolver um sistema de programação CN.

No capítulo 4 é apresentado o método, onde se propõe um modelo que atenda às necessidades inerentes ao processo.

O capítulo 5 descreve os passos empregados para a implementação do método proposto.

No capítulo 6 é ilustrado um exemplo prático de aplicação do sistema.

No capítulo 7 são apresentadas as conclusões e propostas para desenvolvimentos futuros.

## 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo são abordadas as generalidades do corte térmico (oxicorte e plasma), os elementos relevantes nestes processos, que devem ser considerados na programação CN e as características dos equipamentos de corte mais empregados.

A seguir, é feita uma breve revisão do grau de automação das máquinas CN atuais. São descritos os métodos de programação mais empregados e os conceitos de simulação gráfica e pós-processamento.

Por fim, são relatados a problemática do encaixe de peças ("Nesting"), as soluções computacionais existentes e exemplos de alguns sistemas comerciais disponíveis.

### 2.1 - PROCESSOS PARA CORTE DE CHAPAS

Existem diversos processos disponíveis para o corte de chapas, sendo que os mais conhecidos enquadram-se em 4 grandes grupos:

- corte mecânico;
- corte por abrasão;
- corte por descarga elétrica;
- corte térmico;

Os cortes mecânicos podem ser obtidos por conformação ou usinagem. Os métodos por conformação mais empregados são puncionamento, corte por tesouras ("guilhotinas") e estampagem; os cortes por usinagem são obtidos pelas serras.

No corte por abrasão, enquadra-se o corte por jato d'água abrasivo à alta pressão.

No grupo de corte por descarga elétrica tem-se a eletro-erosão a fio.

Os cortes térmicos caracterizam-se pela fusão localizada da chapa, na região do corte. Pertencem a este grupo os processos de oxicorte, corte por arco de plasma e corte a laser. Neste trabalho serão tratados somente os processos de oxicorte e corte por arco de plasma, pelas semelhanças apresentadas em vários aspectos, (equipamentos, fatores técnicos e econômicos, etc.).

## **2.2 - PROCESSOS TÉRMICOS DE CORTE**

Os processos para corte térmico de chapas mais empregados industrialmente são os processos de oxicorte e plasma. Estes processos visam normalmente a preparação da matéria-prima para uma operação subsequente. O contorno recortado recebe normalmente alguma operação posterior de usinagem, chanframento (que pode ser feito por estes mesmos processos) ou esmerilhamento ("rebarbação"). Os requisitos de qualidade em relação à precisão dimensional e acabamento não precisam ser, portanto, tão exigentes quanto em outros processos de corte, onde a peça sai acabada (ex: eletro-erosão, estampo, laser).

## 2.2.1 - GENERALIDADES DOS PROCESSOS

### 2.2.1.1 - OXICORTE

O processo de oxicorte consiste na queima do metal, sendo que, os óxidos formados são removidos pelo efeito erosivo do jato de oxigênio de corte. Essa oxidação intensa possui uma temperatura mínima para ter o seu início, a qual é atingida através do pré-aquecimento por uma chama produzida por uma mistura gás-combustível/oxigênio. Quando esta temperatura é atingida, é aberto o jato concentrado de oxigênio de alta pureza, que ao atingir a área pré-aquecida, causa a oxidação do material. O calor produzido eleva a temperatura das camadas inferiores até o seu ponto de reação com o oxigênio, estendendo o processo em toda a espessura a ser cortada. O oxicorte pode ser empregado para cortar espessuras entre 3 a 2100 mm. Chapas com espessuras acima de 500 mm são cortadas quando as peças ainda estão a altas temperaturas nas operações de lingotamento (MEYER et alii, 1991).

Para que se possa realizar um oxicorte, o metal a ser cortado deve apresentar as seguintes características (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986; Manual CRO, s.d.):

- o ponto de fusão do metal deve ser superior à temperatura de reação com o oxigênio. Conforme aumenta o teor de carbono, o ponto de fusão do aço diminui, aumentando sua temperatura de início de reação, diminuindo portanto suas possibilidades de oxicorte.
- o ponto de fusão dos óxidos formados deve ser inferior ao do metal e inferior à temperatura que está sendo desenvolvida no oxicorte. Assim, o óxido de cromo formado no corte de aços inoxidáveis impede o prosseguimento da reação.

- os óxidos formados devem ser fluidos quando no estado líquido. Assim, o caso de oxicorte de ferro fundido tem como um dos problemas, a formação de óxido de silício, que é altamente viscoso e refratário.

- as adições ou impurezas, que afetam adversamente o oxicorte (C, Cr, Si, etc.) e aumentam a temperabilidade, devem apresentar baixo percentual de concentração.

O processo emprega uma tocha com um bico que, essencialmente, comporta o canal central do oxigênio de corte e os orifícios adjacentes que fornecem a chama de aquecimento.

Quando uma peça é cortada, uma estreita faixa de metal é progressivamente removida. A largura do corte é chamada de "SANGRIA". O controle desta sangria é muito importante nas operações de corte, onde a acuracidade dimensional e a qualidade da aresta de corte são fatores significativos. A sangria é função do tamanho do bico (furo do oxigênio de corte), tipo de bico usado, velocidade de corte, e vazão dos gases de aquecimento e oxigênio de corte. Com o aumento da espessura do material, a vazão de oxigênio deve aumentar. Bicos com maiores orifícios de oxigênio de corte são necessários para prover maiores vazões. Conseqüentemente, a largura da sangria aumenta com o aumento da espessura do material sendo cortado. A compensação desta sangria deve portanto ser sempre considerada na confecção do recorte (MEYER et alii, 1991).

O controle da velocidade de corte é fator importante na qualidade resultante. Existe ainda uma forte possibilidade de perda do corte em velocidades excessivas. A velocidade máxima no oxicorte é por volta de 1 m/min para chapas com espessura entre 25 e 110 mm (KELLOCK, 1982). A condição da superfície da chapa afeta a velocidade e a qualidade de corte. Se a chapa possuir resíduos de laminação, ferrugem ou camada de tinta anti-oxidante ("primer"), ocorrerá um efeito negativo no resultado do corte, obrigando muitas vezes a se aumentar a chama de pré-aquecimento e reduzir a velocidade do corte (Manual AGA, s.d.).

O acetileno, o propano ou gás natural são normalmente empregados como gases de aquecimento. Entre estes, o acetileno possui as melhores características de fornecimento térmico (Manual AGA, s.d.).

Um dos maiores problemas de segurança em oxicorte é a utilização do processo em locais fechados, onde um vazamento dos gases tornará a atmosfera explosiva. Um ponto básico portanto é a eficiente ventilação destes locais de trabalho. Outro problema do processo ocorre quando se rompe o equilíbrio entre a velocidade de propagação da chama com a velocidade de saída do gás, resultando no retrocesso da chama, que eventualmente pode ser acompanhado por uma onda explosiva (Manual CRO, s.d.).

#### **2.2.1.2 - CORTE POR ARCO DE PLASMA**

Este processo corta o metal através de um arco elétrico que funde uma área da peça, removendo este material fundido com um jato de gás ionizado de alta velocidade, saindo de um bico constritor. Um arco de plasma é um gás que foi aquecido por um arco elétrico até atingir uma condição parcialmente ionizada, habilitando-o a conduzir corrente elétrica, e operando a temperaturas de 10000 a 14000 graus Celsius. Conforme o gás de plasma passa através do arco, ele é rapidamente aquecido para uma alta temperatura, expande, e é acelerado enquanto passa através do orifício de restrição em direção à peça. A intensidade e velocidade do plasma são determinadas por diversas variáveis, incluindo o tipo do gás, sua pressão, o padrão do fluxo, a corrente elétrica, o tamanho e formato do orifício e a distância da peça (O'HARA et alii, 1991).

Diversos gases podem ser empregados no processo. No corte de aços de alta liga e alguns metais não ferrosos, utiliza-se uma mistura de dois gases (Argônio e Hidrogênio). No caso de

corte com injeção de água ou sub-aquático, utiliza-se o nitrogênio. Nos aços comuns de construção pode-se usar o ar atmosférico como gás plasma, reduzindo sensivelmente os custos do processo (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986).

O plasma tem sua faixa de utilização para chapas de 3 até 150 mm de espessura, cortando até aproximadamente 75mm com uniformidade muito similar à produzida pelo oxicorte. Em chapas mais espessas, baixas velocidades de avanço produzem uma superfície irregular e descoloração. As sangrias do corte por plasma são 1,5 a 2 vezes a largura do oxicorte em chapas de até 50mm de espessura (O'HARA et alii, 1991).

A capacidade do processo para cortar qualquer material eletricamente condutivo tornou-o especialmente atrativo para o corte de metais não ferrosos, que não poderiam ser cortados via oxicorte. Foi inicialmente usado para cortar aço inoxidável e alumínio. Comparado com o oxicorte, o processo de corte por plasma opera com um nível de energia muito maior, resultando em maiores velocidades de corte. Por outro lado, o equipamento para plasma tende a ser mais caro, consome uma razoável quantidade de energia e introduz riscos de choques elétricos. Fontes de alimentação típicas tem capacidade de 30 a 50 KVA para corte de espessuras até 50 mm; 80 a 100 KVA para espessuras até 100 mm e 200 KVA para espessuras até 150 mm (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986).

O plasma a seco produz gases tóxicos (principalmente  $\text{NO}_2$ ), sendo necessário o uso de sistema de filtros para o corte em áreas fechadas. Corte com injeção de água ou sub-aquático são utilizados junto com um tanque d'água, onde são dissolvidos a maior parte dos vapores e gases tóxicos. O  $\text{NO}_2$  deverá ser removido pelo sistema de sucção montado no tanque (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986).

O jato de plasma tende a remover mais metal da parte superior da sangria do que da inferior. Isto resulta em chanfros mais largos no topo. O ângulo típico de um corte de 25 mm em aço é de 4 a 6 graus. O arredondamento da aresta superior pode

ocorrer quando uma potência excessiva é usada ou quando a distância da tocha é muito grande. Pode também ocorrer em velocidades altas de corte de materiais de menos de 6 mm de espessura. A velocidade de corte no processo por plasma atinge até 6 m/min para chapas de 25 mm de espessura (KELLOCK, 1982).

O processo de plasma não necessita de pré-aquecimento. A penetração ocorre quase instantaneamente, o que economiza tempo e minimiza o aquecimento da peça. (WOOLMAN, 1987).

### **2.2.2 - INFORMAÇÕES IMPORTANTES PARA A EXECUÇÃO DO CORTE**

Para utilização dos equipamentos e execução do processo de corte térmico, alguns aspectos operacionais são recomendados de forma a se garantir uma boa qualidade da aresta sendo cortada. Os parâmetros mais significativos são descritos a seguir (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986):

#### **- ESCOLHA DO BICO E AJUSTES (PRESSÃO, VELOCIDADE E DISTÂNCIA DO BICO)**

Uma vez que diversos fabricantes desenvolvem diferentes tipos de maçaricos e bicos, a melhor recomendação é obedecer cuidadosamente aos valores e instruções fornecidos pelos fornecedores, em formas de tabelas de corte. Manuais orientativos de defeitos comuns (Manual AGA, s.d.) fornecem instruções práticas para verificação e eliminação de falhas geradas no processo. A combinação destes parâmetros afeta diretamente a "SANGRIA" resultante (item 2.2.1.1). Para manter constante a distância do bico com a peça, algumas máquinas são providas de sensores capacitivos posicionados nos bicos, que compensam as ondulações apresentadas pelas chapas.

## **- INÍCIO DO CORTE**

O corte a maçarico poderá ser iniciado numa aresta da chapa ou após a perfuração da chapa em bruto. Antigamente, o início do corte era aplicado de forma predominantemente à partir da aresta da chapa. Entretanto, com o desenvolvimento de dispositivos de furação automáticos, o último processo teve mais sucesso, devido às suas vantagens técnicas. Somente no caso de chapas muito espessas, recomenda-se o início do corte a partir da aresta.

Nas máquinas modernas, o processo inteiro de furação é estabelecido por um ciclo interno da máquina, devendo-se estabelecer os respectivos parâmetros, conforme o tipo de bico utilizado, tipo de gás de aquecimento e espessura da chapa. O sistema automático de furação é indispensável no caso de corte por máquinas CN. Para chapas de até 20 mm pode-se executar a perfuração no próprio contorno da peça, uma vez que a junta produzida no ponto de furação é inicialmente mais estreita do que a junta de corte normal.

Via de regra, a perfuração é executada fora do contorno da peça, de forma a garantir a integridade do contorno, pois forma-se normalmente, uma "borra" neste ponto. A distância de entrada a ser deixada varia conforme a espessura da chapa e com o processo empregado (oxicorte ou plasma).

O ponto ideal para início do recorte é escolhido levando-se em conta o posicionamento da peça dentro da chapa, sua forma geométrica e das peças vizinhas.

## **- DIRECIONAMENTO DO CORTE**

Para se garantir uma melhor precisão dimensional, o sentido do corte ao longo do contorno da peça deverá ser estabelecido de tal modo que esta peça permaneça em contato o

maior tempo possível com a massa-base da chapa em bruto, minimizando os empenamentos. Este fato é tanto mais crítico, quanto mais fina for a chapa. No caso de espessuras maiores, a deformação térmica torna-se cada vez menos importante.

#### **- SEQUENCIAMENTO DO CORTE**

As peças a serem cortadas podem possuir recortes internos, por exemplo, "janelas" ou "furos" em seu interior, mas obviamente, somente um único recorte externo (contorno externo da peça). Este recorte externo, que destaca a peça da chapa deve ser sempre o último a ser realizado, pois uma vez efetuado, já não se conhece com exatidão a posição desta peça em relação à chapa. Devido às irregularidades da mesa de corte e distância entre apoios, uma peça com seu contorno externo recortado pode tombar parcialmente, ou cair totalmente no vão entre os apoios, impedindo totalmente o recorte de qualquer outro elemento interno da peça em questão.

Se para o aproveitamento ótimo do material foram intercaladas diversas peças numa chapa, deverão ser preferencialmente cortadas primeiro as peças menores e, a seguir, as maiores.

#### **2.2.3 - FATORES DE RENTABILIDADE E PRODUTIVIDADE**

A fim de que o corte a maçarico (oxicorte e plasma) possa ser utilizado da maneira mais econômica possível, devem ser reconhecidos os diversos parâmetros de custos que são relevantes para o processo.

Como nos demais processos técnicos de usinagem, estes custos são compostos pelos custos de salários, custos de capital, custos operacionais (energia elétrica, gás, etc.) e custos de

manutenção. Visando reduzir estes custos, existem diversas alternativas, descritas a seguir (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986):

### **- OPERAÇÃO DE MAÇARICOS MÚLTIPLOS**

Deve-se tentar colocar em operação simultânea, o maior número possível de maçaricos. Segundo estudos de uma instituição supra-empresarial da Indústria do Aço da Alemanha, houve uma redução dos custos por metro cortado de aproximadamente 1.70 DM (Marco Alemão) para 0.95 DM passando-se de 1 para 2 maçaricos e, para 0.65 DM quando se utilizou 4 bicos. Os dados de cálculo foram levantados nas indústrias da antiga República Federal da Alemanha, onde os custos de salários perfaziam em média entre 70 e 75% do custo por metro cortado.

Na geração do "layout" de uma chapa ("Nesting"), deve-se sempre pensar numa disposição que permita deixar peças iguais alinhadas ao longo da largura da chapa. Deste modo, torna-se possível o corte com mais de um bico simultaneamente. As únicas limitações quanto ao uso deste método são o número máximo de bicos existentes no pórtico do pantógrafo e a distância mínima exigida entre peças, devido ao espaço físico ocupado pelas mangueiras de gás e bicos de corte.

### **- TAXA DE UTILIZAÇÃO**

Verifica-se também que os custos por metro cortado reduzem drasticamente aumentando-se a taxa de utilização do equipamento. A taxa efetiva de utilização de máquinas industriais controladas por células fotoelétricas está apenas entre 25 e 35%; no caso de máquinas por controle numérico está entre 65 e 85% (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986).

## **- APROVEITAMENTO DE MATERIAL**

Um outro ponto importante para a consideração dos custos gerais de peças submetidas a corte com maçarico é o aproveitamento da matéria-prima utilizada.

Dever-se-á levar em conta que, a forma das peças a serem cortadas e o formato das chapas utilizadas influenciam no grau de aproveitamento obtido.

A quantidade máxima de bicos e o aproveitamento ótimo da matéria-prima podem muitas vezes estar em contradição. Deve-se analisar cada caso e encontrar um ponto de economia ótima.

## **- AUMENTO DA VELOCIDADE MÉDIA DE CORTE**

Recomenda-se para tal, o uso de bicos modernos, de alto rendimento, bem como uma boa condição da superfície da chapa.

## **- ENCADEAMENTO DE PEÇAS**

As perfurações necessárias para o início do recorte, geram um longo tempo para o pré-aquecimento de chapas mais espessas (oxicorte), além de poder causar eventuais danos nos bicos. É interessante, portanto, reduzir o número destas furações, isto é, com um único furo de entrada, corta-se o maior número possível de peças. Ao fim do recorte de uma peça, caminha-se cortando até o ponto de entrada da peça adjacente.

#### **2.2.4 - EQUIPAMENTOS DE CORTE**

Conforme a tarefa a ser executada, existem equipamentos de corte que são mais adequados à aplicação exigida. Pode-se distinguir quatro tipos básicos: maçaricos de corte manual, máquinas de corte portáteis, bancos de corte e máquinas pantográficas (óticos e CN) (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986; Manual CRO, s.d.).

##### **2.2.4.1 - MAÇARICO DE CORTE MANUAL**

O corte manual tem a vantagem de poder ser executado em qualquer local de forma simples e rápida, onde não existam grandes exigências quanto à precisão. Sua grande versatilidade está no ajuste de peças no local de montagem, constituindo portanto uma ferramenta básica.

##### **2.2.4.2 - MÁQUINAS DE CORTE PORTÁTEIS**

Nos casos onde existam requisitos mais rígidos com relação à velocidade de corte, contorno e espessura (chanfros de solda), existem máquinas de corte portáteis que, direcionadas por guias, possibilitam a execução de cortes retos e circulares. A facilidade de se deslocar o equipamento até a peça, ou o uso em locais onde não se dispõem de máquinas estacionárias maiores constituem sua grande vantagem. A principal desvantagem consiste no fato das informações geométricas para a execução dos cortes estarem desenhadas na chapa (sendo repassadas manualmente) e a impossibilidade de se efetuar percursos complexos.

#### **2.2.4.3 - BANCOS DE CORTE**

Os bancos de corte consistem de máquinas estacionárias de corte retilíneo para obtenção de tiras e o esquadrejamento de chapas. Os cortes podem ser retos ou chanfrados e comportam vários bicos simultâneos. Os carros porta-maçaricos possuem rodas de apoio sobre a chapa, compensando ondulações e mantendo a distância bico-chapa constante. Permitem alguns acessórios como o pórtico transversal ortogonal que permite o corte reto ou em chanfro das cabeceiras da chapa e o dispositivo de corte de raios de grande curvatura.

#### **2.2.4.4 - PANTÓGRAFOS ÓTICOS**

As máquinas pantográficas destinam-se especialmente ao corte de peças de formatos não retangulares. A implantação do sistema de comando através de traçador fotoelétrico para máquinas de corte a chama, trouxe um avanço na utilização dos equipamentos de corte estacionários. Os traçadores mecânicos com gabaritos metálicos e roletes magnéticos foram substituídos por chapelonas desenhadas ("templates") e células fotoelétricas, que seguem o centro de uma linha de 0,6 a 1,2 mm de espessura ou o canto de uma silhueta preferencialmente de folha branca, colocada sobre uma base preta. É possível escolher-se diferentes escalas de desenho para os gabaritos, por exemplo: 1:1, 1:5 ou 1:10. Tais reduções, embora facilitem a confecção, transporte e armazenagem dos templates, trazem o inconveniente de ampliar proporcionalmente à escala utilizada, qualquer erro dimensional no traçado do contorno. Uma vez que as folhas são sensíveis a temperatura e umidade, modificando assim suas dimensões, recomenda-se o uso de poliéster ou folhas plastificadas.

Estudos baseados em 1000 amostras constataram que 21% de chapelonas traçadas para uso em pantógrafos óticos estavam

fora de tolerância. Mudanças de temperatura e umidade afetaram a estabilidade do papel e as velocidades de corte eram limitadas entre 0.5 a 1.0 m/min para que o rastreador ótico permanecesse sobre a linha traçada. Poeira e sujeira distorciam o perfil sendo cortado e o aproveitamento da chapa era baixo porque o encaixe de peças era realizado manualmente pelo operador da máquina (KELLOCK, 1982).

#### **2.2.4.5 - PANTÓGRAFOS COMANDO NUMÉRICO**

Os CN's surgiram como solução para os diversos inconvenientes apresentados pelos sistemas óticos.

Nos últimos anos observou-se um rápido crescimento na aplicação da tecnologia CN em equipamentos para corte térmico. Inicialmente na fabricação de navios e depois nas outras áreas da indústria.

Comparando-se os métodos de corte de equipamentos CN com equipamentos controlados opticamente, as vantagens dos primeiros são grandes (KOBYLINSKI, 1985):

- o uso de chapelonas não é mais necessário;
- a informação é mantida independente de variações de temperatura e umidade;
- redução dos problemas de arquivamento (espaço físico ocupado pelas chapelonas);
- obtém-se uma melhor acuracidade das peças sendo cortadas;
- posicionamento, controle de gases, e outras funções são controladas automaticamente pelo programa, resultando numa redução considerável do tempo de corte;

- melhor utilização da chapa, através de um "layout" mais otimizado.

## 2.3 - PROGRAMAÇÃO COMANDO NUMÉRICO

### 2.3.1 - EVOLUÇÃO DOS COMANDOS NUMÉRICOS

As tendências dos sistemas produtivos, visando maior produtividade aliada à flexibilidade, forçaram a necessidade de equipamentos que substituíssem as máquinas convencionais, não mais adequadas às novas características de produção. A utilização da tecnologia CN tem apresentado um crescimento constante nas últimas décadas, firmando-se definitivamente como um dos elementos básicos na automação flexível.

De um modo geral, os equipamentos CN apresentam uma série de vantagens comparados aos métodos e máquinas convencionais:

- redução de "lead-time";
- precisão e repetibilidade;
- redução de refugos;
- menor tempo de inspeção;
- menor ciclo de fabricação -> redução do inventário;
- maior liberdade para a área de Projetos;
- maior flexibilidade para o Planejamento e Controle de Produção.

O surgimento de soluções cada vez mais automatizadas deve-se em grande parte à evolução do nível funcional dos CN's disponíveis, tais como (KOCHAN, 1987):

- Facilidades de operação:
  - . edição de programas;
  - . interface amigável;
  - . guia interativo para os operadores;
  - . identificação completa do programas (nomes extensos, sub-diretórios, etc.).
  
- Facilidades de programação:
  - . definição de expressões matemáticas;
  - . definições geométricas pré-definidas (macros);
  - . ciclos fixos;
  - . simulação gráfica;
  - . programação paralela.
  
- Extensões funcionais:
  - . zeramento automático das ferramentas;
  - . medição e checagem integrados;
  - . controle adaptivo;
  - . detecção e correção de erro da máquina.
  
- Supervisão do processo e diagnósticos da máquina-ferramenta:
  - . rotinas para diagnósticos.
  
- Nível de automação e sistemas estendidos:
  - . interpolação simultânea de vários eixos;
  - . controle e supervisão da troca de ferramenta;
  - . conexão DNC (Direct Numerical Control);
  - . controle integrado da estação de trabalho, dispositivos de manipulação ou robôs industriais.

Entre os elementos acima, um dos que maiores benefícios trouxe foi, provavelmente, o recurso de conexão direta do CN com um computador, para a transmissão de dados. Tal tecnologia conhecida como Controle Numérico Direto (DNC) foi inicialmente concebida como substituto das fitas perfuradas e surgiu por volta de 1967/1968 nos EUA e Japão (NAVARRO, 1991).

Muitos eram os problemas apresentados pelas fitas perfuradas, entre os quais:

- alto custo de aquisição e manutenção das perfuradoras de fita;
- problemas constantes na fita de papel, que se rompiam com grande facilidade e nas fitas de nylon, que além do alto custo, provocavam um desgaste prematuro nos punções das perfuradoras;

- baixa taxa de transferência na leitura/perfuração das fitas;
- constantes "emperramentos" no arrasto dos carretéis durante a leitura no CN. Problema bastante agravado nos rolos de grandes dimensões, necessitando-se repartir o programa em vários carretéis menores;
- grande espaço físico consumido para armazenagem dos rolos de fitas novas e usadas (programas prontos);
- dificuldades de manuseio, quando os programas eram extensos;
- frequentes paralisações na produção, causadas pelos problemas das fitas ou defeitos nas leitoras dos CN's.

Os controles modernos apresentam uma porta de comunicação serial (normalmente padrão RS-232), que permite a conexão destes equipamentos diretamente a "modens" e computadores. Através de programas especialmente desenvolvidos, utilizando os mais diversos protocolos de comunicação, consegue-se transferência de dados a altas velocidades e com grande confiabilidade.

Algumas vantagens da utilização do DNC são (AGUIAR, 1989) :

- maior velocidade e segurança na transferência de informações do que quando utilizados meios como fita de papel ou magnética. Segundo dados da Boeing (SCHAFFER, 1987), a implantação do DNC, substituindo as fitas perfuradas, reduziu o tempo dispendido para carga dos programas entre 30% a 50%;
- utilização de componentes de hardware padronizados;
- melhor organização e maior capacidade disponível para a armazenagem dos programas CN;

- maior racionalização do trabalho e rapidez na tomada de decisões;
- controle dos dados sobre a produção em tempo real;
- ajuda a integração das informações da empresa.

As funções básicas do DNC foram estendidas para integração dos processos produtivos. Alguns sistemas mais sofisticados, utilizados normalmente nos FMS (Flexible Manufacturing Systems), possuem recursos de comando centralizado de funções, como (TOENSHOFF et alii, 1989; AGUIAR, 1989):

- aquisição e processamento de dados da produção e de máquinas CN, em tempo real;
- funções parciais de controle da produção e fluxo de material;
- preparação e partida remota da máquina CN.

### **2.3.2 - PRINCÍPIOS DE PROGRAMAÇÃO COMANDO NUMÉRICO**

Os comandos de programação CN, normalizados pela ISO 6983 (1988), consistem de um conjunto de funções básicas:

#### **- FUNÇÃO NÚMERO SEQUENCIAL**

Identificam o número da linha no programa. É conhecida como função "N".

#### **- FUNÇÃO PREPARATÓRIA**

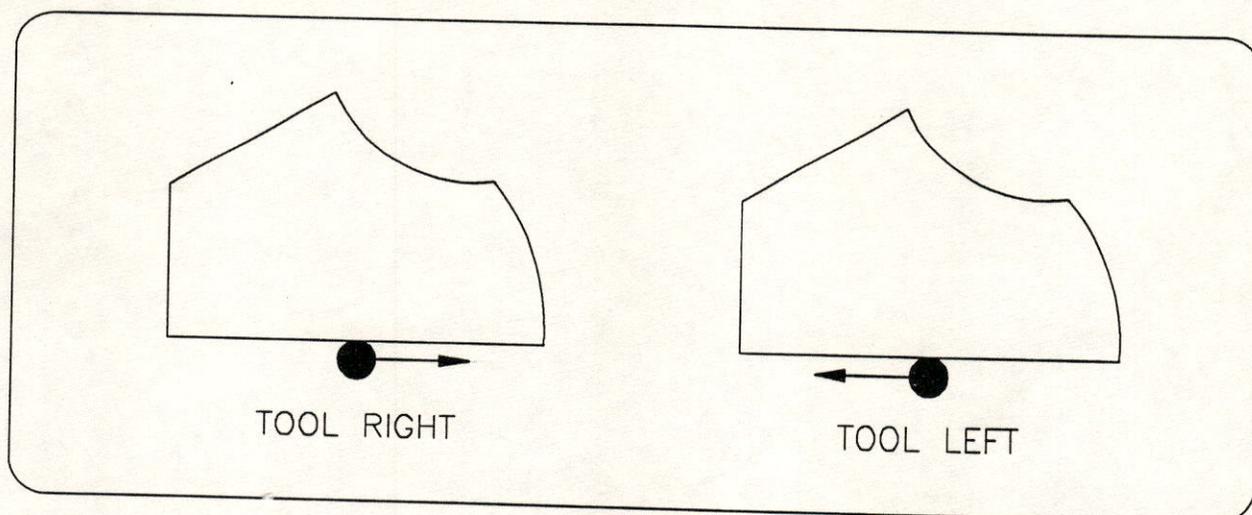
Preparam ou modificam o comando para um determinado modo de operação. São conhecidas como funções "G".

Especificam, entre outras coisas, o sistema de coordenadas (absoluto ou incremental), a unidade utilizada (milímetro ou polegada), os tipos de movimentações (avanço rápido, interpolação linear e circular) e a compensação da ferramenta (compensação da "SANGRIA" gerada pelo bico de corte).

A compensação desta "SANGRIA" deve ser sempre considerada na programação CN (item 2.2.1.1.), podendo ser feita de duas maneiras:

#### . CALCULADA PELO CN

Pode-se usar a compensação calculada internamente pelo CN para as correções necessárias, ou seja, fazer o programa exatamente sobre o perfil da peça e estabelecer a posição relativa da ferramenta em relação ao contorno. Tomando-se como referência a direção de corte, deve-se informar se o bico de corte está à esquerda (TOOL LEFT) ou direita (TOOL RIGHT) da peça (figura 2.1).



**Fig. 2.1 - Posição da Ferramenta na Compensação**

#### . CALCULADA PELO PROGRAMADOR

Neste caso, o percurso real do bico de corte deve ser calculado pelo programador. A compensação interna do CN é deixada inativa.

## **- FUNÇÕES DE POSICIONAMENTO**

Definem a localização onde determinada operação deve ser realizada, segundo o conceito de coordenadas cartesianas ortogonais (X, Y e Z). Existem também funções de posicionamento angular (para eixos rotativos), funções de posicionamento relativo à profundidade (movimentos perpendiculares ao plano de trabalho) e funções de posicionamento auxiliares para definir grandezas auxiliares de localização (coordenadas de centro de arco, senos e cossenos diretores, etc.).

## **- FUNÇÕES AUXILIARES**

Complementam as informações, definindo basicamente: o avanço de trabalho, a velocidade de corte, funções "miscelâneas" (funções "M"), etc. As funções "M" possuem alguns valores normalizados, como por exemplo, parada obrigatória, parada opcional, fim de programa. Entretanto, o processo de corte térmico necessita de alguns outros controles adicionais não abrangidos (controle de gases de aquecimento, oxigênio de corte, ignitor, movimento das tochas, etc). Fica a cargo de cada fabricante de CN decidir a qual valor associar, implicando numa falta de padronização.

### **2.3.3 - MÉTODOS DE PROGRAMAÇÃO**

Uma condição essencial para o uso efetivo de um equipamento CN é a correta e eficiente geração dos programas, que deve ser rápida, fácil e confiável. Especialmente nas aplicações de corte, onde na maioria das vezes, cada "layout" de chapa requer um novo programa CN.

ROZENFELD (1989) classifica os métodos de programação CN em cinco grupos (figura 2.2):

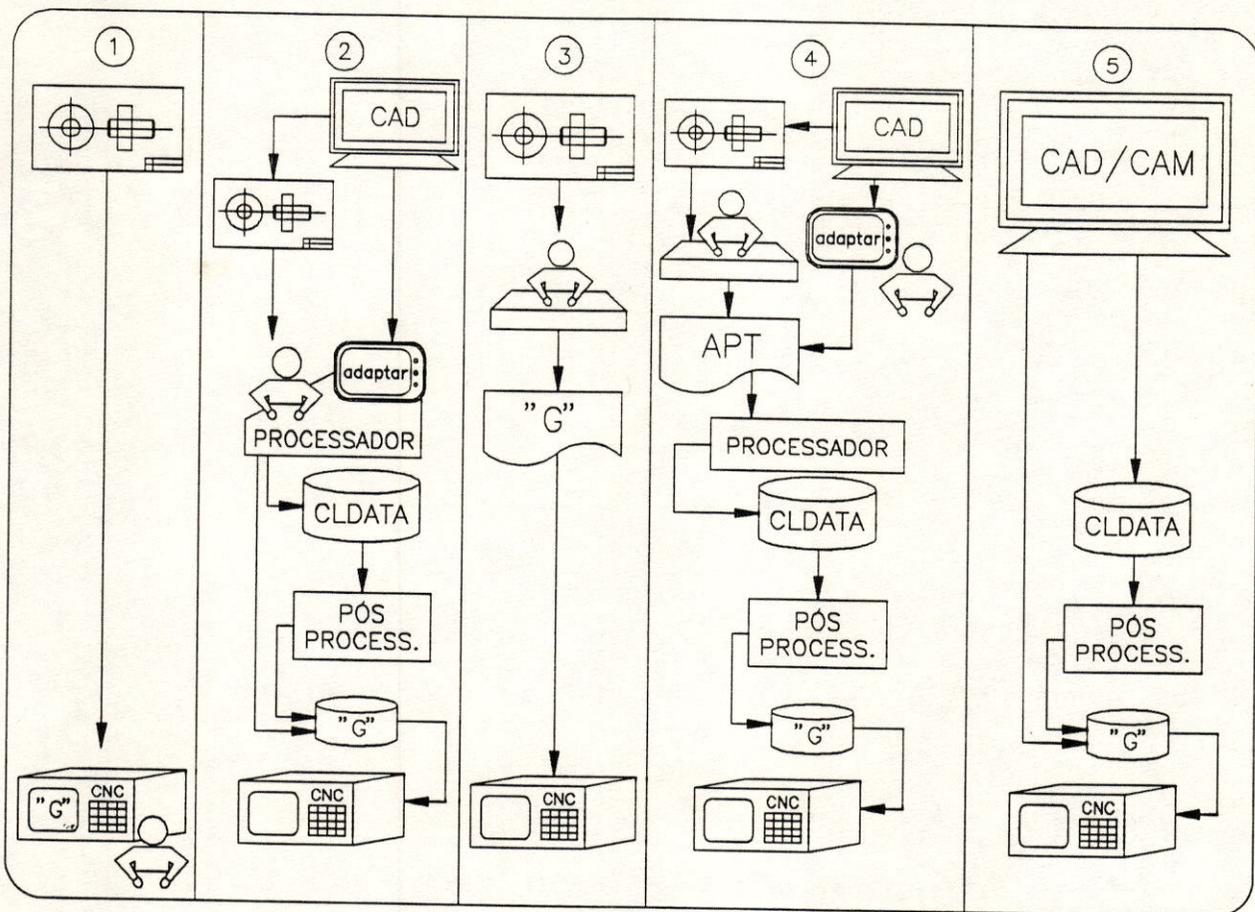


Fig. 2.2 - Métodos de Programação CN (ROZENFELD, 1989)

No método 1, a programação é realizada diretamente no console da máquina e, tem-se constituído como uma solução bastante empregada, devido à grande evolução apresentada pelos CN's, (item 2.3.1). Entretanto, este método é considerado interessante somente para peças relativamente simples, exigindo ainda a necessidade de operadores qualificados, que conheçam os códigos de programação.

O método 2 é uma solução intermediária entre a programação no escritório e na máquina. O usuário trabalha interativamente com o processador a partir do desenho da peça (no papel ou no sistema CAD). Deve-se escolher o CN no qual o programa deve rodar, existindo portanto um processador para cada CN. O sistema possui um pré-processador que adapta os comandos de

interpretações geométricas aos do CN. Os códigos criados podem ficar no formato neutro para serem posteriormente pós-processados (item 2.3.5).

O método 3 é a programação manual convencional, onde o programador analisa o desenho da peça e gera o programa CN. Este método constitui uma solução antiga e pouco produtiva, tendo como desvantagens:

- alto consumo de tempo e trabalho, com grande possibilidade de erros;
- os programas feitos manualmente devem ser cuidadosamente verificados;
- alto custo dispendido (tempo não produtivo) na simulação em "vazio", usando-se a máquina no chão de fábrica;
- dificuldades nas eventuais alterações ou correções de erros nos programas;
- falta de uma padronização na estrutura do programa, conforme o estilo particular de cada programador.

O método 4 é o tradicional dos métodos assistidos por computador, onde são empregadas linguagens orientadas para apoio à programação CN. Embora de difícil aprendizado, utilização e depuração, foi bastante difundido e é ainda amplamente utilizado (item 2.3.3.1).

O quinto método trata de soluções CAD/CAM onde a programação CN é efetuada interativamente a partir de dados geométricos do CAD (item 2.3.3.2).

### **2.3.3.1 - PROGRAMAÇÃO COM LINGUAGEM ORIENTADA**

Entre as várias linguagens universais de programação para apoio à programação CN, as mais difundidas são as da família APT (Automatically Programmed Tool), que surgiu em 1958 e foi resultado do desenvolvimento conjunto da Electronic Systems

Laboratory do M.I.T com a indústria aeronáutica dos Estados Unidos. Conceitualmente, APT é uma linguagem de programação que permite a definição da geometria da peça de trabalho, da ferramenta e da movimentação desta, através de instruções semelhantes à língua inglesa. O objetivo é aliviar o programador dos cálculos exaustivos do posicionamento relativo da ferramenta em relação à peça, durante os movimentos de usinagem (BESANT, 1985).

Basicamente, o processador APT processa os programas desenvolvidos pelo usuário na linguagem APT e gera uma saída contendo as coordenadas de movimentação da ferramenta. O arquivo gerado pelo processador APT é estruturado numa linguagem neutra normalizada (ISO 4343, 1978) e é comumente denominado CLDATA (Cutter Location Data). Este arquivo contém dados de partida e movimentação da ferramenta. Estes dados genéricos são posteriormente passados para um módulo denominado pós-processador (item 2.3.5), sendo então convertidos para a linguagem CN da máquina (BESANT, 1985).

Entre as vantagens desta linguagem têm-se:

- facilidade e rapidez na programação;
- facilidade na tarefa de manutenção e correção dos programas;
- independência do programador em relação à máquina e ao comando;
- racionalização na programação de família de peças ou operações semelhantes.

Uma das maiores vantagens do APT, normalizado pela DIN 66246 e/ou ISO 4342 (1985), é a grande difusão mundial alcançada. Várias corporações modificaram o sistema para que ele pudesse criar geometrias adicionais e novos formatos de definição. Por exemplo, a CAM-I (Computer-Aided Manufacturing International) produziu um pacote para superfícies "esculturais", que permitia a definição e posterior movimentação da ferramenta de superfícies complexas definidas por malha de pontos ("MESH"). A Boeing Company criou pacotes adicionais para usinagem de cavidades que não eram supridas pelo APT padrão (COX, 1988). Muitas outras variações do APT foram desenvolvidas fora dos Estados Unidos: o

NELAPT no National Engineering Laboratory no Reino Unido; o EXAPT na Alemanha; o IFAPT na França (LESLIE apud BESANT, 1985).

A maior dificuldade na utilização desta linguagem está nas declarações geométricas, tarefa esta muito sujeita a erros. Outros inconvenientes são:

- necessidades de plataformas de hardware poderosas (mainframes ou minicomputadores), representando uma grande barreira na utilização da tecnologia de programação automática por pequenas empresas. Entretanto algumas versões para microcomputadores já se encontram disponíveis. A N/C Software Inc desenvolveu uma versão para PC's possuindo rotinas utilitárias que criam automaticamente a definição geométrica de um programa APT diretamente da Base de Dados CAD através da interface padrão IGES (Initial Graphics Exchange Specification), gerando o desenho com suas entidades rotuladas para auxiliar o programador na definição da movimentação. A vantagem da utilização da linguagem APT sobre os outros métodos com interface totalmente gráfica ocorre quando a superfície a ser usinada se torna de grande complexidade (COX, 1988).
- necessidade de se aprender uma linguagem especializada para descrição da geometria da peça e posterior movimentação da ferramenta sobre ela e necessidade de digitação das instruções, constituindo grandes fontes de erros na confecção dos programas, atrasando sobremaneira a confecção da peça.

Os custos com a programação CN tornam-se consideráveis se as formas a serem usinadas são complexas ou o lote é pequeno. SOEDA (1980) propôs um método para comparar e quantificar os custos envolvidos na programação CN utilizando-se os métodos manual, com apoio de linguagem orientada (APT) e APT com uso de MACROS. Os resultados obtidos dos testes realizados são valores grosseiros, mas úteis para uma análise global.

O uso do APT, comparado ao método manual, reduziu em aproximadamente 50% o custo da programação (para o mesmo número

de passos de programa), ressaltando-se ainda que, com o uso de linguagem orientada, necessita-se muito menos passos para a geração de um programa. Com o uso de MACROS, o número de passos reduziu para 1/10 a 1/20, comparado ao APT SEM MACROS. Os custos de APT COM MACROS não são diretamente proporcionais ao número de passos, mas permanecem quase que constantes. Estes estudos não incluíram os custos de desenvolvimento das MACROS, devendo-se portanto uma avaliação econômica prévia para tal uso.

### **2.3.3.2 - PROGRAMAÇÃO VIA CAD/CAM**

Com o avanço da automação na manufatura, as tecnologias "Computer Aided" tornaram-se o foco central da indústria moderna. Entretanto, a falta de integração tem se constituído no maior problema para exploração plena do potencial disponível.

CAD/CAM implica num processo integrado, onde a tecnologia computacional é incorporada ao projeto e manufatura de produtos. Entretanto, uma das maiores críticas dos sistemas CAD/CAM atuais é a inexistência do principal elo de ligação entre estas tecnologias, ou seja, um método genérico de reconhecimento automático das operações de processo diretamente da base de dados CAD, sem qualquer intervenção humana (WANG & WYSK, 1988).

CAPP é a principal interface entre CAD e CAM e constitui-se num problema difícil, ainda não resolvido adequadamente. Esforços têm sido concentrados em duas grandes frentes: interface CAD e geração automática de folha de processos (CHANG & WYSK, 1984; ALTING & ZHANG, 1989).

Segundo HAM & LU, o termo integração difere do termo interfaceamento. Pode ser tarde demais integrar uma atividade quando seus sub-resultados, tais como especificações de projeto e fabricação, ou decisões para processo e planejamento da operação são decididos separadamente (ALTING & ZHANG, 1989).

Atualmente, alguns estudos tentam buscar tal integração. Contudo, os resultados apresentados estão longe de uma verdadeira integração da produção. As abordagens atuais estão tentando principalmente interfacear várias atividades separadas nas fases de projeto, fabricação e planejamento. Cada uma das fases continua com sua própria base de dados (B.D.) independente, ao invés de uma B.D. única, com todas as informações envolvidas na fabricação do produto. Esta B.D. única, ideal, poderia incluir todos os dados do projeto, análise, desenho, planejamento do processo, programação CN, programação da produção, etc. Tal B.D. não existe nos dias de hoje e mesmo a tecnologia para sua implementação é muito incipiente, mas tal sistema pode ser considerado como um objetivo futuro (ALTING & ZHANG, 1989).

Muitos estudos têm sido concentrados nestas soluções de interfaceamento de dados. O padrão de interface IGES (Initial Graphics Exchange Specification) surgiu em 1981, sendo a versão IGES 2.0 publicada em fevereiro de 1983, a IGES 3.0 em abril de 1986, e IGES 4.0 em junho de 1988. O objetivo é fornecer uma base que permita a troca compatível de dados por diversos sistemas CAD/CAM. A maioria dos fabricantes de software oferecem tradutores IGES, mas as incompatibilidades ainda são muitas e erros ou perdas de informação são bastantes frequentes, isto é, tradutores 100% compatíveis ainda não estão disponíveis (YANG, 1989).

Outra alternativa encontrada para interfaceamento é o chamado formato externo da base de dados. Exemplos disto é o DXF (Drawing Interchange Format, da Autodesk) e o SIF (da Intergraph). Estes formatos foram desenvolvidos pelos fabricantes de CAD para permitir que usuários tenham acesso à base de dados interna, facilitando o desenvolvimento de aplicativos especializados (MAYER, 1987).

A ISO (International Standards Organization) está trabalhando no sentido de combinar as melhores características de vários padrões para criar um abrangente: o STEP (Standard for the

Exchange of Product Data). Os maiores contribuintes são IGES (versões 3 e 4), o PDES (Product Definition Exchange Standard), o PDDI (Product Definition Data Interface), o SET (Standard d'Exchange et Tranfert) e VDA/VDAMA-FS (da República Federal da Alemanha) (CORLEY et alii, 1988). O modelo de produto previsto no STEP descreve características essenciais dos objetos físicos, que são definidos quanto à forma física, dimensões e especificações. As peças são identificadas univocamente, através da especificação da matéria-prima, geometria, tolerâncias de forma, especificações de acabamento superficial, de inspeção e intercambiabilidade, etc. (NAVARRO, 1991).

No início da década de 80, nos Estados Unidos, alguns sistemas de programação CN começaram a ser utilizados em estações gráficas, mascarando a complexa linguagem CN em interfaces mais amigáveis ao usuário. O que consumia 10 horas quando feito manualmente e uma hora feito através de linguagem de programação orientada, precisava de apenas meia hora utilizando-se uma estação gráfica (BECKERT apud FERRAZ et alii, 1991). Segundo KOBYLINSKI (1985), soluções "turn-key" de workstations baseados em intensa interação gráfica é a solução mais eficiente para auxílio na programação CN. Em oposição, alguns sistemas de linguagem orientada, processando em "batch" podem, algumas vezes, ser menos eficientes que a programação manual.

Por volta de 1985, os computadores pessoais (PC) começaram a ser utilizados em aplicações em engenharia. Os modelos antigos não eram suficientes para suprir aplicações em Comando Numérico; entretanto, a rápida evolução e barateamento do hardware permitiu sua enorme difusão nesta área. Segundo estimativas de fabricantes norte americanos, dos 250.000 PC's vendidos às indústrias americanas em 1989, 25.000 são usados em aplicações com CN (FERRAZ et alii, 1991).

Com a evolução dos sistemas CAD para microcomputadores, as dificuldades de definição geométrica e movimentação da ferramenta, apresentadas pelas linguagens orientadas, foram facilmente contornadas, uma vez que:

- houve a eliminação de trabalhos redundantes, pois aproveita-se os próprios desenhos de engenharia, que fornecem todas as coordenadas necessárias à definição geométrica, de forma rápida e precisa (desenhos consistentes);
- a existência de uma interface amigável, com o uso do "mouse", possibilita a fácil navegação sobre as entidades do desenho, permitindo uma confiável definição do movimento desejado para a ferramenta.

Vários recursos são disponíveis para aumentar a produtividade na utilização dos sistemas CAD. O uso de elementos parametrizados (macros) é um deles. Segundo BESANT (1985), macros são componentes padrão ou itens semelhantes que estão em uso regular no projeto. Estes elementos podem ser criados uma única vez, e reproduzidos posteriormente com pouco esforço. Os componentes podem variar no tamanho, mantendo-se o formato básico. Para geração destes itens são utilizadas linguagens de programação gráfica, como por exemplo: AutoLISP (utilizado pelo AutoCAD da Autodesk), GIM (utilizado pelo MICROCADAM da IBM), EUCLID (utilizado pelo EUCLID-IS da Matra Datavision) (ANACLETO, 1991).

Muitos sistemas CAD possuem o recurso para definição de diferentes "layers" (camadas ou níveis), como ferramenta para agrupar ou selecionar entidades. Este recurso é muito importante para permitir um gerenciamento eficiente das entidades do desenho. Um número excessivo destes "layers" pode prejudicar a produtividade do usuário; por outro lado, poucos "layers" podem ser insuficientes para a seleção e organização desejadas (FYDA, 1991).

A Point Control Co. sugere uma relação de regras básicas para geração de desenhos CAD, visando o uso eficiente em programação de controle numérico (COMPUTER-CONTROLLED, 1988):

- os dados numéricos (coordenadas) devem ser precisos;

- os desenhos devem estar em escala real;
- separar, através de "layers", as notas e dimensões das entidades do desenho;
- estabelecer padrões na nomenclatura dos layers, facilitando o trabalho de diferentes projetistas ou programadores no mesmo desenho;
- evitar sobreposição de entidades geométricas. O resultado da movimentação da ferramenta é imprevisível se um arco ou linha é copiado sobre outro já existente;
- garantir a continuidade do contorno, isto é, as entidades que compõem o perfil devem conectar-se dentro da acuracidade da máquina ferramenta;
- os requisitos da aplicação devem ser atendidos. Se um projeto pede operações de fresamento que requer movimentos em "Z", o CAD escolhido deve ter recursos 3D.

#### **2.3.4 - SIMULAÇÃO**

Hoje, a programação é altamente facilitada pela alta performance dos sistemas de programação com suporte para geometrias complexas e determinação automática dos dados tecnológicos. Entretanto, os erros na programação não podem ser totalmente evitados apesar dos extensivos cuidados tomados. Uma usinagem em "vazio" para teste do programa CN gerado acaba sendo sempre necessário. Este teste do novo programa CN diretamente na máquina oferece inconvenientes, como alto consumo de tempo não produtivo, pode causar danos à máquina ou à segurança do operador, e a impossibilidade de detecção de pequenos erros.

A simulação gráfica dinâmica do programa CN permitiu que a fase de testes, antes feita diretamente na máquina, fosse executada agora em vídeos coloridos de alta resolução. Estes recursos permitem extensivas verificações prevendo colisões com a peça ou sistemas de fixação, possibilitando a remoção de erros ou a otimização da movimentação da ferramenta e o levantamento dos tempos envolvidos no processo.

O Instituto para Sistemas de Produção e Tecnologia de Projeto de Fraunhofer (IPK, Berlim) tem estudado por muitos anos o processo de simulação de programas de usinagem em máquinas CNC. Comprovaram que uma realística representação do processo de usinagem no vídeo gráfico fornece subsídios para reconhecimento claro de erros de processo ou programação, permitindo a correção em tempo, antes da usinagem real da peça (POTTHAST et alii, 1988).

O uso de sistemas de simulação acoplados com um sistema de programação ou sistema CAD simplifica consideravelmente os dados de entrada para uma simulação dinâmica. Os dados geométricos da peça bruta e acabada podem ser transferidos diretamente dos sistemas de programação automática ou dos sistemas CAD. Novamente se faz a necessidade de uso de interfaces padronizadas para troca de dados entre um sistema de simulação e o sistema CAD.

O sistema de simulação gráfica deve tornar o programa CN visível com todas as condições e funções existentes na máquina. Muitas máquinas possuem já incorporadas no próprio controle um sistema de simulação dinâmico, usando o próprio painel de operação para visualização (ESAB, 1989). A complexidade da operação de usinagem e o realismo desejado determinam o modelo gráfico exigido. No caso de operações de corte de chapas, um modelo 2D é suficiente. Operações de fresamento exigem no mínimo 2 vistas para verificação, pois entidades tri-dimensionais serão processadas.

### 2.3.5 - PÓS-PROCESSADORES

Um pós-processador é um software que tem a função básica de, a partir de um programa escrito em uma linguagem neutra universal, produzir um programa correspondente para uma máquina CN, levando em consideração suas características e as do comando numérico que a controla (HAASE, 1987).

A não normalização dos CN's e linguagens de programação existentes e as diferentes características de cada máquina-ferramenta com diferentes dispositivos agregados a elas, levam ao desenvolvimento de pós-processadores específicos para cada equipamento (ROCKWELL, 1987). Entretanto, técnicas de desenvolvimento de pós-processadores envolvendo auto-teste, programação modular, rotinas-padrão e padronização de variáveis e rótulos, reduzem drasticamente o tempo e custo necessários a cada nova implementação.

O pós-processador lê os registros do CLDATA (item 2.3.3.1), testando os dados quanto à sintaxe e semântica, processa os comandos de movimentação, funções auxiliares e preparatórias, seleção de ferramentas, avanço e rotação, gerando por fim o código CN e relatórios.

Um dos problemas do CLDATA é a dificuldade de utilização plena dos ciclos específicos de cada máquina. A especificação de um comando direto ao pós-processador ao nível do programa fonte APT, deixa o CLDATA não neutro, pois este contém agora comandos específicos de determinada máquina.

Segundo HAASE (1987), existem quatro princípios básicos para elaboração de um pós-processador:

- Sistema tipo utilitário, onde programas de biblioteca tratam das tarefas gerais, como ler e testar registros CLDATA, cálculos e operações padrões, gerenciar a emissão de blocos CN.

As tarefas específicas de cada máquina terão soluções específicas.

- Sistema de blocos, onde é utilizado o mesmo princípio anterior de sistema utilitário, onde as rotinas padrões são a base do pós-processador. Aqui os problemas alternativos (diferenciados para cada máquina) são solucionados por rotinas normalizadas, que podem ser ligadas com os módulos padrões. A normalização destas rotinas auxiliares devem seguir regras rígidas na definição de áreas comuns, nomes de variáveis, parâmetros, rótulos, etc. A grande variedade de CN's com características distintas impede a completa normalização dos módulos, levando à utilização de um sistema misto. Experiências mostraram que utilizando este princípio, 50% dos subprogramas ficam constantes, podendo ser utilizados diretamente; 33% sofrem pequenas alterações e 17% são subprogramas novos (HAASE, 1987).
- Sistemas generalizados, onde um pós-processador é desenvolvido de forma a processar a maior gama de máquinas e comandos possíveis. As informações de cada conjunto máquina/comando ficam armazenadas em tabelas.
- Gerador de pós-processadores, onde um software utiliza dados em forma de tabelas para gerar automaticamente o pós-processador na sua linguagem fonte (ex: FORTRAN). Isto permite a criação de pós-processadores sem conhecimentos profundos da linguagem. Um exemplo deste sistema é o DAPP (Design Aid for Post Processors) desenvolvido pela IBM.

Historicamente, o pós-processador era visto como um simples "tradutor" do arquivo em linguagem neutra para a linguagem CN (ROCKWELL, 1987). Na verdade, ele atua também como otimizador e padronizador na programação das máquinas (HAASE, 1987).

Segundo ROCKWELL (1987), existem mais dois níveis de evolução para os pós-processadores. O segundo nível consistiria de um pós-processador único, que acessaria uma base de dados CAD

e produziria o programa CN para qualquer máquina existente. A vantagem desta concepção é que o pós-processador analisaria a sequência de máquinas utilizadas e teria a capacidade de lembrar a operação realizada na máquina anterior, não duplicando operações e otimizando as instruções CN para cada roteiro alternativo no processo. Entretanto, as instruções CN seriam ainda geradas a partir de dados estáticos de projeto. A terceira concepção utilizaria o conceito de pós-processamento dinâmico, que integraria dados estáticos de projeto com resultados dinâmicos do processo, de forma a antecipar e se adaptar para as situações reais, como falta de algum elemento, quebra no equipamento, etc. A técnica usada na implementação do pós-processador dinâmico seria através de conceitos de sistemas especialistas, onde o conhecimento relativo à capacidade da fábrica e instruções de fabricação seriam mantidos independentes da lógica do programa.

#### **2.4 - A PROBLEMÁTICA DO "NESTING"**

Um problema de importância teórica, bem como de grande interesse industrial é o problema do encaixe de peças, comumente denominado "Nesting". Nas indústrias que processam corte de chapas, 50% ou mais dos elementos cortados são de formato retangular. Embora algoritmos tenham sido desenvolvidos para peças irregulares, poucos foram publicados, devido ao segredo industrial envolvido. Daqueles publicados na literatura, nenhum apresentou todos os requisitos para um bom algoritmo de "Nesting" automático (QU & SANDERS, 1987), que são:

- capacidade para encaixar peças regulares e irregulares;
- eficiente em velocidade de processamento;
- eficiente no aproveitamento da matéria-prima;
- fácil de usar;
- ajustável para qualquer quantidade de elementos, podendo requerer mais que uma chapa.

Os algoritmos apresentados eram muito limitados para serem adaptados para aplicações gerais, ou suas características de performance não foram investigadas profundamente, desde que itens específicos foram selecionados nos testes para "Nesting" (QU & SANDERS, 1987).

DAGLI & TATOGLU (1987) classificam os problemas de encaixe de peças segundo 3 atributos, que podem combinar-se, formando diversos sub-grupos:

- Dimensão: unidimensional, bi-dimensional, tri-dimensional;
- Número de Chapas: única x várias chapas;
- Formato das Peças: retangular x irregular.

Segundo DAGLI & TATOGLU (1987), o problema do corte uni-dimensional de um material, em peças menores, cada qual com um tamanho diferente, de modo a maximizar o total de peças cortadas (ex: corte de barras), foi tratado por diversos autores usando programação linear ou técnicas de busca em árvore. CHOW (1979) expõe 3 diferentes métodos para encaixar uma única peça, segundo uma ou duas colunas, sobre uma tira de matéria-prima. Este recurso é bastante útil para produção em larga escala, como estampagem, onde o custo da matéria-prima é significativo.

O corte bi-dimensional requer o uso de planos (normalmente retangulares), onde as peças devem ser encaixadas, visando minimizar as perdas. A aplicação se estende em diversas áreas, como corte de chapas, placas de vidro, madeira, tecido, couro, etc. Um caso especial de corte retangular é o corte "tipo guilhotina", onde os cortes vão de uma aresta a outra da chapa (ex: corte de papel ou vidro). O objetivo do "Nesting" bi-dimensional pode ser então resumido em minimizar as perdas, ou maximizar o total de peças encaixadas, sujeitas às seguintes restrições (DAGLI & TATOGLU, 1987):

- os itens devem ficar inteiramente dentro da chapa;
- os itens não devem se sobrepor;

- alguns itens necessitam ser posicionados numa região específica da chapa (ex: corte de calçados);
- alguns itens necessitam ser posicionados numa orientação específica (ex: corte de vestuário);
- deve existir uma tolerância de afastamento entre itens (ex: corte de chapas metálicas por oxicorte ou plasma);
- outras possíveis restrições (ex: corte "tipo guilhotina", restrições quanto aos tipos dos padrões, etc.).

CHRISTOFIDES & WHITLOCK (1977) apresentaram um algoritmo de pesquisa em árvore para o problema de cortes retangulares tipo "guilhotina", num "layout" de chapa única.

O problema do "Nesting" não é simples, mesmo quando as peças são retangulares. Portanto, ao invés de se buscar a solução ótima, a maior parte das pesquisas tem tentado soluções heurísticas.

Alguns pesquisadores desenvolveram algoritmos para obter um bom "layout" para uma única chapa, e então, o mesmo algoritmo era repetido para outras chapas, até o término da lista de peças. Outros, tratavam simultaneamente toda a lista de peças em várias chapas (de mesmo tamanho), e então melhorava o arranjo usando técnicas de "back-tracking". Outro enfoque é a busca do melhor tamanho da chapa (QU & SANDERS, 1989).

QU & SANDERS (1989) propuseram um algoritmo desta natureza, ou seja, dado um conjunto com diferentes tamanhos de chapas, é determinado o sequenciamento das chapas a serem usadas para se obter as menores perdas. Os resultados destes estudos mostraram que o "layout" de chapas de tamanhos múltiplos, muitas vezes, é mais importante que encontrar o melhor "layout" em chapas de tamanho único. A economia obtida depende de vários fatores, tais como, o método usado para "Nesting", a quantidade de chapas de tamanhos diferentes, a distribuição das peças nas

listas de materiais, o tempo e memória disponível para os cálculos computacionais. Nos experimentos, as reduções nas perdas variaram de 10% a 50% comparados ao melhor "layout" de chapa de tamanho único.

Desde que qualquer formato pode ser aproximado por polígonos com um número de lados suficientemente grande, muitos algoritmos tentam reduzir o problema original em subproblemas mais simples, como a substituição do contorno das peças por retângulos. DORI & BEN-BASSAT (1983) desenvolveram um método para converter polígonos em hexágonos, com um mínimo no acréscimo da área. A média de eficiência, definida pela razão da área original pela final, foi de 96%.

ISRANI & SANDERS (1985) comparam a performance de um grupo de métodos heurísticos para "layout" retangular, em termos de aproveitamento e consumo de tempo. Pelos testes, concluíram que para uma grande variação na largura das peças, a ordenação da lista de material pelo comprimento produzia melhores resultados em termos de compactação. Sob baixa variação na largura, ocorre o oposto. O uso de intervenção humana produz, em média, uma melhoria de 6% no aproveitamento final, mas decresce com o aumento das áreas das peças.

Segundo QU & SANDERS (1987), as abordagens disponíveis na literatura sobre "Nesting" de peças irregulares podem ser resumidas em 2 grupos.

Uma abordagem é o método de "módulo retangular", onde as peças irregulares são envolvidas em módulos retangulares de diferentes tamanhos. Estes módulos são então tratados como peças retangulares no "layout" da chapa.

A outra abordagem é o método de pesquisa heurística, como o usado por ALBANO & SAPUPPO (1980), onde as peças irregulares são definidas através dos vértices de um polígono sem "furos".

QU & SANDERS (1987) propuseram um algoritmo onde as peças irregulares são representadas por não mais que 5 retângulos justapostos. O "layout" destes padrões pode somente ser ortogonal, simplificando o algoritmo e reduzindo o tempo de computação. Nos experimentos realizados, as perdas foram em média de 12,56% para peças retangulares e 19,07% para peças irregulares. Entretanto, DE CANI (1978) salienta que existem problemas na consideração de somente cortes ortogonais, e cita exemplos onde disposições não ortogonais devem ser consideradas, gerando menores perdas da chapa.

No contexto multi-chapa, DAGLI & TATOGLU (1987) propõem um algoritmo de 2 estágios para solucionar "layouts" bi-dimensionais de peças irregulares, formadas por segmentos de retas e arcos. No primeiro estágio, um posicionamento inicial é obtido através de programação matemática, então, num segundo estágio, um posicionamento refinado é feito através de algoritmos heurísticos.

Finalmente, no espaço tri-dimensional, existem vários estudos para melhoria da eficiência no empilhamento de caixas.

## 2.5 - EXEMPLOS DE SISTEMAS EXISTENTES

Os conceitos usuais de "Nesting" consistem em se encaixar diversas formas sobre chapas, de forma a se produzir o maior número de peças, e obter o melhor aproveitamento (redução de perdas da matéria-prima).

O uso de CAD com "Nesting" "interativo" obtém em média, uma eficiência de 84 a 85%, segundo dados de uma empresa metalúrgica, fabricante de estampos e moldes, com volume de corte de 11.000 toneladas/ano em 1989 (JANISZEWSKI, 1990).

O uso de CAD/CAM associado ao "Nesting" diminuiu o tempo dispendido de 3 semanas para 20 minutos, segundo estudos de um fabricante de engrenagens (W. LUCY & Co). Para garantir a máxima utilização da chapa, o sistema busca peças não urgentes da base de dados CAD para atuarem como preenchedores de espaço. O "Nesting" automático torna possível que os custos dos componentes não sejam afetados pelo tamanho do lote. Outra grande vantagem é a facilidade nas alterações das prioridades da programação, mudando rapidamente o "layout" da chapa, se necessário (KELLOCK, 1990).

O problema dos algoritmos de "domínio público", é que uma vez que um item é alocado na chapa, ele não será mais considerado pelo sistema "Nesting", ou seja, a eficiência do sistema depende da ordem com que as peças são apresentadas. Outra limitação é a não consideração de fatores que afetam os custos de fabricação, como as prioridades na programação, coesão da ordem de fabricação, custos operacionais e conhecimentos do processo de fabricação.

Exemplos de alguns sistemas comerciais são apresentados na figura 2.3.

NOME	FABRICANTE	EQUIPAMENTO	NESTING	
			INTERAT.	AUTOMAT.
OPTINEST	OPTIMATION USA	MICRO-VAX	X	X
PINS	PRECISION NESTING SYSTEM	IBM/SUN/VAX		X
P.E.P. W/GRAPHICS	PEP MEASUREMENT MASTERS, INC.	PC-386 DX	X	X
AUTONEST	COMPUTERVISION	PRÓPRIO		X
DYNANEST	COMPUTERVISION	PRÓPRIO	X	
CIMNEST	W A WHITNEY USA	IBM 3090		X
SOFTWARE SCIENCES		DEC PDP 11/34	X	X
SAPRO	GRUCON (UFSC) BRASIL	PC-AT INTERPRO 32	X	
FASTCAM	ESAB / USA	PC-AT		X
ALTUS 500/500M	NIPPON SANSO JAPÃO	PRÓPRIO	X	
PARTS II PLUS	SHOP DATA SYS USA	PC-AT	X	X
QUICKNEST	MTC / USA	PC-AT/PS2	X	
PRONEST	MTC / USA	PC-AT/PS2	X	X
VENUS NESTING	INFORMATICA TEC ESPANHA	PC-AT	X	X
CAMSCO COMMAND	CAMSCO / USA	PRÓPRIO	X	X

**Fig. 2.3 - Exemplos de Sistemas "Nesting" existentes**

O sistema CIMNEST gera o programa no formato APT, e propositalmente, não permite interação com o usuário quando gera o "layout", pois este poderia tentar aumentar a taxa de utilização da chapa. Segundo a GE, isto desperdiçaria tempo, em troca de um ganho muito pequeno de material de baixo custo (chapas finas) (WILDISH, 1986).

O sistema PARTS II PLUS possui módulo para gerenciamento de sobras de chapas, para cortes de futuros "layouts". O sistema VENUS CORTE gera instruções na sintaxe APT, permitindo ao usuário alterações na geometria ou trajetória da ferramenta (SPINOSA, 1991).

Os sistemas ALTUS 500/500m, PARTS II PLUS, QUIKNEST, PRONEST, e CAMSCO possuem um modelador geométrico 2D interno ao sistema (SPINOSA, 1991). Outros, como OPTINEST, PINS e CIMNEST permitem a importação direta de desenhos de sistemas CAD, através de interfaces padrão (DXF, IGES), ou acesso direto à base de dados CAD, fazendo uso de linguagens dedicadas para programação gráfica (item 2.3.3.2).

O sistema SAPRO, desenvolvido pelo GRUCON (Grupo de Comando Numérico da Universidade Federal de Santa Catarina) representa uma proposta nacional para o problema do corte térmico de chapas. A operação de encaixe é realizada de forma interativa, sendo que as peças são geradas por um modelador 2D interno ao sistema. Neste ambiente são definidos os pontos de entrada e sentido de corte. Terminado o encaixe são possíveis consultas de áreas, perímetros, aproveitamento e sobreposição de peças. Pode-se efetuar o sequenciamento de corte de peças de modo automático (menor distância percorrida) ou manual (interativo). Não apresenta recursos para alteração dos pontos de entrada ou do sentido de corte no "layout" montado. Não permite encadeamento de peças ou corte com vários bicos. A geração do programa pode ser acompanhada de simulação dinâmica. Apresenta outros módulos de suporte para manipulação de arquivos, dados estatísticos (perdas, tempos e aproveitamento) e controle de estoque (informações de chapas em formato não gráfico: comprimento x largura x espessura) (SPINOSA, 1991).

Entre os sistemas automáticos, o OPTINEST e PINS são provavelmente os mais complexos, apresentando recursos envolvendo análise de custos, na obtenção do melhor "layout". São dados diferentes pesos para cada fator, sendo gerado o "Nesting" com o mais baixo custo.

Alguns fatores considerados nestes sistemas são:

- . matéria-prima;
- . máquina operando;
- . mão-de-obra;
- . requisitos de programação;
- . custos de gerenciamento;
- . taxa de utilização de máquina.

Permitem ainda corte com uso de bicos múltiplos, alocam peças menores dentro de recortes internos, efetuam análise em ambiente multi-chapa, reconhecem peças com restrições de orientação e possuem interfaces com outros sistemas CAD (OPTIMATION, s.d.; PRECISION NESTING SYSTEMS, s.d.).

Algumas características adicionais do OPTINEST são:

- permite definir sequenciamento do corte;
- permite interação com o usuário para pequenos ajustes finais (translação, rotação, deleção);
- armazena retalhos residuais para "layouts" futuros;
- não usa o conceito de arquivo neutro e pós-processamento, sendo cada máquina configurada na inicialização do sistema;
- fornece informações de aproveitamento, tempo de corte, etc..

O PINS (Precision Improvement Nesting System) apresenta como características:

- se o "layout" final não satisfizer, o usuário pode incorporar ou eliminar peças, mas não mover os elementos da solução proposta;
- usa o conceito de CLDATA e pós-processamento;
- integrado com módulo de controle de chapas;
- gera relatórios orientativos ao operador (lista de peças, sequência de corte, número de bicos, etc.) e informações de aproveitamento, tempo de corte, etc.;
- permite recursos de "encadeamento" de peças, minimizando os pontos de entrada. O sistema justapõe as peças e utiliza trechos já cortados para alcançar a peça vizinha.

Os sistemas da COMPUTERVISION também consideram a programação de corte, prioridades e alguns fatores que afetam os custos. O sistema interativo possui ferramentas que proíbem sobreposição de peças ou o posicionamento fora dos limites da chapa-base, facilitando sobremaneira o processo de encaixe (VATCHER & PANAGAS, 1986).

O P.E.P W/GRAPHICS realiza o nesting de forma automática, permitindo ajuste manual posterior. Efetua a seleção automática da chapa (consulta lista de estoque) ou calcula as dimensões ótimas para compra de chapas de tamanho especial. Permite corte com vários bicos, determinando automaticamente o número e espaçamento entre tochas. Uma vez gerado o "layout", os pontos de entrada, encadeamentos e sequenciamento de peças podem ser redefinidos manualmente. O sentido de corte não pode ser alterado. Gera relatórios de tempos de corte, de chapas requisitadas (quantidades, tamanhos e especificações), taxas de aproveitamento obtidas, dados das peças (relação, área, peso, sequência de corte, quantidade de bicos e distâncias). Permite importar desenhos via interface DXF (P.E.P., s.d.).

### **3 - AS NECESSIDADES DA EMPRESA**

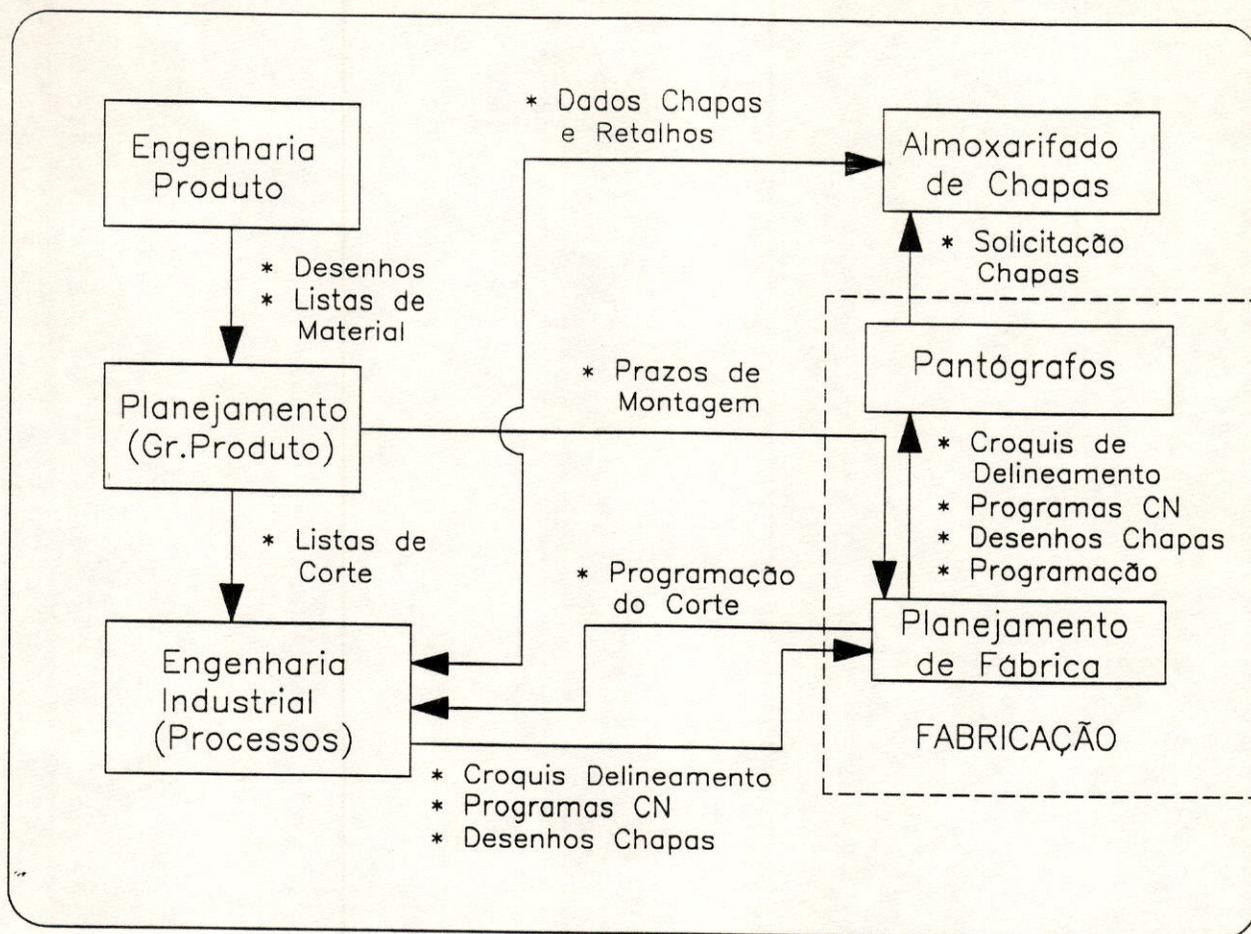
Este trabalho teve como base de estudos uma empresa produtora de bens de capital sob encomenda. A empresa produz uma diversificada linha de produtos, dos quais pode-se citar:

- laminadores;
- máquinas para lingotamento contínuo;
- pontes rolantes, pórticos e carros de transferência;
- equipamentos para petróleo;
- turbinas hidráulicas;
- turbogeradores;
- hidrogeradores.

Neste capítulo é feito um breve relato das características da empresa e dos fatores que influenciaram na concretização deste trabalho.

#### **3.1 - ÁREAS ENVOLVIDAS NO PROCESSO**

Para um melhor entedimento do problema, será ilustrado o esquema representativo das áreas envolvidas no corte térmico e do fluxo de dados/informações entre estas áreas (figura 3.1).



**Fig. 3.1 - Fluxo de Dados/Informações no Corte Térmico**

As Engenharias de Produto projetam os equipamentos, emitindo os desenhos e as listas de material dos vários conjuntos que compõem a obra.

Os desenhos e listas serão encaminhados ao Planejamento (Grupos de Produto), onde cada obra será programada em seus conjuntos e sub-conjuntos principais. A seguir, será atribuído para cada item, um código especial ("legenda"), indicando-se sua procedência ("comprado" ou "fabricado"). Os itens fabricados a partir de corte de chapas (indicados por legenda específica), serão automaticamente inseridos numa "Lista de Corte", que conterá o código e posição do desenho, material e espessura da chapa, dimensões principais, etc..

A Área de Planejamento da Fábrica, recebendo os prazos de montagem de cada conjunto, efetuará a programação do corte e, informará a Área de Processos da Engenharia Industrial das prioridades. A Engenharia Industrial, de posse das listas de corte, desenhos da Engenharia e prioridades de corte, efetuará as planificações e incluirá as informações de processo nos desenhos das peças (chanfros e sobremetal), confeccionando os "Croquis de Delineamento". A partir destes, serão gerados os desenhos de chapas com peças encaixadas ("Nesting") e programas CN. O Planejamento da Fábrica receberá os croquis, desenhos das chapas e programas CN e coordenará a emissão destes para os pantógrafos, conforme programação existente ou capacidade da área. O Almojarifado de Chapas será solicitado pela Engenharia Industrial para consulta da disponibilidade de chapas ou retalhos e pela Área de Fabricação (pantógrafos) na ocasião da operação de corte.

### **3.2 - ORIGENS DO PROBLEMA**

Muitos eram os elementos que prejudicavam um bom desempenho da área de corte térmico de chapas. Com o tempo, novos fatores conjunturais contribuíram para agravar ainda mais os problemas.

#### **3.2.1 - LIMITAÇÕES DOS EQUIPAMENTOS EXISTENTES**

A área de corte dispunha inicialmente de um único pantógrafo CN (controle GE), 4 pantógrafos óticos e um banco de corte com 5 máquinas (2 para corte longitudinal e 3 para corte transversal). Todas as peças que exigiam algum tipo de recorte especial, obrigatoriamente precisavam do pantógrafo CN ou ótico.

Os pantógrafos óticos disponíveis, além dos problemas inerentes ao processo (item 2.2.4.4), trabalhavam somente em escala real (1:1), impossibilitando o processo para peças de grandes dimensões. O pantógrafo CN possuía um controle bastante antigo, onde a entrada de dados era feita somente através de fita perfurada; não possuía recursos de inclusão de novos blocos e rotação de coordenadas (somente espelhamento dos seus eixos principais).

Os problemas imediatos oriundos de tais sistemas eram:

- problemas na armazenagem (espaço físico e controle) dos dados das peças prontas, ou seja, chapelonas e fitas perfuradas. As perguntas eram:

**"Armazenar ou jogar fora?"**

**"Armazenar por quanto tempo?"**

Como as Engenharias de Produto não possuíam um sistema de recorrência para os itens projetados, muitas vezes, uma mesma peça tinha diferentes códigos, o que inviabilizava a reutilização dos programas ou chapelonas feitos anteriormente.

- dificuldades na obtenção de um bom aproveitamento das chapas, gerando um grande volume de sucata, devido à impossibilidade de rotação dos programas CN e operação bastante trabalhosa no pantógrafo ótico, devido ao posicionamento manual das chapelonas. A existência deste recurso permitiria, além de um melhor encaixe, a utilização de pequenas peças para preenchimento dos espaços intermediários. Outra grande limitação era a impossibilidade de aproveitamento efetivo da maioria dos espaços deixados pelos recortes internos, em face da dificuldade de posicionamento prévio de outras peças dentro destas áreas.
- enorme tempo "improdutivo" dispendido no encaixe das peças, o que era feito no "chão de fábrica". Isto significava tempo de "máquina parada" e movimentações "em vazio" para verificações do encaixe.

- grande movimentação de matéria-prima, pois como normalmente não se conseguia um aproveitamento pleno da chapa, o retalho residual voltava para o almoxarifado.
- demora na elaboração de chapelonas ou programas CN, pois todo o trabalho era feito manualmente, sem qualquer auxílio computacional (sistema CAD e plotter).
- impossibilidade de verificação completa da peça. A simulação "em vazio", no "chão de fábrica", além de provocar um tempo improdutivo, não permitia a detecção de pequenos erros de cálculo (programas CN) ou nos desenhos das chapelonas. A possibilidade de ocorrência de "peças mortas" era grande, caso estas possuíssem uma geometria muito complexa.

### **3.2.2 - EXTENSÃO DA GAMA DE PRODUTOS**

A fábrica, inicialmente projetada para fabricação de 3 produtos básicos (pontes rolantes, laminadores e locomotivas), ampliou sua gama de produtos, passando a fabricar equipamentos para petróleo e geração de energia (hidrogeradores, turbogeradores e turbinas hidráulicas).

Esta última linha de produto apresenta uma grande concentração de itens na área de caldeiraria pesada, aumentando consideravelmente o volume de peças recortadas nos pantógrafos. Na área de turbinas, por exemplo, tem-se o conjunto da caixa espiral, tomada d'água e tubo de sucção que são estruturas calandradas, cujos perfis planificados são bastante complexos. Nestes tipos de peças, a elaboração de chapelonas seria impossível dadas as suas dimensões e a elaboração de programas CN sem o auxílio computacional seria tão trabalhosa que se tornaria praticamente inviável, dado o longo tempo dispendido nos cálculos.

### **3.2.3 - MUDANÇAS NO SISTEMA PRODUTIVO**

Foram implantados modernos sistemas de fabricação, como "células de manufatura", com o objetivo de se reduzir ao máximo o inventário em processo e o ciclo das peças na área de corte.

Houve um aumento na tendência de programação de obras iguais de forma desmembrada, iniciando-se o corte somente nas datas coerentes com o prazo de montagem de cada um dos conjuntos. Embora obras iguais sejam excessão no sistema de produção não repetitivo sob encomenda, essa decisão resultou na elevação do número de peças diferentes em uma mesma chapa e do número de "Nestings" necessários para completar o pacote vendido (pois dificilmente um mesmo "layout" pode ser reaproveitado). Cada chapa passou então a possuir uma grande variedade de peças diferentes, de obras e produtos diferentes, sobrecarregando a área de programação CN.

### **3.2.4 - MODERNIZAÇÃO DO PARQUE DE MÁQUINAS**

A empresa começou também a investir no "retrofitting" de alguns equipamentos, visando a melhoria tecnológica e o conseqüente aumento de produtividade.

A queda contínua nos preços dos novos controles numéricos permitiu uma ampla difusão e popularização desta tecnologia para toda espécie de maquinário. Na área de pantógrafos, a tendência é a total substituição dos óticos pelos CN.

Entre estas atividades de modernização do parque de máquinas houve a incorporação de um microcomputador "dedicado", trabalhando em paralelo ao controle GE (ampliando os recursos do

antigo controle) e a conversão de outros dois pantógrafos óticos para CN, utilizando controles MCS.

O aumento do número de pantógrafos CN trabalhando paralelamente, trouxe como consequência imediata, um acréscimo considerável no volume de programas solicitados. Esta modernização implicou ainda:

**- ELIMINAÇÃO DO USO DA FITA PERFURADA:**

Este método de transferência de programas para a memória do controle, caiu na total obsolescência, pois apresentava uma série de desvantagens (item 2.3.1).

A implantação do DNC na fábrica, acarretou um menor tempo de máquina parada para carga dos programas nas memórias dos controles, aumentando assim, a frequência de solicitação destes dados à Engenharia Industrial.

**- AUMENTO DA CAPACIDADE DE ARMAZENAMENTO:**

Como nos novos controles a memória disponível aumentou consideravelmente (item 2.3.1), viabilizou-se a confecção de programas mais extensos, como por exemplo, o corte de uma chapa completa contendo várias peças em um único programa. O ganho de tempo no "set-up" seria enorme, uma vez que necessitaria um único "zeramento" da chapa, onde todas as peças utilizariam este mesmo referencial.

Esta facilidade operacional traria como "custo adicional" um maior trabalho na confecção dos programas CN. O encaixe necessitaria ser agora realizado no escritório, onde todos os dados de posicionamento (ponto de inserção, ângulo de rotação e espelhamento) de cada uma das peças deveriam ser previamente conhecidos. Isto constituiria numa tarefa bastante árdua, caso fosse feita sem o uso do computador.

### 3.3 - REQUISITOS DO SISTEMA

Pelo exposto no item anterior, conclui-se que medidas urgentes deveriam ser tomadas para se evitar o colapso da área de programação CN.

As soluções existentes seriam aumentar o número de programadores CN ou prover recursos que aumentassem a velocidade de confecção dos programas.

Obviamente, a primeira alternativa resolveria parcialmente o problema, gerando uma maior "vazão" de programas. Mas, por outro lado, traria outros, como o aumento da mão-de-obra indireta e custos com treinamento em programação CN.

Outros problemas, como a confiabilidade dos programas feitos manualmente e o grande tempo dispendido na confecção de programas complexos continuariam a existir, uma vez que a checagem continuaria a ser realizada no "chão de fábrica" e, normalmente, não é viável a alocação de vários programadores para uma mesma peça.

Pelas características dos problemas, era evidente a necessidade de adoção de algum sistema computacional de apoio à programação CN.

Segundo KOCHAN (1987), são requisitos básicos de um sistema CAD/CAM:

- ser adaptável para diferentes plataformas de "hardware";
- possuir estrutura modular, permitindo implantação gradual e expansões futuras;
- ser de fácil modificação;
- possuir interface amigável com o usuário;
- possuir alta velocidade de processamento;
- ser de fácil aprendizado;
- possuir simplicidade de interfaces.

Como complemento destes requisitos, o sistema deve:

- atender às reais necessidades da fábrica na área de corte térmico (oxicorte e plasma);
- ser de baixo custo de implantação;
- ser compatível com os sistemas CAD disponíveis no mercado, permitindo "importação" dos desenhos da Engenharia.

Os melhores sistemas existentes no mercado, na época, (Sistemas NESTING automáticos - item 2.5) apresentavam como grande inconveniente, o alto custo de implantação. Necessitavam de plataformas de hardware potentes ("workstations", "minicomputadores" ou "mainframes"), além do elevado custo do "software" propriamente dito. Alguns sistemas de menor porte não possuíam os recursos desejáveis para o processamento eficiente de encaixes de peças numa chapa.

Em vista dos problemas acima e dos recursos disponíveis para a época, decidiu-se desenvolver um sistema "interativo". O encaixe de peças seria feito de modo manual e interativo numa estação gráfica. Contudo, todos os cálculos e geração do programa CN seriam automáticos e transparentes ao usuário. A checagem dos programas seria viabilizada através de uma completa simulação gráfica do percurso da ferramenta (bico de corte), com recursos de ampliações (ZOOM) e verificações de distâncias e coordenadas.

Na solução proposta, não haveria aumento de efetivo, sendo feita uma realocação de funções a um baixo custo de treinamento. Afinal, decidir o "hardware" e o "software" a serem adotados são questões importantes. Mas igualmente importante, se não mais, são as decisões de treinamento apropriado das pessoas em todos os níveis envolvidos, visando uma integração em termos de CIM. Afinal, "microchips não fazem CAD/CAM e CIM funcionar, as pessoas sim" (WISSMANN, 1988).

## **4 - MÉTODO DE PROGRAMAÇÃO PROPOSTO**

Neste capítulo será detalhado um método de programação CN estabelecendo as funções a serem desempenhadas pela Área de Processos (Delineamento), e que atenda as necessidades do processo de corte térmico. Em seguida, são descritos os recursos humanos e físicos ("hardware" e "software") necessários à viabilização do modelo proposto.

### **4.1 - FUNÇÕES DE PLANEJAMENTO DE PROCESSO**

O fluxo operacional das peças a serem recortadas num pantógrafo CN pode ser dividido em 4 etapas:

- Desenho das Peças e dos Croquis de Delineamento
- Processamento das Peças (Compensação e Geração do CLDATA)
- Encaixe de Peças e Processamento da Chapa ("Nesting")
- Pós-Processamento de Peça Individual ou da Chapa Completa (Programas CN)

Em cada uma destas etapas serão gerados arquivos padronizados, os quais servirão de entrada para as etapas subsequentes.

#### **4.1.1 - DESENHO DA PEÇA E CROQUI DE DELINEAMENTO**

É requisito primordial que as peças sejam desenhadas através de algum software gráfico (CAD), e que todos os itens desenhados ou extraídos estejam planejados em escala real (1:1), pois as informações dimensionais necessárias serão obtidas

diretamente de suas entidades primárias, tais como, pontos, linhas e arcos (item 2.3.3.2).

Numa condição ideal, o desenho da peça acabada deve vir diretamente do Detalhamento da Engenharia de Produto, no formato eletrônico compatível, ou seja, arquivo de desenho CAD. Fazendo-se uso de um "software extrator" ou mesmo "editando-se" o desenho, deve-se obter somente os itens de interesse para a Área de Processos, ou seja, as peças que serão cortadas de chapas. Na inexistência deste intercâmbio eletrônico de dados, o Delineamento, de posse do desenho (papel) da Engenharia, deve desenhar através do CAD os itens desejados.

Os itens de interesse serão armazenados em arquivos independentes e serão tratados conforme a aplicação e processo que será empregado em cada um deles.

Para cada um destes arquivos (peças acabadas) será criado o chamado "Croqui de Delineamento", que consiste do desenho da peça com as dimensões ajustadas com a quantidade de sobremetal necessário, seja devido a uma operação de usinagem posterior, dobra (calandra ou dobradeira), contração de soldagem, etc. Além de dados dimensionais, este Croqui contém todas as informações da matéria-prima e detalhes importantes de Processo de Caldeiraria, como características dos chanfros de soldagem. Este Croqui de Delineamento acompanhará a peça nas operações de recorte, chanframentos e dobras, como orientação para os operadores.

Nota-se que somente informações dimensionais não são suficientes para uma completa integração CAD/CAM. Informações extras, quanto ao tipo de matéria-prima e processo devem ser associadas às entidades, de forma a permitir uma extração automática rápida e confiável (item 2.3.3.2).

Como solução imediata (mas longe da ideal) para os problemas acima, tem-se empregado, com frequência, os recursos de "atributos" e "layers", disponíveis na maioria destes sistemas (item 2.3.3.2). Com isto, pode-se diferenciar, com certa facilidade, os itens conforme a origem da matéria-prima (forjados, fundidos, barras, chapas, etc). Estes mesmos atributos poderão ser usados para informar, por exemplo, o tipo de operação a ser realizada (modo de compensação, a forma de entrada da ferramenta na peça, o sentido de corte, etc...).

Peças com grande similaridade de forma (famílias de peças) podem ser desenhadas automaticamente através de programas parametrizados, agilizando sobremaneira o trabalho de geração dos "Croquis de Delineamento". O trabalho de implementação consiste na criação de rotinas em alguma linguagem de alto nível suportada pelo sistema CAD. Posteriormente, os desenhos podem ser obtidos facilmente, com pouco esforço e apresentando ainda vantagens quanto à qualidade e confiabilidade das figuras geradas (item 2.3.3.2).

Deve-se inicialmente fazer um levantamento de formas específicas mais utilizadas, com características bem definidas, que permitam a padronização e parametrização.

A interface com o usuário deve ser a mais amigável possível. Devem ser desenvolvidos "menus de ícones" (para a seleção dos parametrizados) que efetuarão as chamadas para as rotinas geométricas correspondentes.

As informações que devem ser fornecidas para a geração automática destes desenhos variarão conforme as características de cada "família".

{ As informações manipuladas nesta fase são:

**Entrada** : .Arquivo CAD da Peça Acabada.

**Processamento:** .Análise do processo a que será submetido a peça, com conseqüente alteração do desenho (inclusão do sobremetal e chanfros).

**Saída** : .Arquivo CAD do Croqui de Delineamento.

#### **4.1.2 - PROCESSAMENTO DAS PEÇAS**

De posse dos Croquis de Delineamento (já arquivados no microcomputador), deve-se efetuar o processamento de cada peça individualmente. Este procedimento consiste de 5 etapas:

- determinação do ponto de entrada em cada recorte
- identificação da seqüência dos recortes
- determinação do sentido que se efetuará o recorte ao longo de cada contorno.
- compensação automática dos contornos
- geração dos arquivos CAD da peça compensada e arquivos de coordenadas de movimentação (CLDATA).

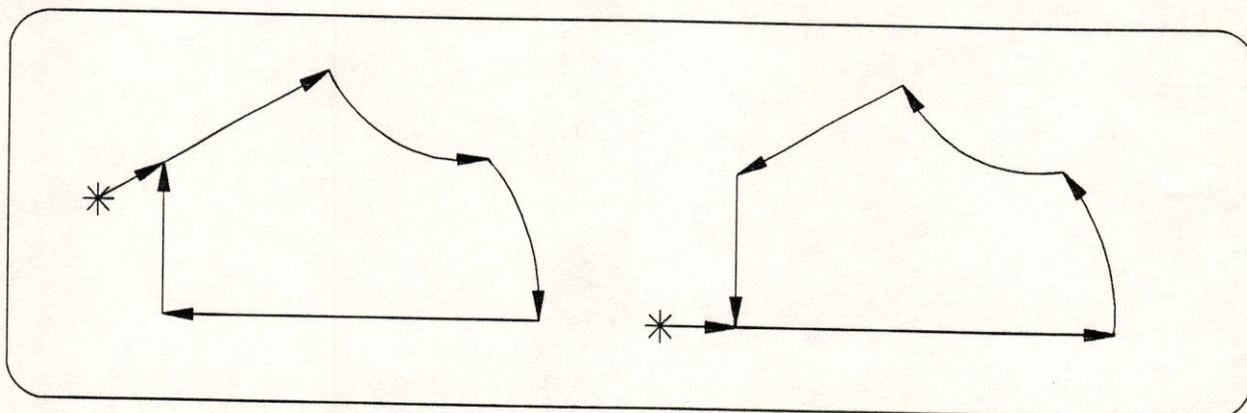
##### **4.1.2.1 - DETERMINAÇÃO DO PONTO DE ENTRADA**

No processo de corte térmico, o ponto de entrada é um dos elementos críticos, sendo normalmente efetuado fora do contorno da peça (item 2.2.2).

Uma vez identificado este ponto de início em cada um dos recortes (internos e externo), deve-se definir a forma como será feita esta entrada, ou seja, o percurso da "borra" de entrada até a aresta do contorno. Serão definidos 3 tipos básicos de entrada (vetores):

**- TANGENCIAL :**

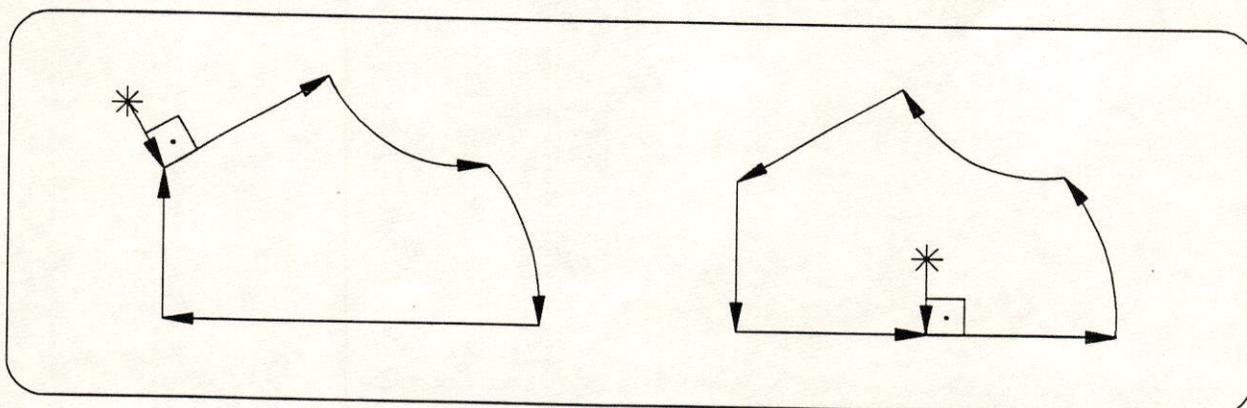
Usado somente em recortes externos. A entrada é feita num dos vértices e é tangente à aresta de entrada. Pode ser usado sempre que a entrada for realizada numa aresta reta do contorno, como mostrado na figura 4.1.



**Fig. 4.1 - Vetor de Entrada Tangencial**

**- PERPENDICULAR :**

Usado tanto em recortes externos como internos. A entrada pode ser feita num dos vértices ou em qualquer ponto da aresta. O vetor perpendicular é tomado em referência à aresta que dará início ao recorte da peça (figura 4.2). No caso de círculos esta será a única opção disponível.



**Fig. 4.2 - Vetor de Entrada Perpendicular**

## - BISSETRIZ :

Usado tanto em recortes externos como internos. A entrada é feita num dos vértices e segundo a bissetriz das 2 arestas que formam o vértice. Estas arestas podem ser compostas por retas ou arcos, como ilustrado na figura 4.3.

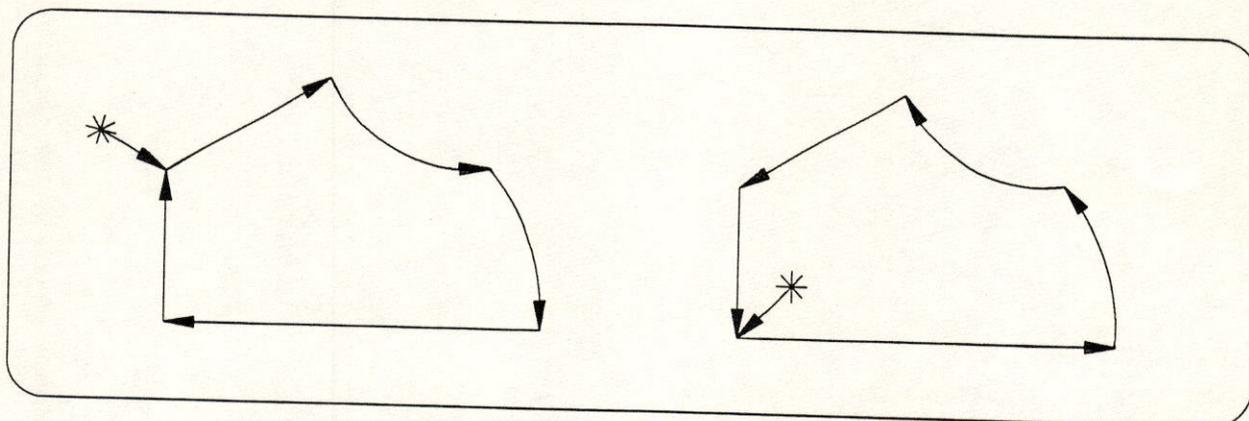


Fig. 4.3 - Vetor de Entrada Bissetriz

Para cada recorte existirá um único ponto de entrada associado. Será criada então uma entidade geométrica "ponto" ("POINT") para definir a posição exata do início de cada recorte. Esta entidade além das coordenadas da entrada, carregará como atributo a informação do tipo (vetor) de entrada desejado.

### 4.1.2.2 - IDENTIFICAÇÃO DA SEQUÊNCIA DOS RECORTES

Como visto no item 2.2.2, o contorno externo da peça deve ser o último a ser recortado. Mesmo em relação aos recortes internos, algumas vezes é interessante definir-se um sequenciamento ideal para os recortes. Com isto consegue-se minimizar empenamentos nos cortes de chapas de pequena espessura.

O procedimento proposto é identificar com um número cada recorte, cuja ordem indique a sequência correta a ser

adotada. A condição fundamental é que o último recorte apresente sempre o maior número sequencial para que o software o reconheça como o contorno externo.

Nas situações onde a ordem dos recortes internos não seja importante, é perfeitamente admissível elementos com o mesmo número sequencial. A regra adotada, neste caso, será a ordem com que os elementos foram desenhados, ou seja, a ordem que eles aparecerem na estrutura do arquivo de interface padrão (DXF, IGES, etc.). Este número sequencial será também armazenado em um "atributo" ou "layer" associado ao ponto de entrada de cada recorte.

#### **4.1.2.3 - DETERMINAÇÃO DO SENTIDO DE CORTE**

O sentido de corte ideal varia conforme a posição que a peça ocupará no "layout" da chapa (item 2.2.2).

Nesta etapa, como muitas vezes ainda não se tem definida a posição definitiva da peça, deve-se atribuir um sentido arbitrário, admitindo-se esta peça como única dentro da chapa. Na fase posterior do encaixe ("Nesting") pode ocorrer da mesma peça aparecer várias vezes, rotacionada ou espelhada, necessitando então possuir sentidos diferentes para cada situação. Qualquer inversão futura do sentido de corte ou mudança no ponto de entrada será obtida de modo fácil e automático. Esta inversão de sentido ou mudança nos pontos de entrada só será possível nos recortes externos. A facilidade na alteração destas características se deve ao fato de que todos os recortes serão sempre fechados, isto é, no final, o bico de corte retorna exatamente ao ponto de partida original da peça, permitindo então o armazenamento das entidades que compõem o recorte numa lista encadeada "circular".

A escolha do sentido desejado será feita simplesmente selecionando-se, com o "mouse", a entidade vizinha ao ponto de entrada. Esta entidade terá seu "layer" ou "atributo" modificado de forma a identificá-la como a primeira do recorte. No caso de círculos, o sentido será determinado informando se o recorte será horário (CW) ou anti-horário (CCW).

#### **4.1.2.4 - COMPENSAÇÃO AUTOMÁTICA DO BICO DE CORTE**

Como visto no item 2.3.2, a "SANGRIA" pode ser considerada na programação CN de dois modos diferentes. No contexto de corte térmico, as vantagens e desvantagens de cada método são:

##### **- COMPENSAÇÃO CALCULADA PELO C.N.:**

- . limitação na determinação do ponto de entrada. Esta entrada não pode ser num vértice do recorte, pois o controle não consegue calcular a compensação para as duas arestas envolvidas. Isto representa um problema para os recortes internos, pois normalmente os vértices são escolhidos como ponto de entrada, liberando o maior espaço possível para uma eventual peça a ser encaixada em seu interior ("Nesting").
- . dificuldade na checagem do encaixe. Este é provavelmente o maior problema, pois num encaixe com muitas peças de formatos irregulares, torna-se extremamente trabalhosa a verificação dos pontos críticos. Como não se tem uma visão da linha de sangria acaba-se deixando muito material entre peças adjacentes ou sobrepondo peças, o que é mais crítico.

- . dificuldades na geração das linhas de encadeamento, pela mesma razão do item anterior e devido às constantes mudanças no lado de compensação (tool left/tool right). Tais alterações na compensação ocorrem devido aos ajustes no sentido de corte para as diversas peças que compõem o encadeamento.

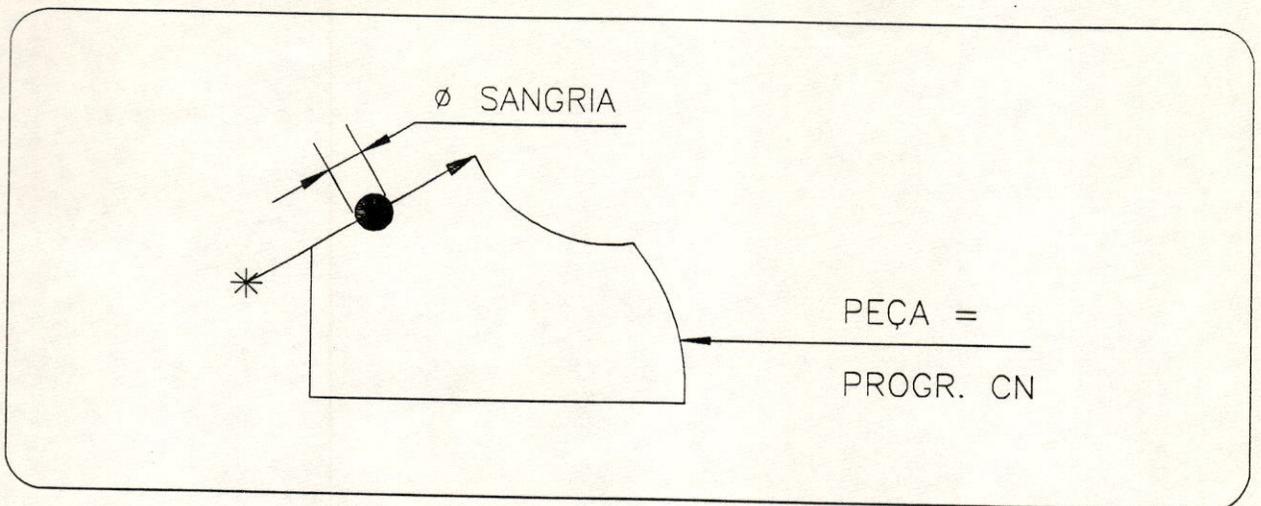
**- COMPENSAÇÃO CALCULADA PELO PROGRAMADOR:**

- . a desvantagem deste método é a dificuldade dos cálculos necessários caso a programação seja feita manualmente. Esta dificuldade deixa de existir se for utilizada uma ferramenta para programação automática (APT, CAD/CAM, etc.).
- . todas as desvantagens do método anterior são suprimidas, pois existe agora, um controle total sobre o modo de entrada na peça, na geração das linhas de encadeamento e no encaixe das peças ("Nesting"). É muito mais fácil efetuar as verificações das distâncias, pois utiliza-se o desenho das peças compensadas, evitando-se assim, com muito maior segurança uma sobreposição dos percursos do bico da chama de corte.

Este último será o método adotado, uma vez que todos os cálculos serão efetuados pelo software. Esta compensação automática proposta poderá ser de 3 tipos:

**- INATIVA**

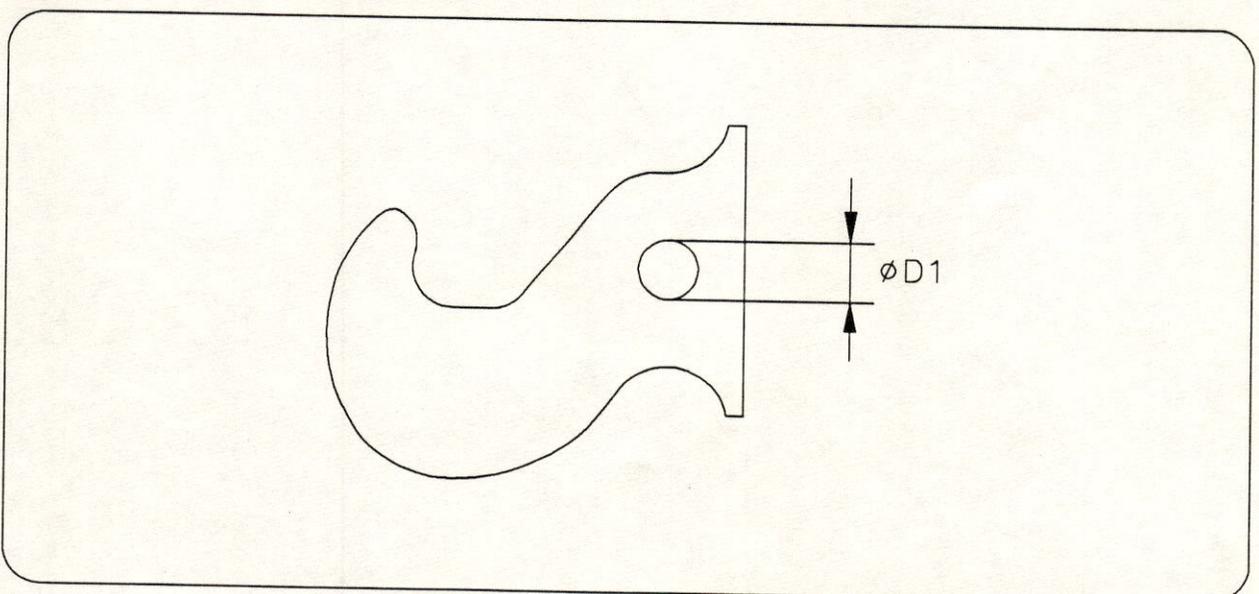
Não será executada nenhuma compensação, ou seja, o contorno gerado coincidirá com o original (figura. 4.4).



**Fig. 4.4 - Compensação Inativa**

Este recurso é bastante útil quando se deseja modificar um programa existente. Se as modificações não afetarem um dos recortes, não há necessidade de compensá-lo novamente.

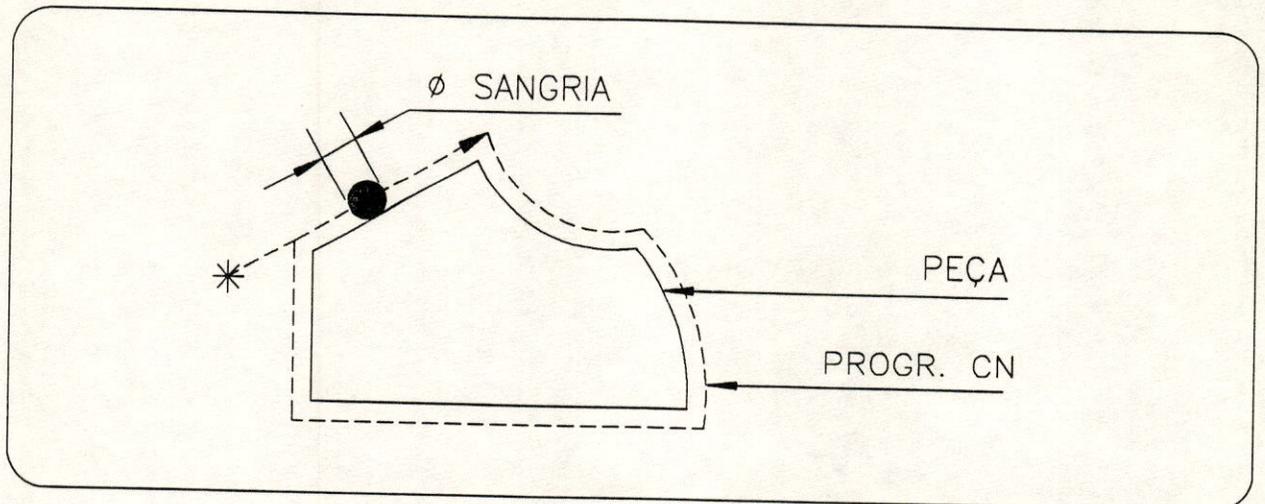
Ex: Seria extremamente trabalhoso redesenhar todo o gancho (figura 4.5) novamente, se somente o diâmetro do furo (D1) tivesse sido modificado. De posse do desenho do programa CN (peça já compensada), elimina-se o furo existente e gera-se um novo furo. A seguir, compensa-se somente este elemento, mantendo o contorno externo inalterado.



**Fig. 4.5 - Exemplo de Aplicação da Compensação Inativa**

**- EXTERNA**

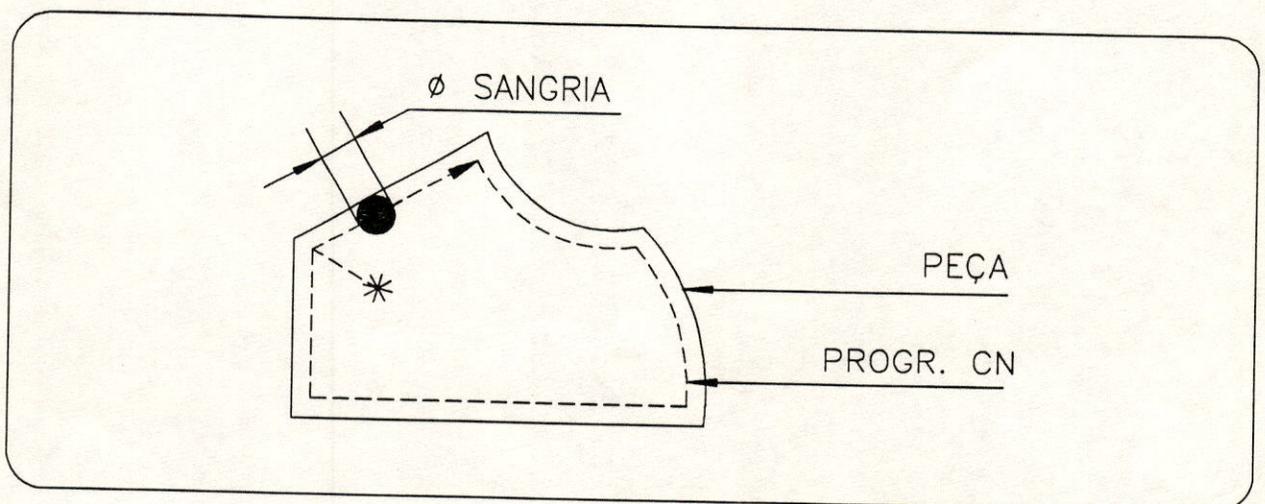
O perfil gerado será compensado para fora, como no caso de recorte do contorno externo (figura 4.6).



**Fig. 4.6 - Compensação Externa**

**- INTERNA**

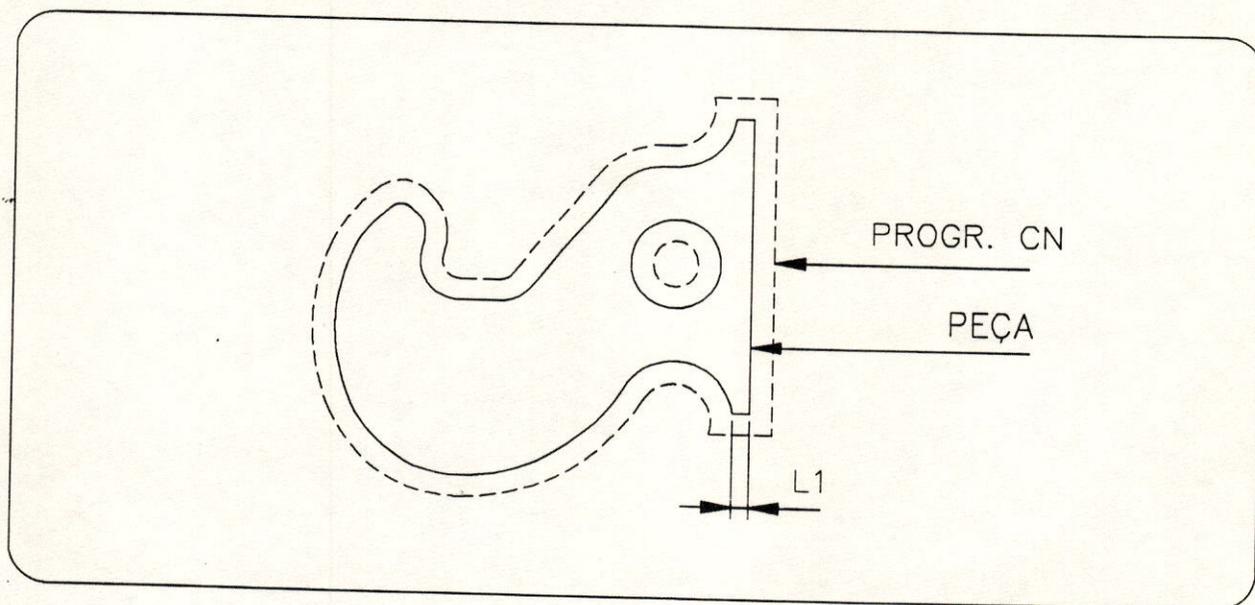
O perfil gerado será compensado para dentro, como acontece nos recortes internos (figura 4.7).



**Fig. 4.7 - Compensação Interna**

A escolha de cada tipo de compensação normalmente será automática, pois todos os recortes internos terão compensação "INTERNA" e o recorte externo, de maior número sequencial (item 4.1.2.2) terá compensação "EXTERNA". Entretanto, pelos exemplos citados, algumas vezes é interessante a obtenção de outras combinações, sendo então a compensação desejada selecionada pelo usuário que, poderá deste modo, inclusive "voltar" do desenho do programa CN para a peça original. Isto pode ser interessante caso se queira aproveitar partes de um desenho complexo.

Ex: considere o desenho da figura 4.8, onde somente a medida L1 tenha sido modificada.

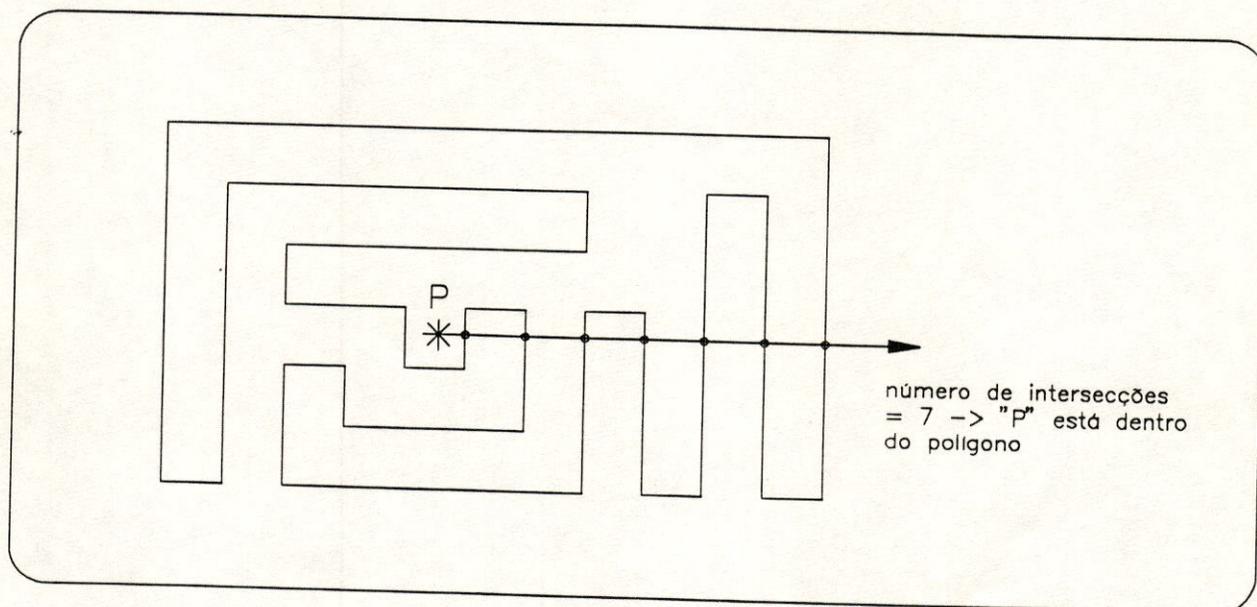


**Fig. 4.8 - Exemplo de Aplicação da Compensação Interna**

A adoção destes 3 tipos básicos de compensação simplifica e minimiza a possibilidade de erros na determinação da compensação de cada um dos recortes.

O método adotado para obtenção do lado correto da compensação das entidades fará uso de uma característica peculiar de todo polígono fechado. Desejando-se saber se determinado ponto se encontra fora ou dentro do polígono, procede-se da seguinte maneira (figura 4.9):

- gera-se uma semi-reta (qualquer direção) partindo do ponto selecionado.
- conta-se o número de intersecções que a semi-reta faz com as arestas do polígono.
- se o número de intersecções for ímpar, o ponto se encontra no interior do polígono; se for par, está no exterior.
- se alguma das intersecções for num dos vértices do polígono, este ponto é considerado indeterminado. Outro ponto de referência para início da semi-reta deve ser adotado na vizinhança do primeiro.



**Fig. 4.9 - Método para Obtenção da Compensação**

Este procedimento será usado para cada entidade de cada recorte. Escolhe-se um ponto arbitrário em um dos lados da entidade, determina-se seu lado real usando o algoritmo acima e, em função da compensação selecionada (INTERNA, EXTERNA ou INATIVA), confirma-se o ponto ou adota-se outro do lado oposto. O vetor normal à entidade apontando para o ponto, indica a direção que a entidade deve ser compensada, sendo então gerado o

correspondente modificador da correção associado à entidade. Estes modificadores usam o mesmo conceito da modelagem geométrica do sistema APT (item 2.3.3.1) e podem ser de 6 tipos:

- XS (XSMALL): reta paralela com X menor que a reta original, para qualquer Y.
- XL (XLARGE): reta paralela com X maior que a reta original, para qualquer Y.
- YS (YSMALL): reta paralela com Y menor que a reta original, para qualquer X.
- YL (YLARGE): reta paralela com Y maior que a reta original, para qualquer X.
- IN : círculo com raio menor que o círculo original.
- OUT : círculo com raio maior que o círculo original.

As entidades serão agora corrigidas, isto é, novas curvas serão geradas segundo a sangria estipulada. Os novos vértices do contorno serão recalculados através da intersecção dos elementos contíguos, como visto na figura 4.10.

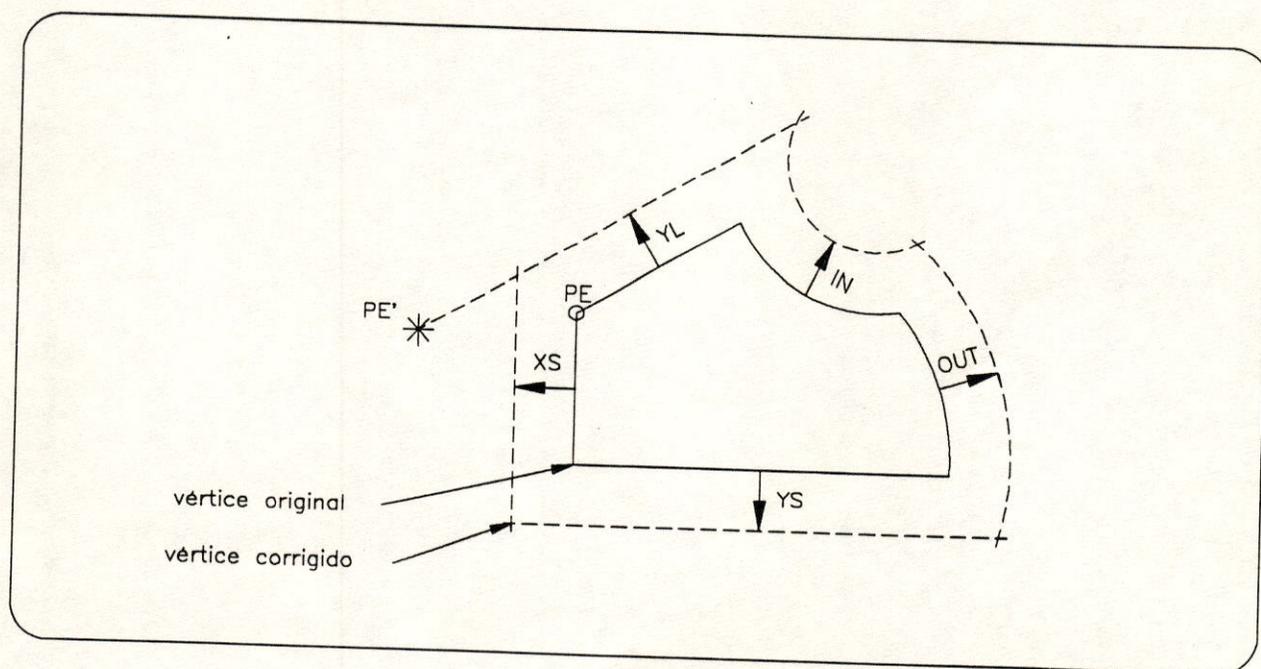


Fig. 4.10 - Exemplo de Processamento da Compensação

Estando todas as etapas anteriores cumpridas, deve-se gerar automaticamente, o desenho da peça compensada, a qual será utilizada no processo de encaixe na chapa ("Nesting").

Em paralelo, será gerado um outro arquivo (formato binário) contendo as informações da movimentação da ferramenta (bico de corte). Este arquivo por conter as informações do percurso da ferramenta será chamado CLDATA (Cutter Location DATA) e será utilizado nas fases finais dos cálculos do encaixe e do pós-processamento, onde será convertido para o formato CN desejado.

Para verificação do correto processamento da peça, será possível a sobreposição dos desenhos da peça e do programa CN (peça compensada) e simulação gráfica do movimento do bico de corte ao longo dos recortes.

As informações manipuladas nesta fase de processamento são:

**Entrada** : .Arquivo CAD do Croqui de Delineamento.

**Processamento:** .Definição da sequência de corte, dos pontos de entrada, sentido de corte e compensação.

**Saída** : .Arquivo CAD do Programa CN (Peça Compensada).  
.Arquivo de Coordenadas de Movimentação (CLDATA).

#### 4.1.3 - ENCAIXE DE PEÇAS ("NESTING")

##### 4.1.3.1 - DEFINIÇÃO DO LOTE DE PEÇAS E ESCOLHA DA CHAPA

Inicialmente, deve-se levantar do Planejamento, quais itens estão programados para o corte. Levando-se em conta o

volume das peças de mesma espessura e mesmo material, decide-se por utilizar uma nova chapa ou reaproveitar algum retalho existente no estoque. Um sistema gerenciador de B.D. deve auxiliar o usuário no sentido de fornecer os dados dos retalhos existentes (formatos, dimensões, materiais).

As informações manipuladas nesta fase de escolha da chapa são:

**Entrada** : .Lista de prioridades de Corte (relação de peças e quantidades).

**Processamento:** .Consulta B.D. de chapas e retalhos.

**Saída** : .Arquivo CAD da chapa ou retalho a ser utilizado.

#### 4.1.3.2 - OPERAÇÃO DE ENCAIXE E CONSULTAS

O processo de encaixe das peças será totalmente manual e interativo, sendo para isto utilizado o mesmo software CAD previamente adotado.

Nesta etapa de encaixe, as seguintes operações básicas devem estar disponíveis no CAD para uma eficiente manipulação das peças:

- inserções
- rotações
- translações
- espelhamentos
- cópias de agrupamentos de peças

Para verificação da qualidade do encaixe conseguido, devem existir operações de:

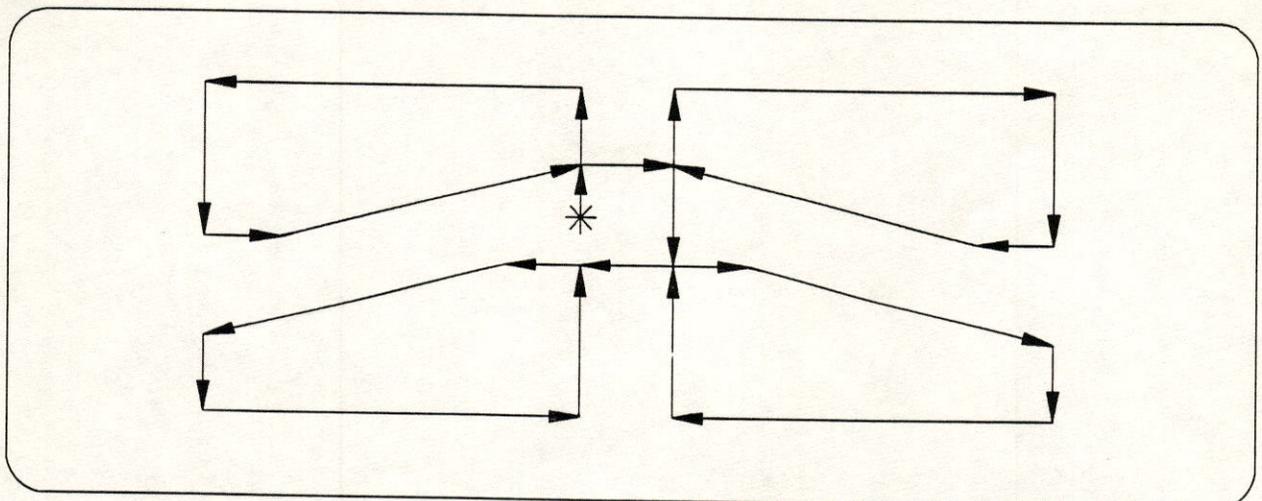
- checagem das distâncias entre peças
- ampliações do desenho (ZOOM)
- cálculo do grau de aproveitamento obtido (%)
- consultas (identificação das peças e quantidade inserida)

Visando otimizar o tempo total dispendido no corte das peças, dois recursos comumente empregados são:

**- ENCADEAMENTO DE PEÇAS:**

Como visto no item 2.2.3, usando-se uma única entrada, tenta-se cortar o maior número possível de peças.

Nesta fase de encadeamento de peças, pode-se definir pontos de entrada e sentidos de corte diferentes dos previamente definidos na etapa de processamento. O usuário simplesmente desenhará linhas conectando o contorno externo de diversas peças, formando a cadeia do recorte. O sistema detectará automaticamente todas as peças encadeadas e solicitará o sentido de corte desejado (CW ou CCW) para o contorno externo. Os pontos de entrada e sentido de corte originais serão automaticamente atualizados para a nova configuração (figura 4.11).



**Fig. 4.11 - Encadeamento de Peças**

#### - CORTE COM VÁRIOS BICOS:

Este procedimento também é bastante empregado, pelo grande aumento de produtividade gerado (item 2.2.3).

Deve-se inserir as peças alinhadas ao longo da largura da chapa, sendo que as informações do processo de corte serão atribuídas somente à primeira peça (bico 1). As peças cortadas com os outros bicos estarão no desenho do "Nesting" somente para visualização e orientação no processo de encaixe, mas devem se alocadas num "layer" inativo para que sejam ignoradas no processamento (figura 4.12).

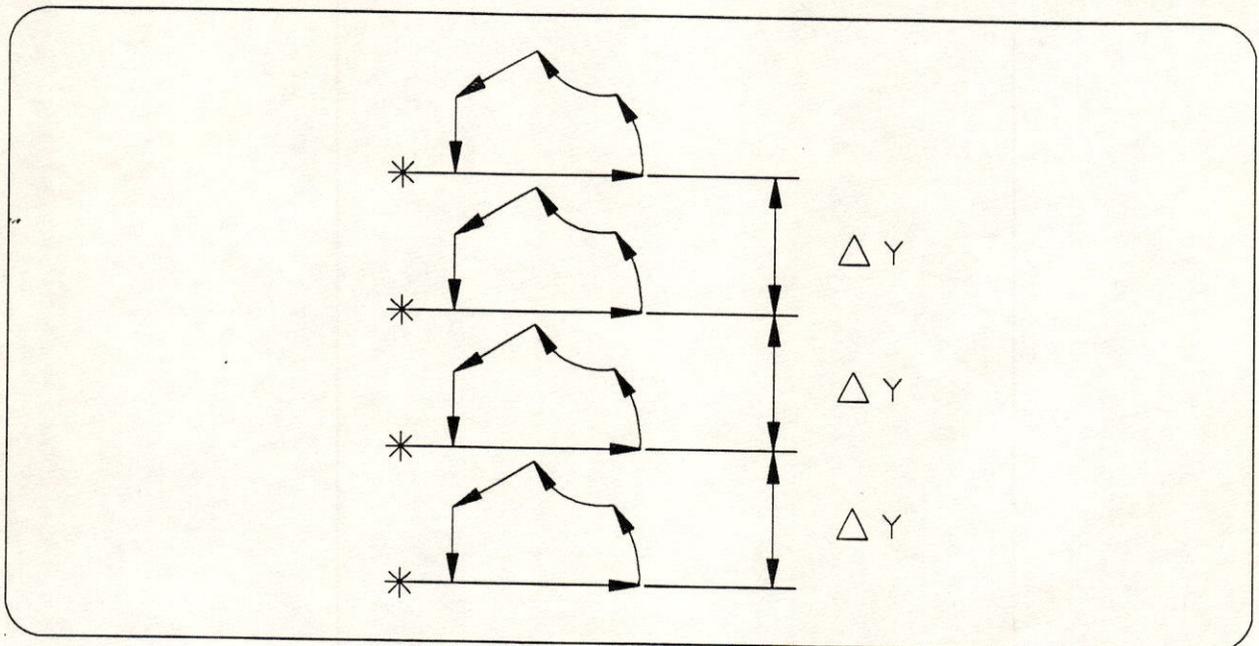


Fig. 4.12 - Corte com Vários Bicos

#### 4.1.3.3 - SEQUENCIAMENTO

Uma vez definidas as posições de cada peça ou encadeamento de peças dentro da chapa, deve-se informar a sequência com que serão efetuados os recortes na chapa. Nesta fase é possível estipular o número de bicos simultâneos utilizado em cada recorte e a distância entre eles. Também podem ser

estabelecidos novos sentidos de corte para os contornos externos, conforme as necessidades descritas no item 2.2.2.

Todas estas informações estarão armazenadas em "atributos" ou "layers" associados à cada peça inserida.

#### 4.1.3.4 - GERAÇÃO DE RETALHO

Quando a chapa não pode ser totalmente preenchida (por falta de mais peças de mesmo material e espessura), pode-se desenhar uma linha de corte, desprendendo o retalho a ser guardado da sobra a ser sucata. Esta linha limite será cortada pelo programa CN após o final do recorte da última peça. As informações das dimensões deste retalho (vértices do polígono) serão armazenadas pelo gerenciador de BD de chapas para uso posterior.

As informações manipuladas nestas fases de encaixe, sequenciamento e geração do retalho são:

**Entrada** : .Arquivos CAD dos Programas CN  
(peças compensadas).

**Processamento:** .Encaixe de peças, definição da sequência de corte, número de bicos e distância entre bicos.  
.Definição da linha do recorte do retalho

**Saída** : .Arquivo CAD da Chapa Completa com peças encaixadas.  
.Arquivo com informações geométricas do retalho

#### 4.1.3.5 - PROCESSAMENTO DO ENCAIXE

No processamento desta chapa com as peças encaixadas, será gerado um arquivo contendo todas as matrizes de transformação geométrica (ponto de inserção e ângulo de rotação de cada peça), em relação à chapa-base. O arquivo conterá também todas as linhas de encadeamento criadas pelo usuário e a linha do recorte do retalho resultante.

Através das informações deste arquivo, o arquivo CLDATA de cada peça será processado segundo sua matriz de transformação associada, sendo gerado então um arquivo CLDATA da chapa completa.

Para visualização do resultado obtido, recursos de simulação da movimentação do bico de corte estarão disponíveis, inclusive o corte com vários bicos simultâneos.

As informações manipuladas nesta fase de processamento do encaixe são:

**Entrada** : .Arquivo CAD da Chapa Completa com as peças encaixadas.

**Processamento:** .Geração do arquivo temporário contendo as linhas de encadeamento e as matrizes de transformação de cada peça.  
.Transformação de cada peça segundo sua matriz correspondente.

**Saída** : .Arquivo CLDATA da Chapa Completa com peças encaixadas.  
.Arquivo CAD da movimentação do bico de corte (simulação gráfica).

#### 4.1.4 - PÓS-PROCESSAMENTO DE PEÇA INDIVIDUAL OU DA CHAPA COMPLETA

Nesta fase, a última do processo, o arquivo de coordenadas de movimentação do bico de corte (CLDATA) será transformado em programa CN, ou seja, um arquivo ASCII segundo a sintaxe do controle numérico selecionado (item 2.3.5). No caso do corte de peça única, o CLDATA a ser utilizado será aquele gerado na etapa de processamento de peças (item 4.1.2.4). No caso do corte de um "Nesting", deve-se utilizar o CLDATA gerado no processamento do encaixe (item 4.1.3.5).

Alguns parâmetros tecnológicos devem ser fornecidos, tais como: velocidade de avanço do bico de corte, tempo de pré-aquecimento. Tais dados podem ser obtidos automaticamente de um B.D. ou podem ser supridos pelo usuário no momento de geração do programa CN.

Deve-se tentar desenvolver um pós-processador modular, onde, através de um questionário padronizado, o usuário define as características de cada controle. Uma vez configurados todos os controles existentes no parque fabril, pode-se, nas datas programadas para o corte, em função da disponibilidade de uma ou outra máquina, converter o CLDATA, obtendo-se os programas CN finais.

As informações manipuladas nesta operação de pós-processamento são:

**Entrada** : .Arquivo CLDATA.

**Processamento:** .Seleção do pós-processador.

**Saída** : .Programa CN.

## 4.2. REQUISITOS DE SOFTWARE E HARDWARE

O modelo proposto baseia-se na utilização de recursos computacionais, que agilizem as atividades envolvidas na programação CN.

Assim existem requisitos mínimos de hardware e software exigidos para sua viabilização.

### - SOFTWARE:

Todas as etapas de processamento envolvem uma intensa interação gráfica com o computador. As informações estarão quase sempre na forma de desenhos, os quais, nas etapas relativas a geração do programa CN e encaixe ("Nesting"), estarão necessariamente no formato eletrônico. Tais características do método tornam relevante a utilização de algum sistema gráfico para manuseio de entidades geométricas.

Deve-se salientar a vantagem de se utilizar um sistema CAD já existente, de grande aceitação no mercado e que possua uma poderosa gama de funções para criação, edição e checagem de desenhos. Muitos sistemas de programação CN possuem o CAD incorporado (item 2.5), mas pelo fato de não ser um CAD genérico, fica facilmente comprovada a ineficácia destes sistemas na criação ou edição de figuras com geometria complexa.

É necessário que este sistema possua, além das características usuais de manipulação de desenhos, recursos extras, tais como:

- . arquitetura aberta para criação de novos comandos, orientados às necessidades específicas de cada usuário, permitindo uma interface mais amigável e eficiente.
- . padrão de interface gráfica (DXF, IGES, etc.) de forma a se poder extrair automaticamente os dados das entidades desejadas,

as quais serão processadas por programas aplicativos externos ao sistema CAD.

Pelas características do processo de corte de chapas por chama (oxicorte ou plasma), conclui-se que um CAD com recursos 2D (2 dimensões) seria suficiente para suprir todas as necessidades na definição das peças envolvidas. Ou, seja, as máquinas CN para este tipo de processo apresentam normalmente somente dois eixos interpoláveis simultaneamente.

Numa variante mais complexa do processo, poderia se incluir um terceiro eixo rotativo "C" que corresponderia ao giro de um cabeçote (provido de bicos de oxicorte) para geração dos chanfros de soldagem. Este recurso adicional não influenciaria de imediato nos requisitos do software gráfico, mas sim no software para geração do programa CN, que deveria então calcular as coordenadas de giro ou deixar estes cálculos para o CN (passagem de parâmetros) de modo a garantir que o cabeçote sempre acompanhe o contorno a ser chanfrado.

Entretanto, não se deve esquecer da necessidade primordial de uma uniformização dos softwares adotados. Ou seja, o sistema CAD a ser escolhido deve ser único e atender também a todas as outras áreas de interesse. Uma suposta economia na aquisição de um sistema muito simples, pode trazer uma série de problemas futuros caso não atenda às necessidades vitais de outras áreas da empresa. Estas áreas, optarão pela aquisição de um sistema diferente e, a integração total dos dados ficará completamente comprometida.

#### **- HARDWARE:**

A versatilidade do modelo proposto fundamenta-se na intensa interação gráfica com o usuário. Desta forma, alguns elementos de hardware são desejáveis para se atingir uma boa performance:

- **MICROCOMPUTADOR OU WORKSTATION** (apresentando ao menos a configuração mínima exigida pelo sistema CAD adotado).
- **VÍDEO GRÁFICO COLORIDO DE ALTA RESOLUÇÃO** (para visualização das compensações e dos encaixes sem causar muita fadiga ao usuário).
- **"PLOTTER" OU IMPRESSORA GRÁFICA** (impressão dos croquis de delineamento, que acompanharão as peças na fabricação; impressão dos "layouts" das chapas ("Nesting"), que servirão de orientação para o operador da máquina, quanto à identificação e sequência dos elementos cortados).

#### **4.3 - RECURSOS HUMANOS NECESSÁRIOS**

Por se tratar de um método onde grande parte das operações são efetuadas de forma automática, pode-se perceber que:

- não será mais necessário programadores de comando numérico que conheçam a sintaxe do controle CN, uma vez que o pós-processador se encarregará da conversão para o formato desejado.
- não será mais necessário conhecimentos de geometria e trigonometria para cálculos das coordenadas do programa CN, pois estes serão agora realizados automaticamente pelo software.

Entre as atividades agora desempenhadas, pode-se distinguir 2 grupos básicos:

#### **- GRUPO DE PROCESSOS**

Deve possuir habilidade para interpretação de desenhos da Engenharia de Produto, boa visão espacial para efetuar as planificações e conhecimentos do processo para gerar o croqui de delineamento.

O treinamento para este grupo deve ser concentrado na utilização "plena" dos recursos do CAD, de forma a agilizar o processo de planificação e geração do croqui de delineamento.

#### **- GRUPO DE GERAÇÃO DE PROGRAMAS CN**

Deve possuir habilidade para utilização "básica" do sistema CAD, para geração rápida das peças compensadas e para o encaixe destas na chapa.

Também deve possuir conhecimentos dos critérios para encaixe, sequenciamento, otimizações (encadeamentos, corte com vários bicos) e sentido adequado do corte.

Pela maior simplicidade das tarefas deste grupo, verifica-se que é perfeitamente viável efetuar o treinamento e remanejamento da equipe de confecção de chapelonas para esta nova tarefa.

## 5 - CONCEPÇÃO E REALIZAÇÃO DE UM SISTEMA

Neste capítulo será detalhado o desenvolvimento de um sistema utilizando-se o método proposto no capítulo anterior.

### 5.1 - SELEÇÃO DO SISTEMA CAD

Na seleção do sistema CAD a ser utilizado, optou-se pela utilização do software AUTOCAD (versão 10), devido algumas de suas características que o classificaram como o mais adequado a esta aplicação:

- não necessita de grandes investimentos em hardware (microcomputadores compatíveis com PC-XT e 286, que eram os equipamentos disponíveis na empresa);
- sua arquitetura aberta permite "configurá-lo" para aplicações específicas, conforme a necessidade do usuário. É possível a criação de "menus" dedicados e implementações de novos comandos através da linguagem AUTOLISP (variante do LISP, desenvolvido pela AUTODESK);
- possui interface padrão DXF e IGES;
- de fácil utilização e com poderosos comandos para geração e edição de desenhos;
- facilidade na manipulação de "layers" e "atributos";
- recursos para checagem de distâncias e coordenadas;
- recursos para execução de programas externos ao AUTOCAD, sem a necessidade de sair do software;

- é o sistema oficial da empresa.

Por ainda não estar desenvolvida uma metodologia para padronização na confecção de desenhos da Engenharia através do CAD, fica inviável a extração automática de entidades para uso imediato pela programação CN. Inexiste portanto a integração de desenhos em formato eletrônico entre Engenharia de Produto e Engenharia Industrial. A Área de Processos então, de posse dos desenhos em papel, redesenhará as peças de interesse no CAD, para finalmente gerar os respectivos "Croquis de Delineamento".

## **5.2 - FUNÇÕES DO SISTEMA**

Pelo fato do sistema CAD adotado suportar eficientes recursos para tratamento de "layers" e "atributos", estes serão amplamente utilizados em todas as fases do planejamento de processo.

Menus "dedicados" e rotinas desenvolvidas em AUTOLISP agilizarão as tarefas rotineiras de manipulação de entidades, "layers" e "atributos". O usuário, fazendo uso do "mouse", selecionará os comandos e responderá às perguntas realizadas pelas rotinas. Os cálculos necessários para processamento (compensação e encaixe) e pós-processamento serão realizados por programas externos, desenvolvidos em TURBO PASCAL. Estes serão ativados diretamente do menu do AUTOCAD, num processo totalmente transparente ao usuário.

### **5.2.1 - DESENHO DA PEÇA E CROQUI DE DELINEAMENTO**

Fazendo uso dos comandos de geração e edição de entidades, o desenho da peça a ser recortada (croqui de

delineamento) será facilmente gerado. Todas as entidades válidas dos contornos deverão estar inicialmente representadas num "layer" padrão (ex: "0"). Elementos auxiliares, que não fazem parte dos recortes, devem estar num "layer" nulo (ex: "NULL", "COTAS", etc.), sendo ignorados na extração das entidades para o processamento.

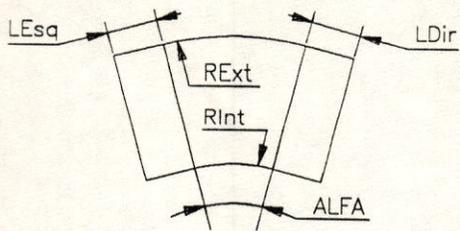
Os dados do croqui de delineamento necessários para o processamento serão armazenados em "atributos" e editados via janela de edição ("dialogue box"). São eles:

- nome do croqui (ex: XP50000)
- gerar arquivo mapa? (S/N)
- tipo de corte (Oxicorte, Plasma ou Especial)
- espessura da chapa
- diametro de sangria
- distância de entrada

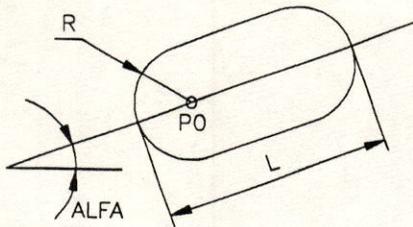
Os dois últimos dados serão necessários somente se for utilizado o tipo de corte especial. No caso de oxicorte ou plasma, os valores "padrão" serão fornecidos pelo arquivo de configuração do sistema.

No item 2.3.3.2, foi apresentado o recurso das "MACROS" como uma ferramenta bastante poderosa para melhoria da performance de sistemas CAD, no tocante à geração de desenhos de itens semelhantes.

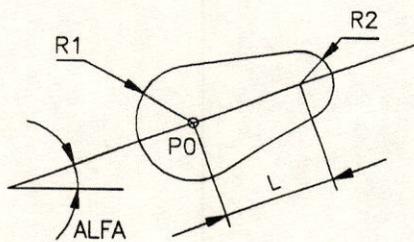
Num levantamento inicial das figuras mais empregadas no processo de corte, os elementos parametrizáveis selecionados foram os segmentos, oblongos (regular e irregular), janelas e diafragmas (com chanfros ou raios), como ilustrado na figura 5.1.



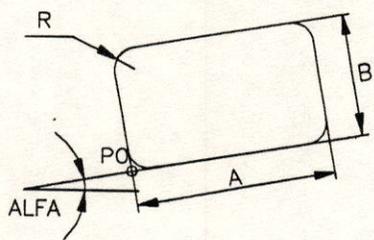
SEGMENTO



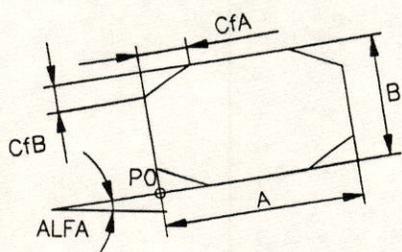
OBLONGO REGULAR



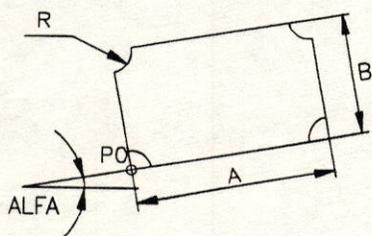
OBLONGO IRREGULAR



JANELA



DIAFRAGMA COM CHANFRO



DIAFRAGMA COM RAI0

Fig. 5.1 - Formas Parametrizadas

## 5.2.2 - PROCESSAMENTO DAS PEÇAS

Conforme definido no item 4.1.2, nesta etapa devem ser atribuídos para cada recorte, informações do processo de corte, que estarão representadas nos "layers" dos pontos de entrada. Cada ponto de entrada possuirá então, um "layer" com a seguinte estrutura:

**n \$ comp \$ tipo \$ [NOENT] \$ [DExxx] \$ [ARRAY]**

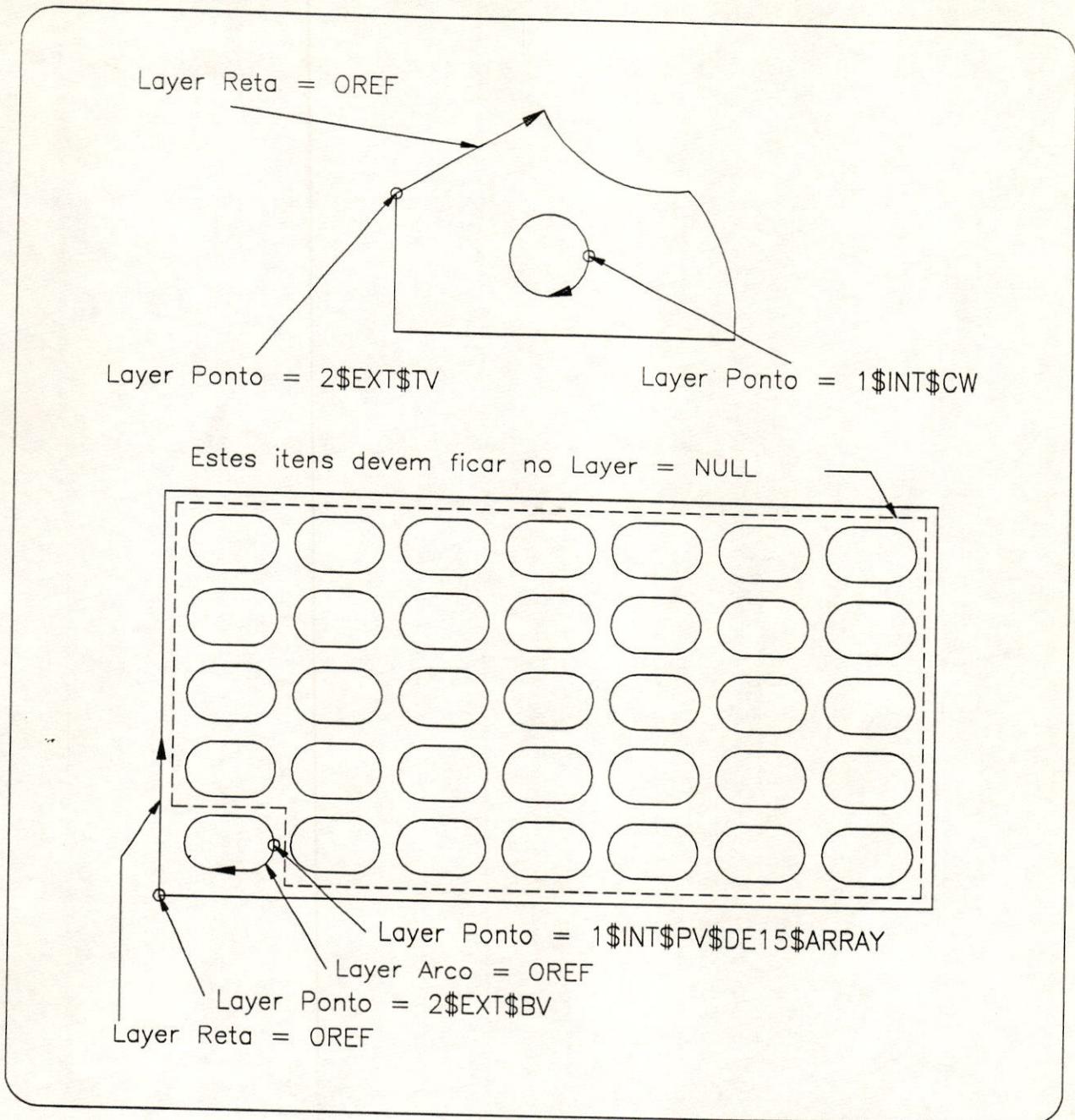
onde as palavras entre [] são elementos opcionais:

- **n** : Identificador do recorte (sequencial). Ex: 1, 2, 3, ...
- **comp** : Tipo de compensação desejada para o recorte
  - INT - interna
  - EXT - externa
  - COFF - inativa
- **tipo** : Tipo do vetor de entrada desejado
  - TV - tangente
  - BV - bissetriz
  - PV - perpendicular
- **NOENT** : Palavra-chave opcional. Se presente, indicará que o desenho da peça compensada não terá a entrada no recorte externo. A diferença se dará somente no desenho, pois o CLDATA gerado será o mesmo. Isto será necessário se a peça for utilizada em encadeamentos, pois, caso contrário, a linha desenhada do vetor de entrada poderia confundir o usuário que está desenhando as linhas de encadeamento.
- **DExxx** : Palavra-chave opcional. Se presente, indicará que, para o recorte em questão, será utilizada uma distância de entrada diferente do valor padrão definido no arquivo de configuração. Isto é bastante útil no caso dos

recortes internos de pequenas dimensões, onde o ponto de entrada pode estar muito próximo de alguma aresta. O xxx indica um número inteiro e representa o valor da nova distância de entrada desejada.

- **ARRAY** : Palavra-chave opcional. Se presente, indicará que o recorte em questão será repetido "i" linhas por "j" colunas. Durante o processamento, ao ler esta palavra, será solicitado os valores de "i" e "j", as respectivas distâncias entre linhas e colunas e o sentido preferencial para o corte da malha (vertical ou horizontal). Os outros recortes não precisam ser desenhados, mas caso existam para melhor visualização, estes devem estar num "layer" nulo (ex: "NULL"), indicando que devem ser desprezadas no processamento. Em termos de resultado final, seria o mesmo que copiar o mesmo recorte várias vezes. Entretanto utilizando-se este método, o processamento interno será muito mais rápido, uma vez que todos os cálculos serão efetuados uma única vez, e depois, as coordenadas do CLDATA simplesmente transladadas ao longo das linhas e colunas. No outro método os recortes, embora iguais entre si, seriam tratados individualmente.

Na etapa de definição do sentido de corte, a entidade selecionada (pelo "mouse") como a primeira do recorte, terá seu "layer" modificado (ex: "OREF"). Se na seleção do sentido, a entidade for um círculo, será solicitado um identificador "CW" (horário) ou "CCW" (anti-horário), o qual será colocado no "layer" do ponto de entrada (figura 5.2).



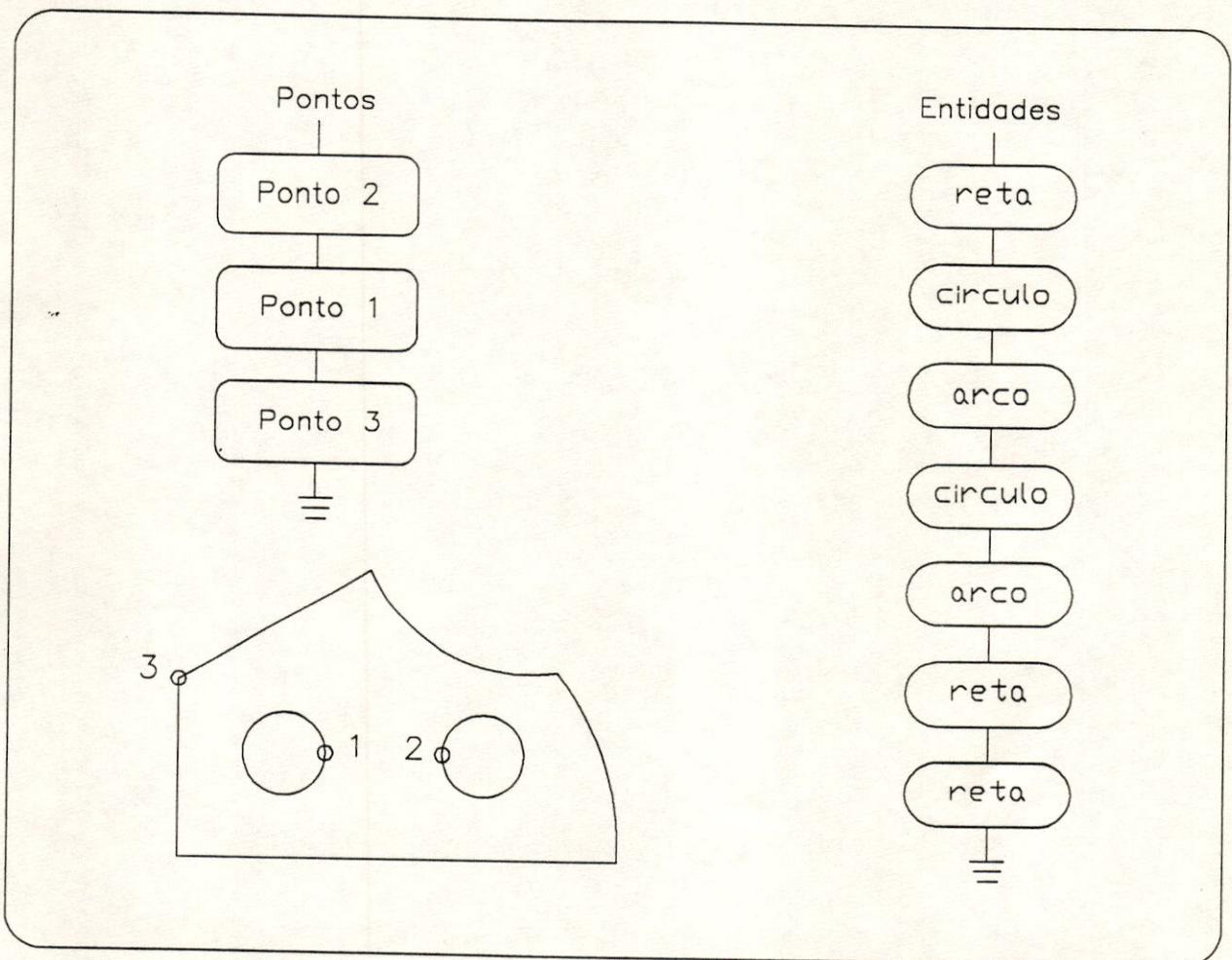
**Fig. 5.2 - Exemplos do Uso de "Layers"**

O arquivo de interface utilizado para extração das entidades será no padrão DXF. Após inúmeras edições efetuadas no desenho, normalmente as entidades neste arquivo aparecerão de forma aleatória, sendo portanto necessário organizá-las conforme a sequência de corte a ser efetuada.

O processo de organização automática das entidades para o processamento se dará em 4 etapas:

**- ETAPA 1**

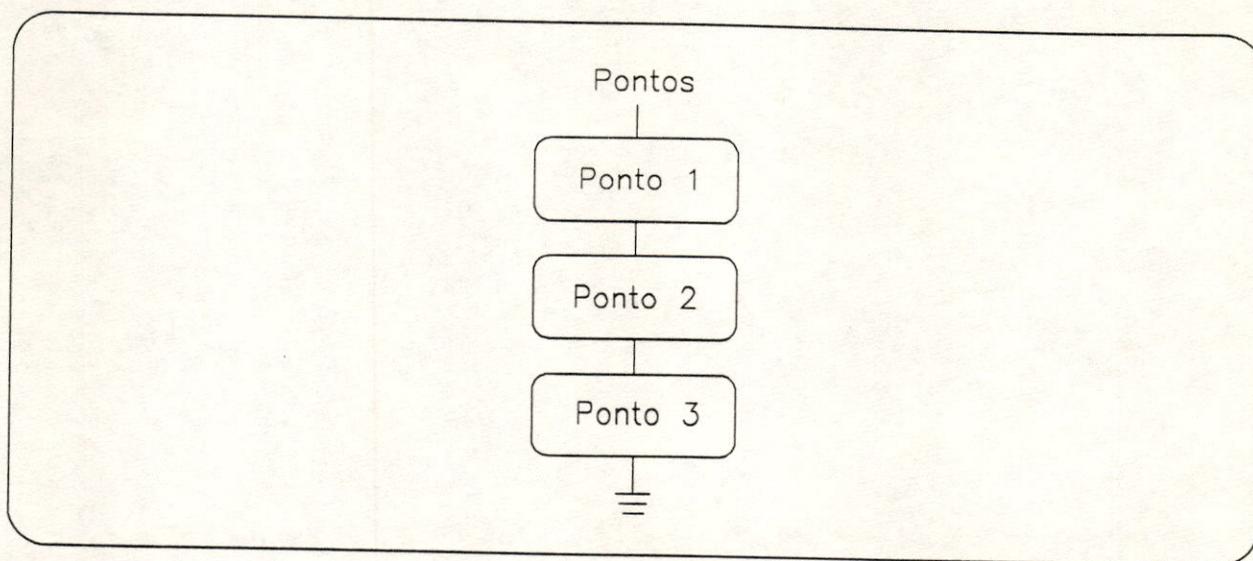
Na etapa 1, será efetuada a leitura dos pontos e entidades do croqui na sequência do arquivo DXF, montando-se 2 listas encadeadas independentes (figura 5.3), uma para os pontos de entrada e outra para as entidades do croqui (linhas, arcos, círculos e polylines). As estruturas para armazenamento das informações destes pontos e entidades está representada no Anexo A.



**Fig. 5.3 - Listas de Pontos e Entidades**

- **ETAPA 2**

Ordenação da lista dos pontos de entrada (figura 5.4), conforme a sequência de corte definida pelo usuário (número do identificador do recorte, no "layer" de cada ponto de entrada).



**Fig. 5.4 - Ordenação da Lista de Pontos**

- **ETAPA 3**

Encadeamento das entidades de cada recorte. Para cada ponto de entrada, percorre-se a lista de entidades até encontrar o elemento com "layer" "OREF" contíguo a este ponto. De posse das coordenadas finais deste elemento inicial, repete-se o procedimento de busca até não mais existir elementos contíguos no recorte. Após esta etapa, as listas se apresentarão conforme representado na figura 5.5.

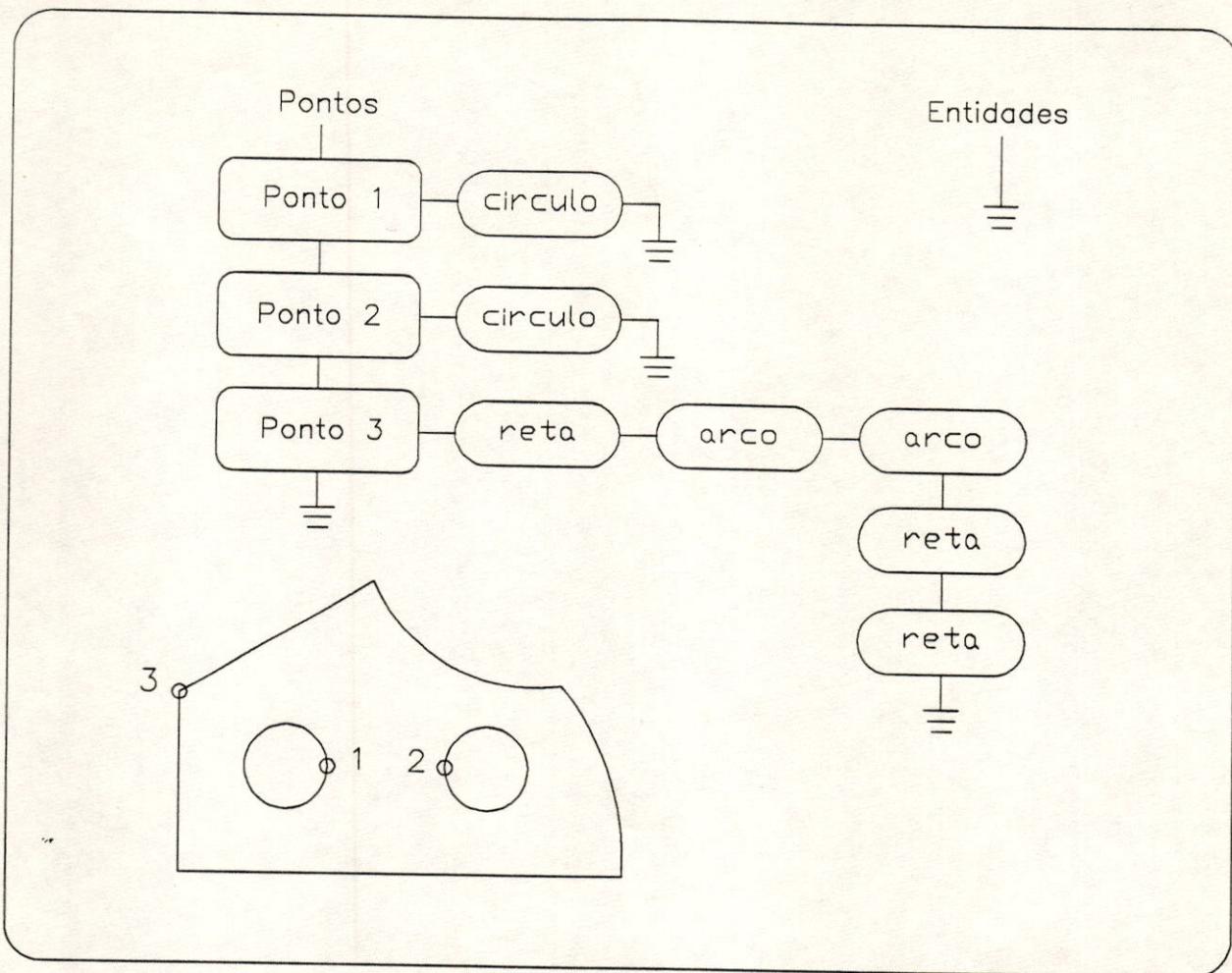
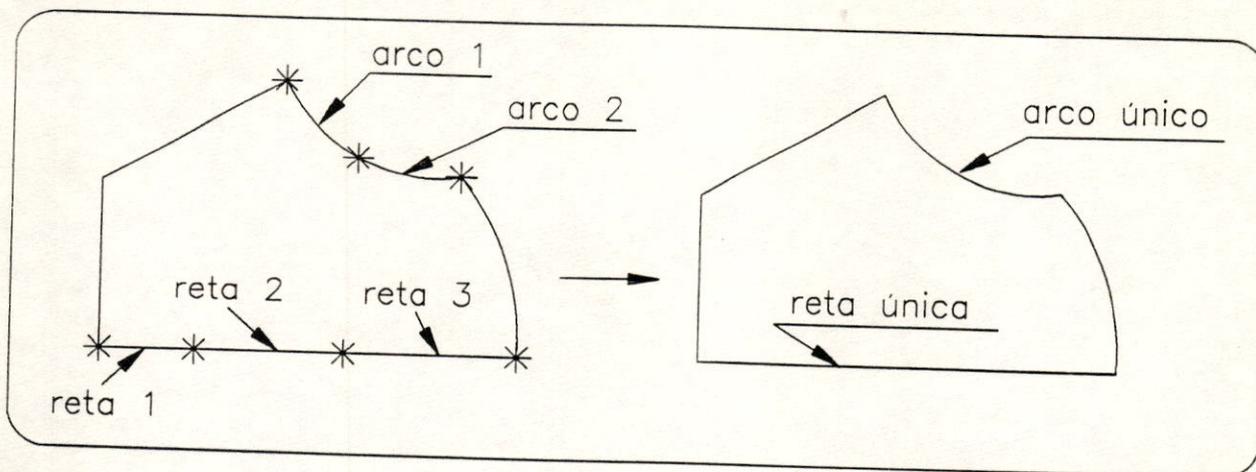


Fig. 5.5 - Encadeamento de Entidades

#### - ETAPA 4

Nesta etapa é realizado um teste de consistência do desenho, onde serão filtradas as entidades duplicadas. Frequentemente, devido às edições constantes no desenho, algumas entidades estarão "quebradas". Estes elementos serão substituídos por um único "equivalente" (figura 5.6).



**Fig. 5.6 - Filtragem de Entidades**

Após a execução destas 4 etapas, os elementos estão finalmente preparados para o início da compensação automática.

Através do método proposto no item 4.1.2.4, os pontos que definem o contorno serão corrigidos com o valor da sangria, e o ponto de entrada desejado será gerado. A lista encadeada possuirá agora todas as informações do caminho afetado pelo bico de corte. As próximas operações serão a geração do arquivo CAD da peça compensada e do arquivo das coordenadas de movimentação (CLDATA).

Por ser o processo de corte térmico de pouca complexidade em termos de programação CN (códigos "G" e "M"), decidiu-se criar uma estrutura de CLDATA diferente da proposta na ISO 4343. Esta nova estrutura, em formato binário, com registros de tamanho fixo, será muito mais simples e compacta, sendo o tamanho do arquivo reduzido a um mínimo. Consistirá de 5 campos, sendo o primeiro para o identificador do registro e os outros quatro para os valores associados ao tipo de identificador. Nesta estrutura, ilustrada no Anexo B, todas as informações pertinentes ao processo serão facilmente representadas.

O desenho compensado será inicialmente criado em formato DXF, sendo depois, através de rotinas em AUTOLISP,

sobreposto ao desenho do croqui. As verificações necessárias serão obtidas através de ampliações (ZOOM) nas áreas críticas e simulação gráfica da movimentação do bico de corte. Esta simulação poderá ser "temporizada" (atraso na geração de cada entidade) ou "passo-a-passo" (geração de cada entidade acionada pelo teclado), facilitando a visualização do percurso efetuado.

O passo final do processamento consistirá na gravação em disco somente do desenho da peça compensada, a qual será utilizada na próxima fase que é o encaixe na chapa.

### **5.2.3 - ENCAIXE DE PEÇAS**

#### **5.2.3.1 - ESCOLHA DA CHAPA**

O gerenciador de retalhos disponível atualmente fornece somente dados numéricos (comprimento x largura x espessura) e do material (código do material) do maior retângulo inscrito neste retalho. Ou seja, através deste gerenciador, não se conhece com precisão a forma geométrica dos retalhos existentes no almoxarifado.

De posse destes dados, a chapa escolhida será desenhada através de uma rotina AUTOLISP. O contorno da chapa retangular consistirá de uma única polilinha (POLYLINE) num "layer" padrão (ex: "CHAPA").

Os arquivos de coordenadas dos vértices dos retalhos (item 4.1.3.4) também podem ser utilizados, permitindo uma geração automática dos perfis disponíveis. Entretanto, no atual estágio, não se tem um gerenciador eficiente destes arquivos, impossibilitando uma seleção rápida do retalho mais adequado.

Caso se conheça em detalhes o formato de algum retalho, outro método para obtenção do desenho da chapa, seria via comandos normais de edição do CAD. Deve-se lembrar somente de se converter as entidades (linhas) em POLYLINE no "layer" "CHAPA", o que é feito automaticamente (através de rotinas AUTOLISP), selecionando-se qualquer entidade de seu contorno.

#### **5.2.3.2 - OPERAÇÃO DE ENCAIXE E CONSULTAS**

De posse da lista de peças e respectivas quantidades, o usuário iniciará o processo de inserção destas na chapa. Um menu dedicado apresentará os comandos mais utilizados nesta fase, agilizando as operações necessárias ao encaixe. Rotinas AUTOLISP informarão a qualquer momento o "status" da chapa, fornecendo:

- área útil da chapa
- área ocupada pelas peças
- grau de aproveitamento (%)
- relação das peças inseridas (nomes e quantidades)
- quantidade total de peças
- emissão de relatórios impressos

Deve-se ter sempre em mente a utilização dos recursos para redução do tempo de corte:

#### **- ENCADEAMENTO DE PEÇAS**

O encadeamento das peças será um processo manual e interativo. O usuário desenhará linhas conectando o contorno externo das peças a serem encadeadas. Estas linhas deverão ser sempre posicionadas nos vértices das arestas (linha ou arco), sendo que, no caso de círculo, poderá ser usado qualquer ponto sobre a circunferência.

## - CORTE COM VÁRIOS BICOS

Peças individuais ou encadeamentos poderão ser cortados com mais de um bico simultaneamente. Para o controle numérico, tudo se passará como se somente um bico estivesse trabalhando. Caberá ao operador, durante o processo de corte, posicionar e ativar as outras tochas adequadamente, caso o CN não disponha do controle destes parâmetros. No desenho do "layout" da chapa, as peças que serão cortadas, simultaneamente ao primeiro bico, deverão estar num "layer" nulo (ex: "NULL").

### 5.2.3.3 - SEQUENCIAMENTO

Definidas as posições de cada peça e feitos os devidos encadeamentos, uma rotina AUTOLISP auxiliará o usuário na operação de sequenciamento dos recortes.

A rotina solicitará que o usuário selecione, através do "mouse", a peça individual ou encadeamento.

Caso o item selecionado seja uma peça individual, será solicitado o número sequencial desejado para o recorte e o número de bicos utilizado. A distância entre bicos será requisitada, se for empregado mais de um bico. O ponto de entrada original será mantido, mas o sentido de corte do contorno externo poderá ser alterado, a critério do usuário (horário ou anti-horário).

Caso o item selecionado seja um início de encadeamento (extremidade de linha), a rotina converte todas as linhas de ligação entre peças em uma "POLYLINE" e solicita o número sequencial do recorte, o número de bicos e a distância entre eles. A seguir, cada uma das peças do encadeamento selecionado será sequencialmente realçada no vídeo e solicitado o sentido de corte desejado para o recorte externo.

Estes dados do processo serão armazenados nos "layers" das peças inseridas e das polylines de encadeamento.

Para as peças individuais, os "layers" terão o formato:

**n \$ sent \$ Nx \$ Dyyy**

onde:

- . **n** : número sequencial do recorte.
- . **sent** : CW ou CCW, indicando o sentido de corte no contorno externo.
- . **Nx** : identificador do número de bicos, onde "x" é uma valor inteiro que indica o número de bicos simultâneos.
- . **Dyyy** : identificador da distância entre bicos, onde "yyy" indica o valor desejado. Não é necessário quando o número de bicos for igual a um.

Ex: 1\$CW\$N4\$D500 (recorte 1, horário, 4 bicos, distância=500 mm)  
2\$CCW\$N1 (recorte 2, anti-horário, 1 bico)

Para recortes encadeados, os "layers" terão o formato:

- "LAYER" DA POLYLINE:

**n \$ Nx \$ Dyyy**

onde os campos terão a mesma função do caso anterior. Os vértices da "polyline" que estiverem conectados às peças terão atributos especiais, indicando que uma peça deverá ser cortada antes de se prosseguir no encadeamento.

- "LAYER" DE CADA PEÇA DO ENCADEAMENTO:

**n \$ m \$ sent \$ Nx \$ Dyyy**

onde:

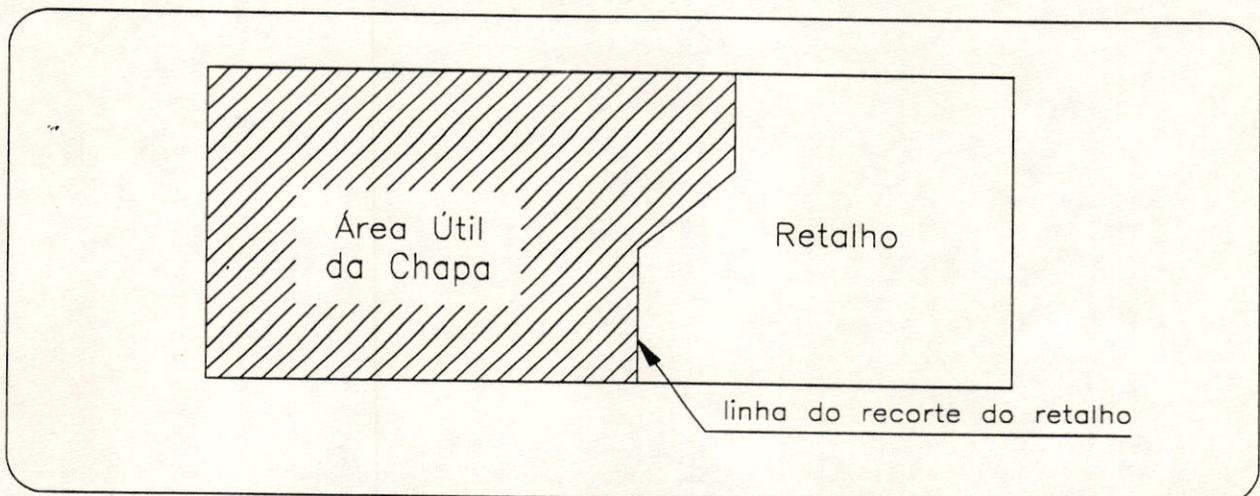
- . **n** : número sequencial do recorte = "n" da polyline associada.
- . **m** : sequencial da peça dentro do encadeamento.
- . **sent** : CW ou CCW, indicando o sentido de corte no contorno externo.
- . **Nx** : identificador do número de bicos.

. **Dyyy** : identificador da distância entre bicos.

Ex: 3\$4\$CW\$N3\$D300 (recorte 3, peça 4 do encadeamento, horário, 3 bicos, distância=300 mm)

#### 5.2.3.4 - GERAÇÃO DE RETALHO

A linha de recorte do retalho residual (se houver), será desenhado através de comandos do CAD. Rotinas AUTOLISP converterão estas linhas em polyline, dividindo-se assim a chapa original em 2 partes (fig. 5.7).



**Fig. 5.7 - Geração do Retalho**

Uma nova solicitação de status da chapa fornecerá dados (áreas) das 2 chapas existentes. Para o cálculo do grau de aproveitamento, será levada em conta agora somente a área útil da chapa.

$$\text{aproveitamento (\%)} = \frac{\text{área ocupada pelas peças}}{\text{área útil da chapa}} \times 100$$

As informações do retalho remanescente serão armazenadas em um arquivo ASCII contendo as coordenadas dos vértices do polígono. Este arquivo será processado por rotinas AUTOLISP, que gerarão automaticamente o desenho do retalho nos aproveitamentos futuros.

#### 5.2.3.5 - PROCESSAMENTO DO ENCAIXE

Para o processamento desta chapa, as entidades serão extraídas via arquivo DXF. A seguir, estas entidades serão ordenadas conforme seu número sequencial gerando então o arquivo das matrizes de transformação. Este arquivo conterà uma relação ordenada de palavras-chave, indicando os procedimentos a serem efetuados pelo software, na etapa de processamento. A estrutura proposta do arquivo de matrizes de transformação está representada no Anexo C.

O processamento para geração do CLDATA e DXF da movimentação do bico de corte se dará simultaneamente à leitura do arquivo das matrizes de transformação. Este arquivo DXF é muito importante por permitir uma simulação gráfica posterior. Para cada registro CLDATA gerado, o correspondente elemento geométrico primário será gerado (ponto, linha ou arco). Quando utilizados mais de um bico de corte, "Nx" entidades serão geradas no arquivo DXF, espaçadas no eixo "Y" da distância "Dyyy", possibilitando uma simulação bem próxima da realidade.

As informações necessárias para o processamento da chapa serão armazenadas em atributos e editados via "janelas de edição" ("dialogue box"). São eles:

- identificação da chapa (ex: XP50000)
- espessura da chapa

#### 5.2.4 - PÓS-PROCESSAMENTO

Esta operação consiste na conversão do arquivo CLDATA para a linguagem do controle numérico selecionado.

Na versão atual do sistema desenvolvido, não se encontra implementado um pós-processador genérico parametrizado. Fez-se uso do sistema tipo utilitário (item 2.3.5), ou seja, para cada tipo diferente de controle, um conversor dedicado deve ser desenvolvido. Até o momento, dois pós-processadores estão implementados, para o controle GE-550 MPM e MCS-350.

As informações passadas para o pós-processador serão armazenadas em atributos e editados via "janelas de edição". São eles:

- nome do arquivo CLDATA;
- tempo de pré-aquecimento;
- velocidade de avanço;
- passo entre blocos <padrão=10>.

#### 5.3 - ESTRUTURA DE DADOS

##### 5.3.1 - ARQUITETURA DO SISTEMA

A arquitetura do sistema, integrado ao AUTOCAD, consiste de três módulos principais (PROC.PEÇA, NESTING e GERAL). Cada módulo apresenta diversos grupos funcionais (rotinas PASCAL ou AUTOLISP), os quais são responsáveis pelas operações básicas detalhadas no capítulo 4.

- MÓDULO PROC. PEÇA

Este módulo é responsável pelo processamento de peças individuais, ou seja, a obtenção do CLDATA e arquivo CAD de cada peça compensada. Seus principais grupos funcionais são ilustrados na figura 5.8.

		FUNÇÕES	ROTINAS
		INICIALIZA	DEFINIR PARÂMETROS DA PEÇA
MÓDULO PROC. PEÇA	MACROS	DESENHAR FORMAS PARAMETRIZADAS	SEGM01 OBLO01 OBLO02 DIAF01 DIAF02 JANEO1
	SEQ. CORTE	DEFINIR PONTO DE ENTRADA, SENTIDO E SEQUÊNCIA DE CORTE	SEQPECA
	PROC. PEÇA	GERAR CLDATA DA PEÇA E GRAVAR DESENHO DA PEÇA COMPENSADA	CPANT GERABLK
	SIMULA	SIMULAR PERCURSO DO BICO DE CORTE	SIMPECA
	APOIO	DAR SUPORTE E AGILIZAR EDIÇÃO DOS DESENHOS E VERIFICAÇÕES	RENPECA LISTPTS DELENT DELPTS DELCN1

Fig. 5.8 - Grupos Funcionais do Módulo Proc. Peça

- MÓDULO NESTING

Este módulo é responsável pelo processamento das chapas, ou seja, a obtenção do CLDATA do "Nesting". Seus principais grupos funcionais são ilustrados na figura 5.9.

		FUNÇÕES	ROTINAS
MÓDULO O T J U D O M	INICIALIZA	DEFINIR PARÂMETROS DA CHAPA, DESENHAR CHAPA PARA NESTING	INFCHAPA DESCHAPA
	SEQ.CORTE	DEFINIR NÚMERO DE BICOS, SENTIDO E SEQUÊNCIA DE CORTE, ENCADEAMENTO DE PEÇAS	SEQCHAPA
	PRÉ-PROC. NESTING	GERAR MATRIZES DE TRANSFORMAÇÃO	PRECHAPA NESTPRE
	PROCESS. NESTING	GERAR CLDATA DO ENCAIXE	PROCHAPA NESTPRO
	SIMULA	SIMULAR PERCURSO DO BICO DE CORTE	SIMCHAPA
	STATUS	FORNECE "STATUS" DAS PEÇAS E DO NESTING (QUANTIDADE, ÁREAS, APROVEITAMENTO)	CHKPECA ESTPECAS ESTCHAPA ESTGERAL
	APOIO	DAR SUPORTE E AGILIZAR EDIÇÃO DOS DESENHOS E VERIFICAÇÕES	MOVEPECA TROTPECA RENCHAPA RETALHO DESENTR VISUINAT DELCHN2 DELCHAPA DELINS



Fig. 5.9 - Grupos Funcionais do Módulo Nesting

- MÓDULO GERAL

Este módulo é responsável pelo pós-processamento de peças individuais e chapas. Também executa funções gerais de inicialização ou edição de desenhos. Seus principais grupos funcionais são ilustrados na figura 5.10.

		FUNÇÕES	ROTINAS
		MÓDULO GERAL	INICIALIZA
	PÓS PROCESS.	PÓS-PROCESSAR NESTING E PEÇAS INDIVIDUAIS	POSPROC PPCN91 PPCN92
	APOIO	DAR SUPORTE E AGILIZAR EDIÇÃO DOS DESENHOS E VERIFICAÇÕES	VISUPTS CLD-DXF VLINE HLINE ALINE NLINE DELLAY ANGULO

Fig. 5.10 - Grupos Funcionais do Módulo Geral

### 5.3.2 - INFORMAÇÕES

Como visto no item 4.1 todos os dados/informações processados nas diversas etapas estão armazenados na forma de arquivos padronizados. Basicamente existem 5 tipos diferentes de arquivos:

- arquivos desenhos;
- arquivo de configuração do sistema;
- arquivo das matrizes de transformação;
- arquivo das coordenadas de movimentação - CLDATA;
- arquivos dos programas CN.

Os fluxogramas para obtenção destes arquivos padronizados são mostrados nas figuras 5.11 e 5.12.

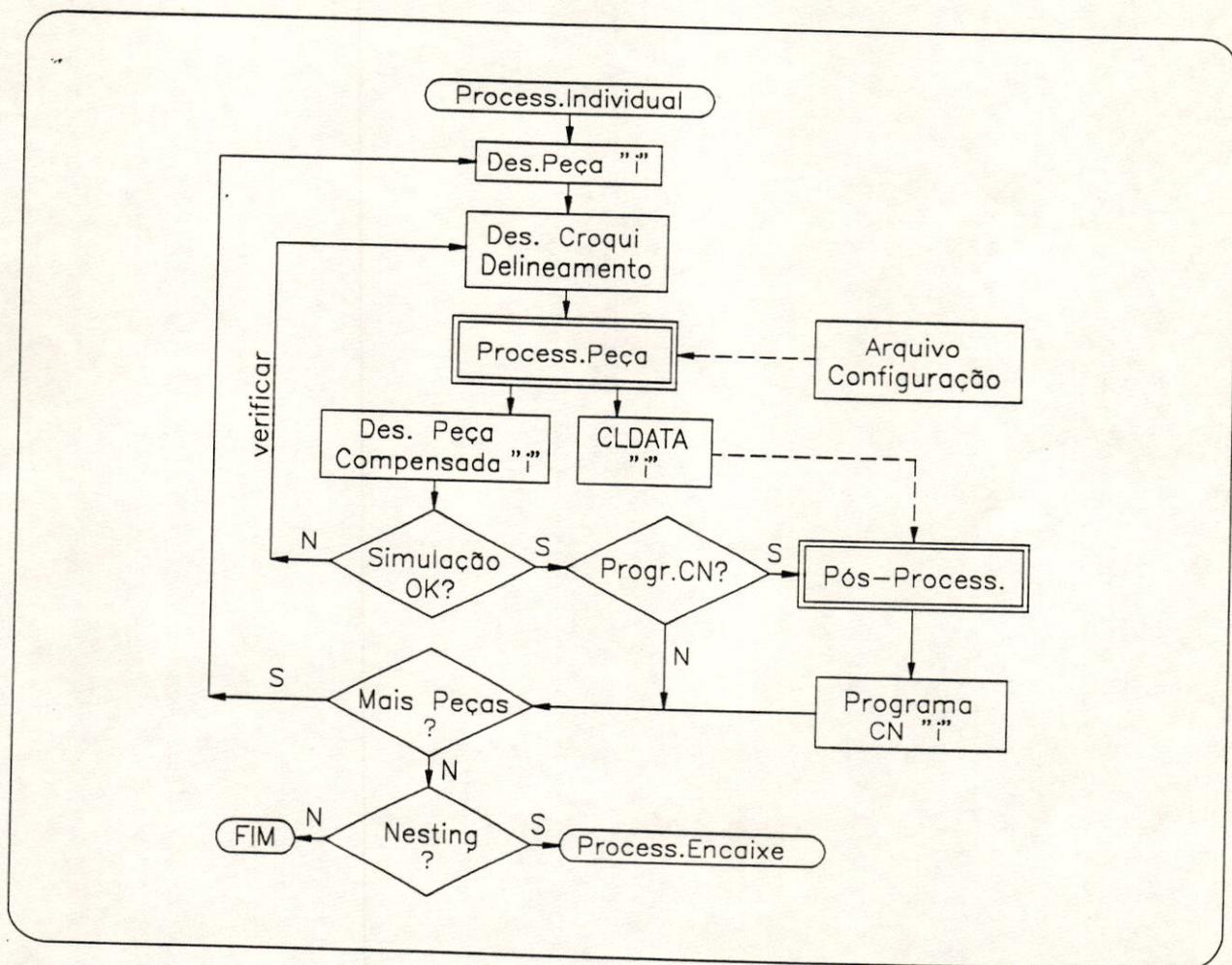


Fig. 5.11 - Fluxograma para Processamento de Peças Individuais

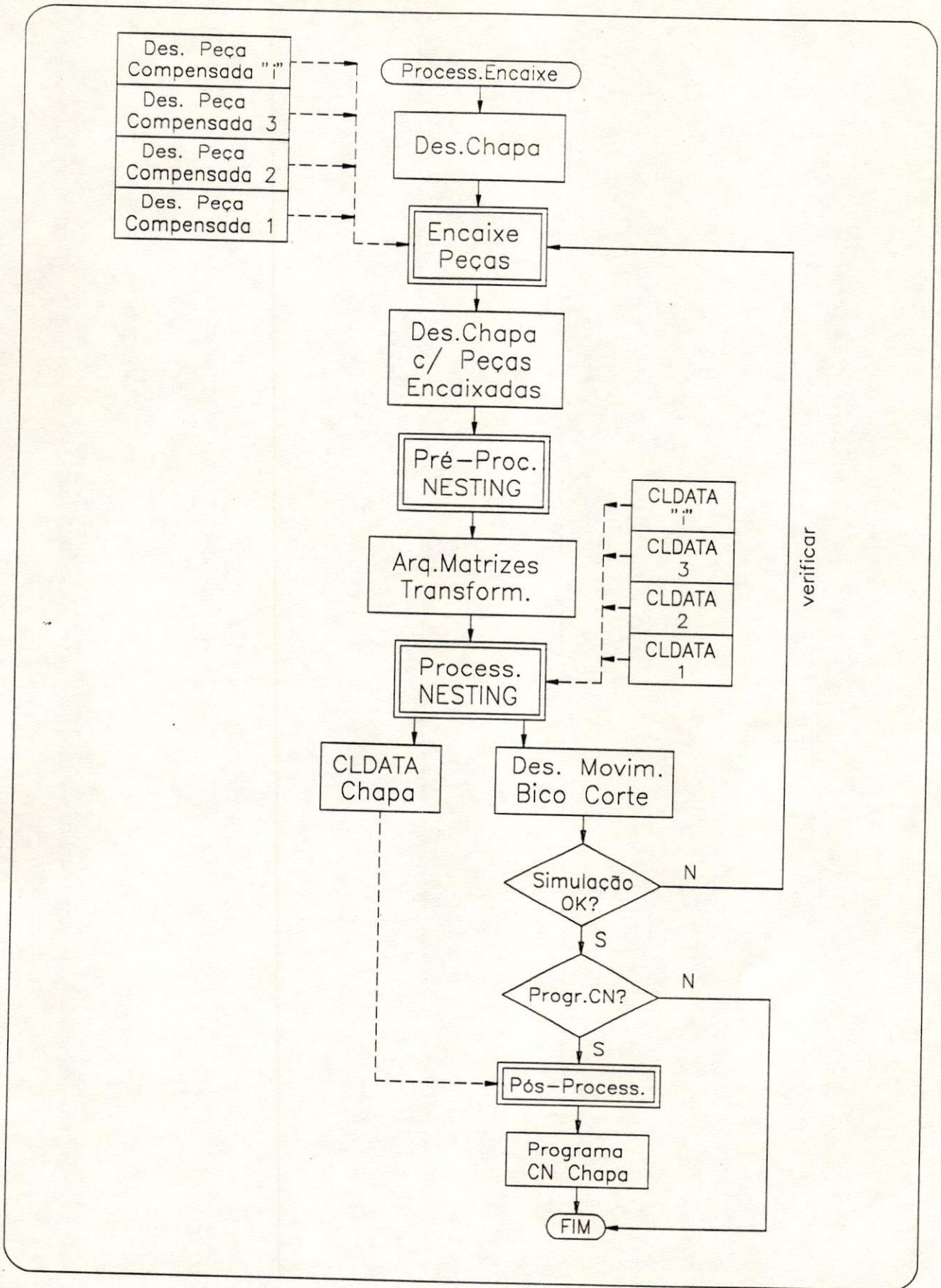


Fig. 5.12 - Fluxograma para Processamento de "Nesting"

### \*5.3.2.1 - ARQUIVOS PADRONIZADOS

São descritas, a seguir, as principais informações contidas em cada um destes arquivos padronizados.

#### - ARQUIVO DESENHO DO CROQUI DE DELINEAMENTO

Este arquivo contém as entidades do desenho acrescidas das informações tecnológicas pertinentes ao processo (sobremetal). Deve ter formato segundo alguma interface padrão para permitir a extração dos elementos.

#### - ARQUIVO DESENHO DA PEÇA COMPENSADA

Este arquivo consiste do croqui de delineamento com suas entidades ordenadas segundo a sequência e o sentido estipulado para cada um dos recortes. Estas entidades estarão "compensadas" do valor da "sangria", de modo a se ter exatamente o percurso efetuado pelo bico de corte. Deve estar no formato gráfico compatível com o sistema CAD para que possa ser utilizado nas operações de encaixe.

#### - ARQUIVO DE CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

Arquivo em formato ASCII, que pode ser alterado por qualquer editor de textos em modo não documento, permitindo que o usuário reconfigure o sistema conforme suas necessidades.

Este arquivo contém as informações relevantes ao processo de corte escolhido associado com as características da matéria prima (espessura). Ele é lido na etapa de processamento de peças. As principais informações supridas pelo arquivo são:

. diâmetro da sangria = f(processo corte, espessura chapa)

. distância de entrada = f(processo corte, espessura chapa)

#### - ARQUIVO DE COORDENADAS DE MOVIMENTAÇÃO (CLDATA)

Estes arquivos são gerados nas etapas de processamento das peças e processamento do encaixe. Contém todas as informações necessárias para a geração do programa CN que são:

- . identificadores do tipo de movimentação do bico de corte (movimento linear ou circular)
- . coordenadas de cada movimentação (ponto de entrada, ponto final de movimentações, centro de arcos)
- . número de bicos utilizados em cada recorte e distância relativa entre os bicos ("Nesting")
- . sentido de corte do recorte externo (horário ou anti-horário)
- . diâmetro da sangria
- . espessura da chapa
- . área útil total
- . perímetro total

Algumas das informações acima são gerais ao programa e outras exclusivas de cada recorte. As gerais como sangria, espessura da chapa, área e perímetro totais, devem vir no cabeçalho do arquivo, antes de qualquer identificador de movimentação.

Como visto no item 4.1, existem 2 tipos de arquivos CLDATA: arquivo de peça individual e arquivo de chapa com peças encaixadas. Um identificador no cabeçalho informa em qual classe se enquadra o arquivo.

#### - ARQUIVO DESENHO DA CHAPA COMPLETA (PEÇAS ENCAIXADAS)

Este arquivo contém todas as entidades participantes do encaixe na chapa, inclusive as linhas de encadeamento e a linha do

recorte final do retalho. Apresenta formato segundo interface padrão, onde os "atributos" ou "layers" são usados para informar a sequência, o sentido de corte, o número de bicos utilizado e a distância entre eles.

#### **- ARQUIVO DAS MATRIZES DE TRANSFORMAÇÃO**

Este arquivo nada mais é do que uma versão reorganizada do arquivo anterior. Contém todos os elementos ordenados conforme a sequência com que serão cortados. As informações completas do processamento a ser realizado com cada item são fornecidas de modo claro:

- . coordenadas de inserção
- . espelhamento em "X" e "Y"
- . ângulo de rotação
- . ponto de entrada e sentido de corte no recorte externo
- . ponto de início de encadeamento
- . percurso do encadeamento, ligando as peças entre si
- . número de bicos e distância entre bicos

#### **- ARQUIVO MAPA DE DEPURAÇÃO**

Este arquivo tem, como única função, auxiliar a depuração caso algum problema ocorra na fase de processamento da peça (compensação automática). Será facultativa a geração deste arquivo ASCII, relatando todo o comportamento das entidades ao longo das fases de cálculos.

#### **- ARQUIVO DO PROGRAMA CN**

Este arquivo se encontra em formato ASCII e sua sintaxe será definida pelo controle numérico selecionado. A grande maioria dos controles utiliza a linguagem "G" (ISO 6983). Entretanto, apenas os parâmetros básicos são padronizados, necessitando-se então do

desenvolvimento de pós-processadores diferenciados para cada fabricante (item 2.3.5).

#### **5.3.2.2 - CLASSIFICAÇÃO DOS ARQUIVOS**

Pelas características dos arquivos envolvidos no sistema é possível distinguir-se 3 diferentes grupos:

##### **- ARQUIVOS PERMANENTES**

São aqueles que não devem ser eliminados. É o caso do arquivo de configuração, que pode ser alterado conforme a necessidade do usuário, mas jamais será eliminado.

##### **- ARQUIVOS TEMPORÁRIOS**

São aqueles gerados durante o processamento e que podem ser eliminados após completarem sua função.

Todos os desenhos gerados pelo Delineamento serão armazenados somente enquanto durar as atividades de encaixe de peças. Após o processamento, a chapa completa deve ser "plotada" como fonte de orientação para o operador da máquina e todos os desenhos relativos à chapa podem ser então eliminados.

Após a geração e envio do programa CN à memória da máquina, este pode ser eliminado, uma vez que o arquivo CLDATA correspondente ficará armazenado por algum tempo, podendo ser pós-processado novamente, se for necessário.

O mesmo vale para o arquivo das matrizes de transformação e o arquivo mapa usado eventualmente para depuração.

#### - ARQUIVOS DE DURAÇÃO PRÉ-DETERMINADA

São aqueles que serão guardados por um período a ser estabelecido pela Área de Processos. É o caso dos arquivos CLDATA. Após o corte da chapa o arquivo CLDATA correspondente à chapa pode ser eliminado, pois será pouco provável o corte de uma outra chapa com o mesmo "layout". Entretanto, quanto aos arquivos CLDATA das peças individuais, estes, por serem neutros ficarão armazenados por determinado tempo.

#### 5.3.2.3 - CONTROLE DOS ARQUIVOS

Um software gerenciador de Banco de Dados deve controlar os arquivos que ficarão armazenados (CLDATA). Os dados relevantes para consulta/controle são:

- código do arquivo CLDATA
- data de confecção do programa
- autor do programa
- código do desenho da peça
- nome da peça
- obra
- tipo CLDATA (individual/"Nesting")
- status (permanente/temporário)

Este último campo informará se este programa será mantido quando o banco for reinicializado. Isto é, quando a numeração CN atingir um número limite pré-determinado, os programa mais antigos poderão ser extintos, liberando o código para outra peça. Entretanto, haverá peças de elementos padronizados com grande chance de serem fabricados novamente. Este código poderá ficar então "permanentemente" reservado para esta peça.

Através de chaves de índice apropriadas, qualquer tipo de busca será facilmente efetuado num sistema deste tipo.

#### **5.3.2.4 - CODIFICAÇÃO DOS ARQUIVOS**

Como visto nos itens anteriores, será feito uso de uma grande quantidade de arquivos. Os arquivos devem ter seus nomes escolhidos convenientemente para possibilitar uma fácil identificação e eficiente organização. O procedimento adotado será a padronização na codificação do nome e extensão da seguinte forma:

##### **- NOME**

O nome do arquivo deve conter uma letra que identifique o grupo de máquina CN à que pertence.

Ex: "P" de pantógrafos.

Deve possuir uma numeração sequencial indicando a ordem com que os programas foram desenvolvidos.

Ex: P50000, P50001, etc..

##### **- EXTENSÃO (MÁXIMO 3 CARACTERES)**

A extensão do arquivo deve indicar o tipo/aplicação do arquivo.

Ex:

.DWG (ou a extensão padrão do sistema selecionado) para desenhos no formato CAD

.DXF para desenhos no formato da interface padrão DXF

.CFG para arquivos de configuração

.MTX para arquivos das matrizes de transformação

.CLD para arquivos CLDATA

.C91,C92 (conforme a identificação do controle da máquina) para programas CN

.LST para arquivos "mapa de depuração"

Todos os arquivos relacionados à uma determinada peça terão portanto o mesmo nome, diferenciando-se somente pela extensão. A única exceção se dará nos arquivos desenhos do Croqui de Delineamento e da peça compensada. Como ambos possuirão a mesma extensão (DWG ou DXF) deve-se incluir um diferenciador no nome do arquivo. Adotou-se por incluir a letra "X" antes do nome do arquivo, resultando:

XP50000.DXF -> arquivo do croqui de delineamento

P50000.DXF -> arquivo da peça processada (compensada)

O mesmo ocorrerá no processamento de um "Nesting". O desenho da chapa com as peças encaixadas terá o prefixo "X" para diferenciá-lo do arquivo DXF gerado na simulação do corte.

## 6 - EXEMPLO DE APLICAÇÃO

Neste capítulo será ilustrado um exemplo prático de utilização do sistema desenvolvido.

### 6.1 - MENUS E FUNÇÕES ESPECIAIS

Foi criado um "menu" dedicado para a utilização do sistema, contendo os comandos mais utilizados na geração e edição de desenhos. O menu possui ainda 3 sub-menus (tipo "pull-down") contendo funções desenvolvidas em PASCAL e AUTOLISP, específicas para a aplicação.

- **SUB-MENU PROC.PECA** : contém funções para definição de parâmetros e processamento das peças individuais (figura 6.1).

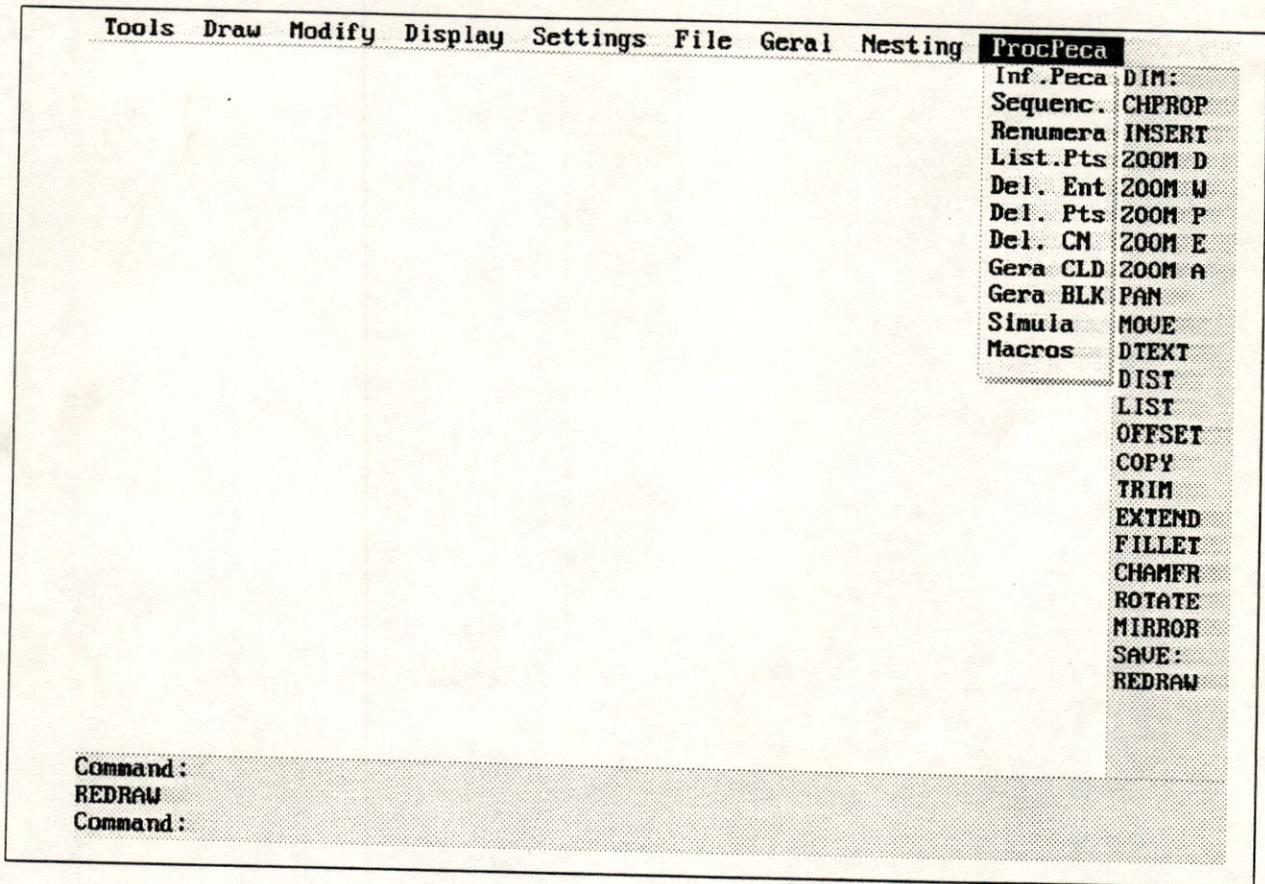


Fig. 6.1 - Sub-Menu Proc.Peca

- **SUB-MENU NESTING** : contém funções para execução e processamento do "Nesting" (figura 6.2).

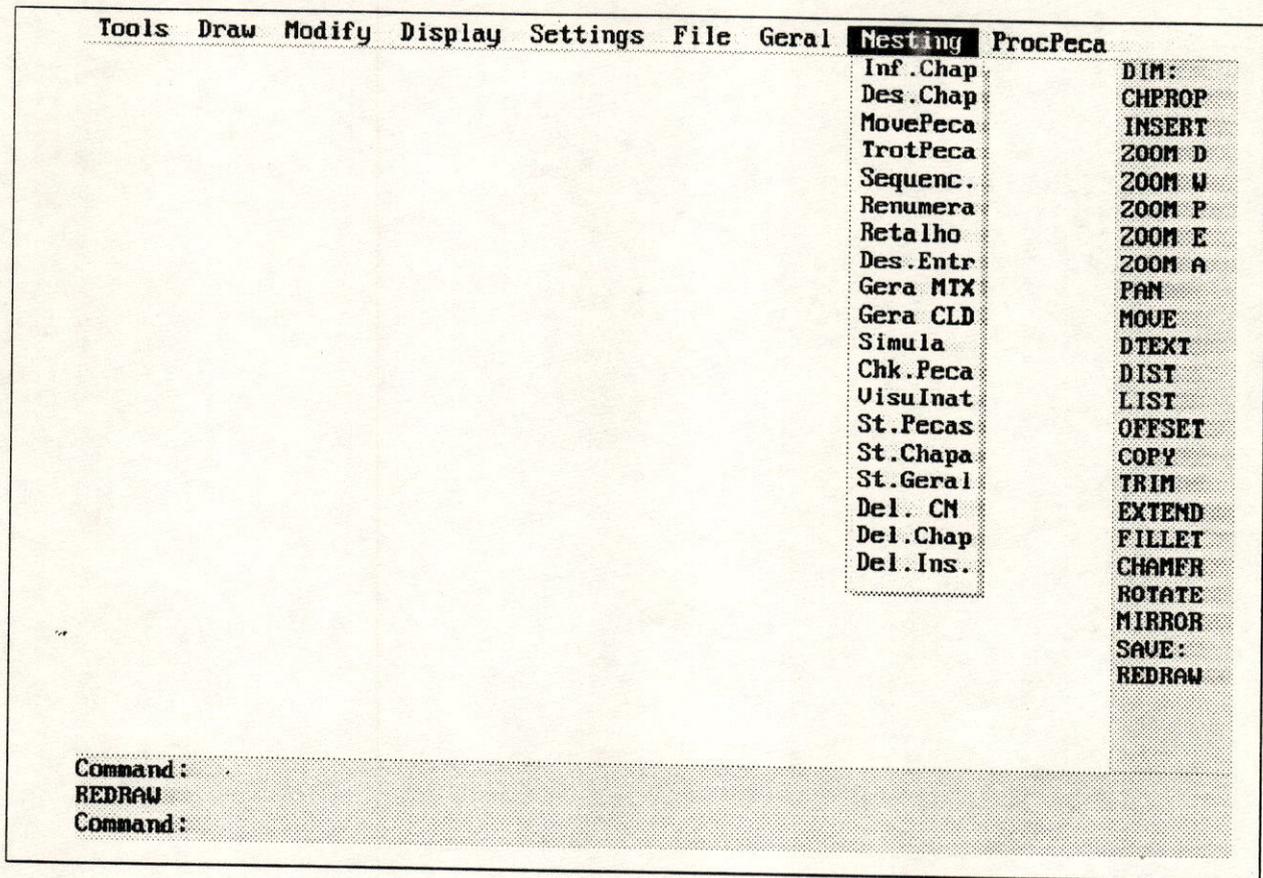


Fig. 6.2 - Sub-Menu Nesting

- **SUB-MENU GERAL** : contém funções para definição de parâmetros gerais, pós-processamento de peças individuais ou "Nesting", rotinas especiais para conversão de formatos, rotinas auxiliares para edição dos desenhos e manipulação das entidades (figura 6.3).

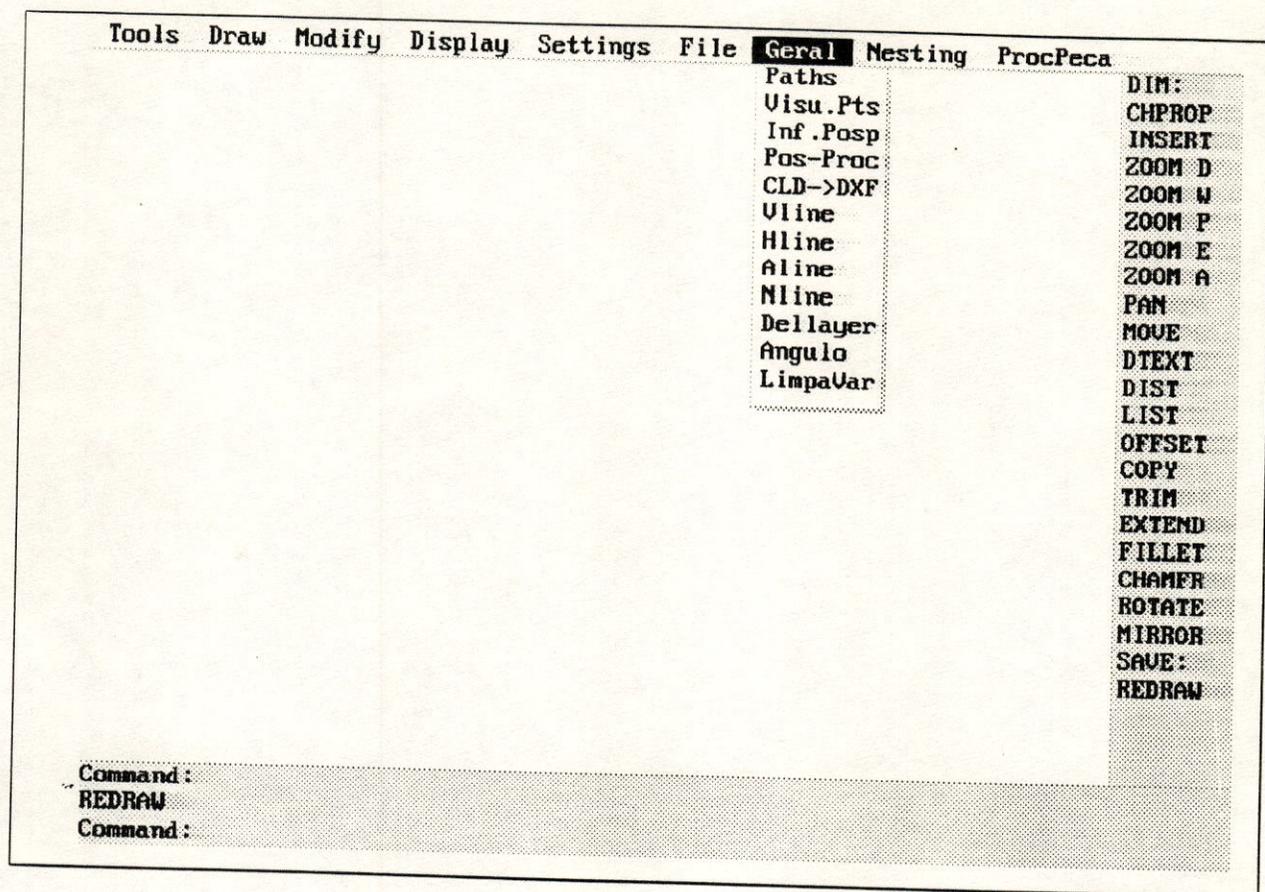


Fig. 6.3 - Sub-Menu Geral

## 6.2 - GERAÇÃO DO CROQUI DE DELINEAMENTO

O primeiro passo consiste em inicializar algumas variáveis gerais do trabalho.

### - DEFINIÇÃO DOS DIRETÓRIOS DE TRABALHO

Ativar a opção "**Paths**" (sub-menu Geral). A rotina lê a altera os dados armazenados no arquivo ASCII "\CPANT\PATHS.TXT" (Anexo D). Preencher com os nomes dos diretórios desejados ou teclar **ENTER** para confirmar o valor corrente:

```

PATH (DWG) <C:\CPANT\DWG\> :
PATH (DXF) <C:\CPANT\DXF\> :
PATH (CLD) <C:\CPANT\CLD\> :
PATH (MTX) <C:\CPANT\MTX\> :
PATH (CN) <C:\CPANT\CN\> :
PATH (DAT) <C:\CPANT\DAT\> :
PATH (RET) <C:\CPANT\RET\> :

```

**- DEFINIÇÃO DOS DADOS DA PEÇA**

Ativar a opção "Inf.Peca" (sub-menu Proc.Peca) e preencher os campos, como visto na figura 6.4.

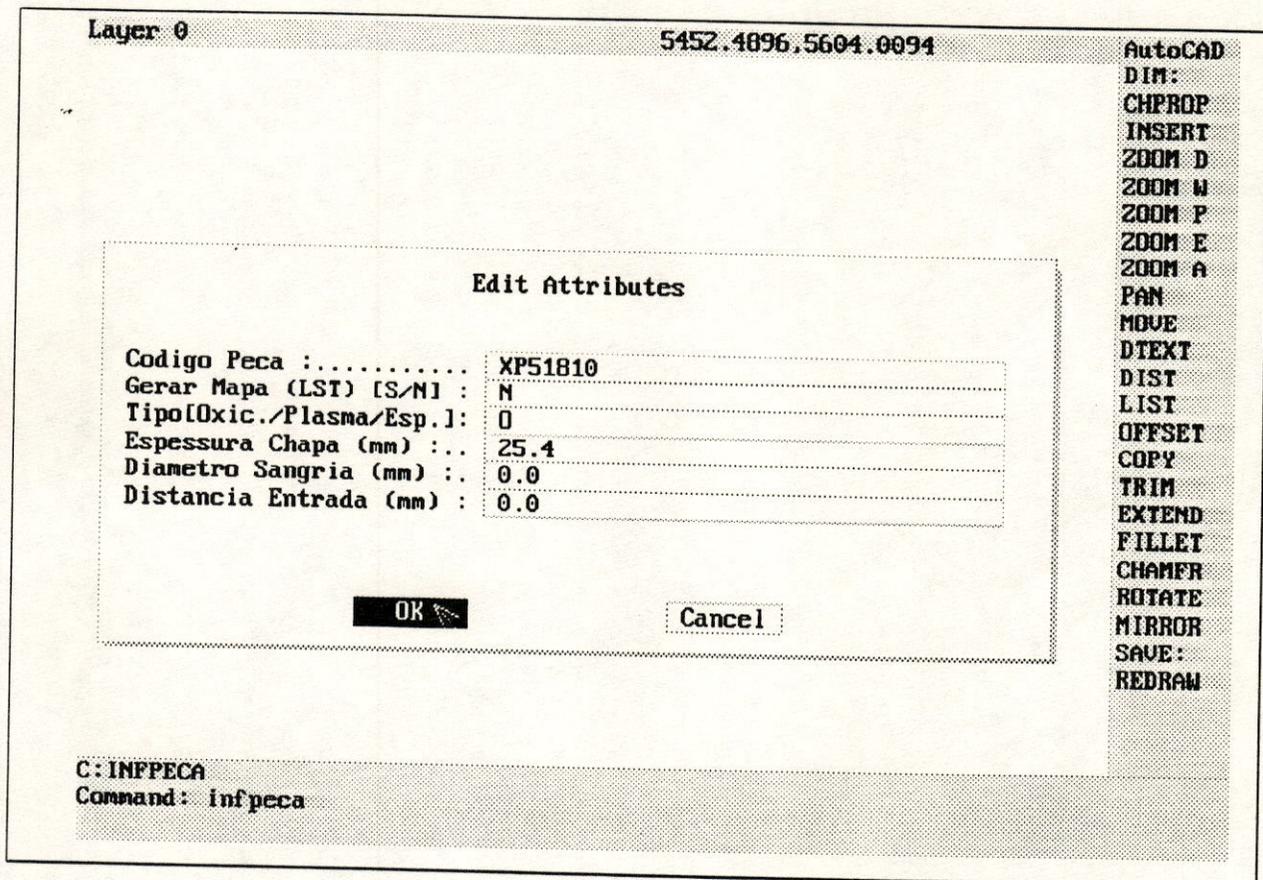


Fig. 6.4 - Tela dos Dados da Peça

- DESENHO DO CROQUI DE DELINEAMENTO

Será tomado como exemplo de peça a ser cortada, a figura 6.5.

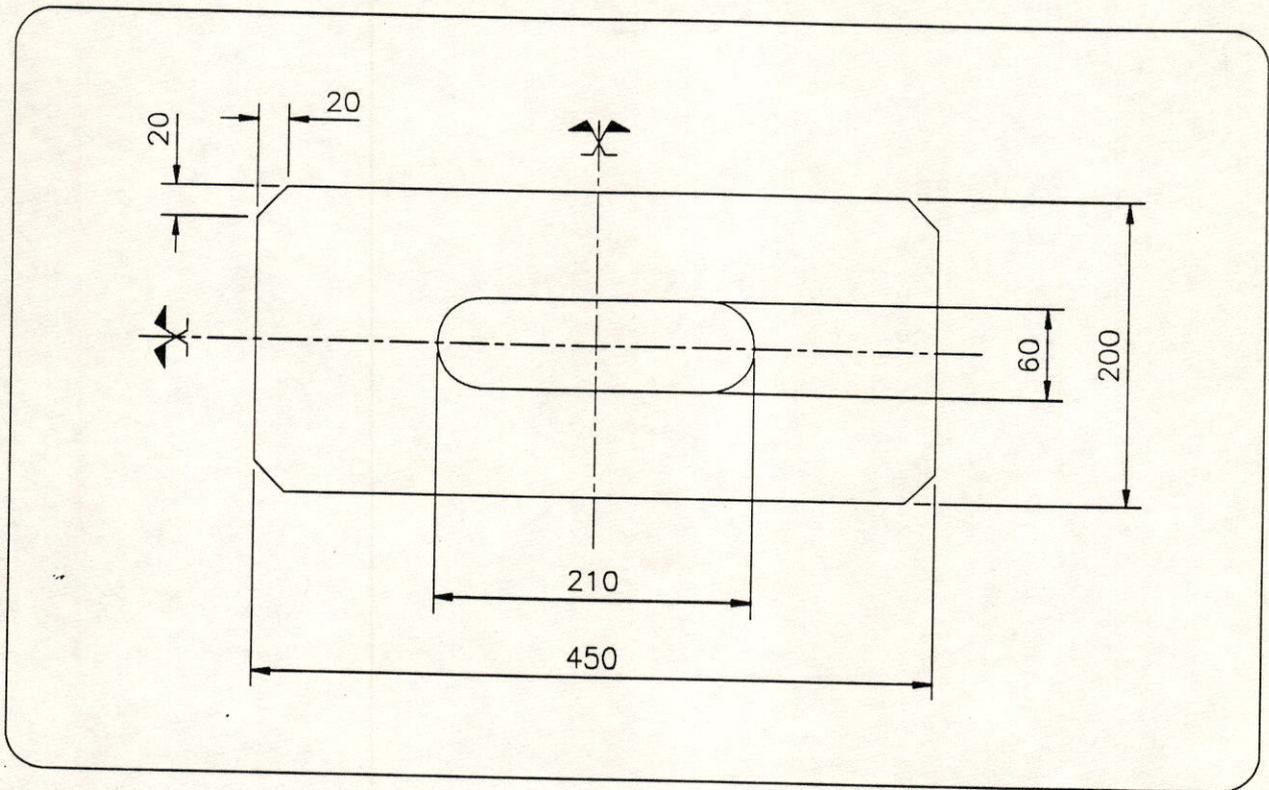


Fig. 6.5 - Desenho da Peça-Exemplo

A geração do croqui de delineamento é facilmente obtida ativando-se o menu de **"Macros"** (sub-menu Proc.Peca), ilustrado na figura 6.6.

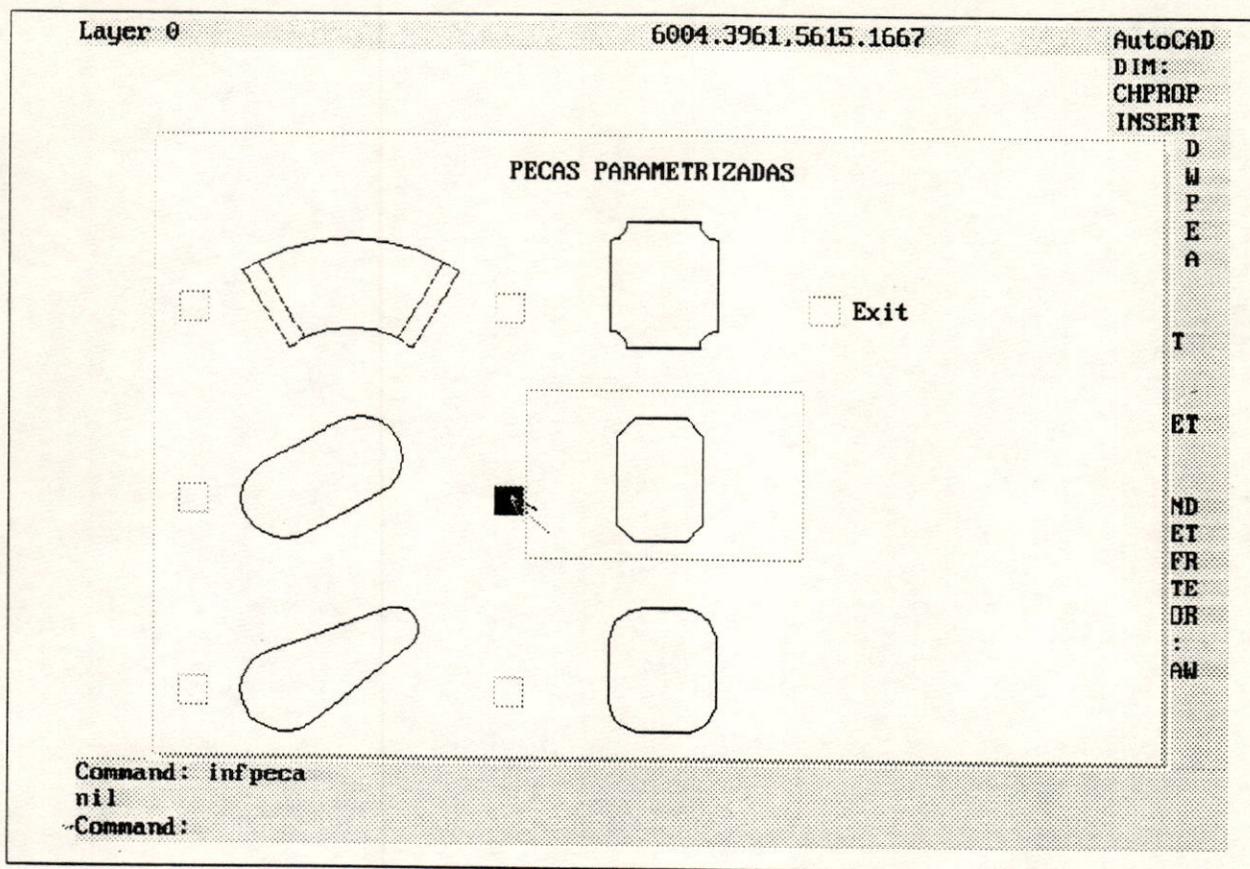


Fig. 6.6 - Menu de Ícones das Macros

Selecionando-se a opção "diaf02" (diafragma com chanfros), a rotina solicitará:

- . Ponto de Origem : 0,0
- . Comprimento : 450
- . Largura : 200
- . Ângulo de Inclinação : 0
- . Chanfro A : 20
- . Chanfro B <20> :

O diafragma será desenhado automaticamente. Para obter-se o recorte do oblongo interno, deve-se ativar novamente o menu de macros e selecionar a opção "oblo01" (oblongo regular). A rotina solicitará:

- . Centro do Círculo Origem : 150,100
- . Distância entre Círculos : 150
- . Raio do Círculo : 30
- . Ângulo de Inclinação : 0

O resultado será apresentado como visto na figura 6.7.

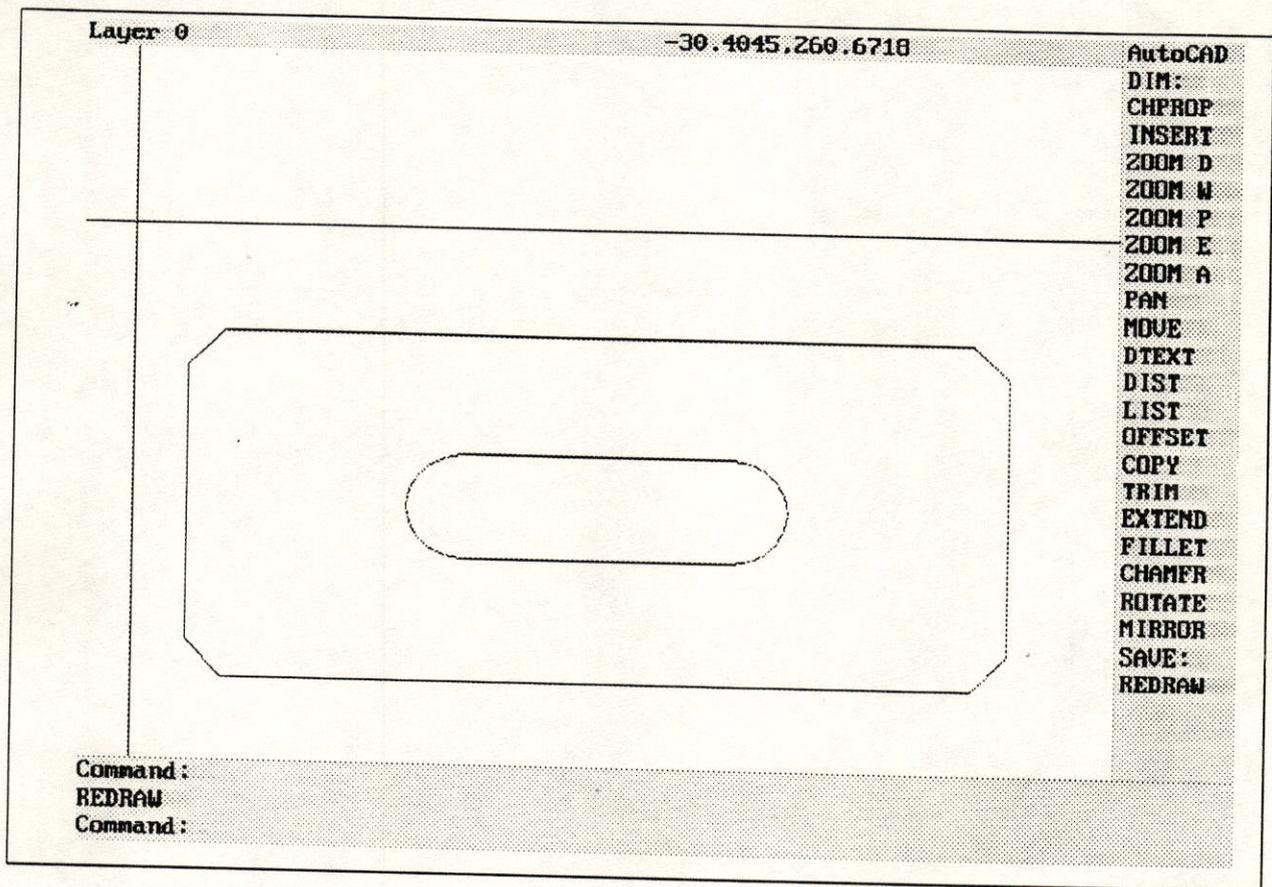


Fig. 6.7 - Desenho do Croqui de Delineamento

### 6.3 - PROCESSAMENTO DAS PEÇAS

#### - DEFINIÇÃO DOS PONTOS DE ENTRADA E SEQUÊNCIA DE CORTE

Ativando-se a opção "Sequenc." (sub-menu Proc.Peca), a rotina solicitará:

- . Tipo de Recorte (Externo/Interno) : I
- . Numero do Recorte : 1
- . Compensacao (Int,Ext,Coff) <I> :
- . Pertence a ARRAY (S/N) <N> :
- . Tipo de Entrada (Tv,Pv,Bv) : P
- . Distância de Entrada <default> : (aceitar valor padronizado para o corte ou fornecer novo valor)
- . Escolha o Ponto de Entrada : (indicar com o "mouse" o ponto desejado)
- . Indicar o Sentido (entidade) : (indicar com o "mouse" a primeira entidade vizinha ao ponto de entrada)
- . Recorte Sequencial (S/N) <N> :

Um ponto de entrada será criado para o recorte interno. Ativar novamente a função para definir o recorte externo:

- . Tipo de Recorte (Externo/Interno) : E
- . Numero do Recorte : 2
- . Com entrada (S/N) <N> :
- . Compensacao (Int,Ext,Coff) <E> :
- . Tipo de Entrada (Tv,Pv,Bv) : T
- . Distância de Entrada <default> : (aceitar valor padronizado para o corte ou fornecer novo valor)
- . Escolha o Ponto de Entrada : (indicar com o "mouse" o ponto desejado)
- . Indicar o Sentido (entidade) : (indicar com o "mouse" a primeira entidade vizinha ao ponto de entrada)

- Obs: . a escolha da opção "I" (Interno) resultou no aparecimento das perguntas sobre "ARRAY" e "Recorte Sequencial", exclusivas para recortes internos.
- . no caso de vários recortes internos com características semelhantes (compensação, tipo de entrada, distância de entrada), deve-se responder "S" na pergunta sobre "Recorte Sequencial". A rotina entra em loop, solicitando somente os novos pontos e sentidos de corte. São mantidas as características originais e o identificador do número do recorte (1,2,3,...) é incrementado automaticamente.
  - . a escolha da opção "E" (Externo) forçou o aparecimento da pergunta sobre a existência da entrada. No caso de peças a serem encaixadas é melhor gerar o desenho sem esta entrada no recorte externo.

#### - VERIFICAÇÃO DOS PONTOS DE ENTRADA

Para conferir as informações atribuídas aos pontos de entrada, pode-se listar os "layers" associados selecionando-se a opção "**List.Pts**" (sub-menu Proc.Peca), que fornece:

X	Y	LAYER
(20.0	0.0	"0002\$NOENT\$EXT\$TV")
(120.0	100.0	"0001\$INT\$PV")

A visualização dos pontos de entrada na tela (figura 6.8) pode ser ativada/desativada através da opção "**Visu.Pts**" (sub-menu Geral).

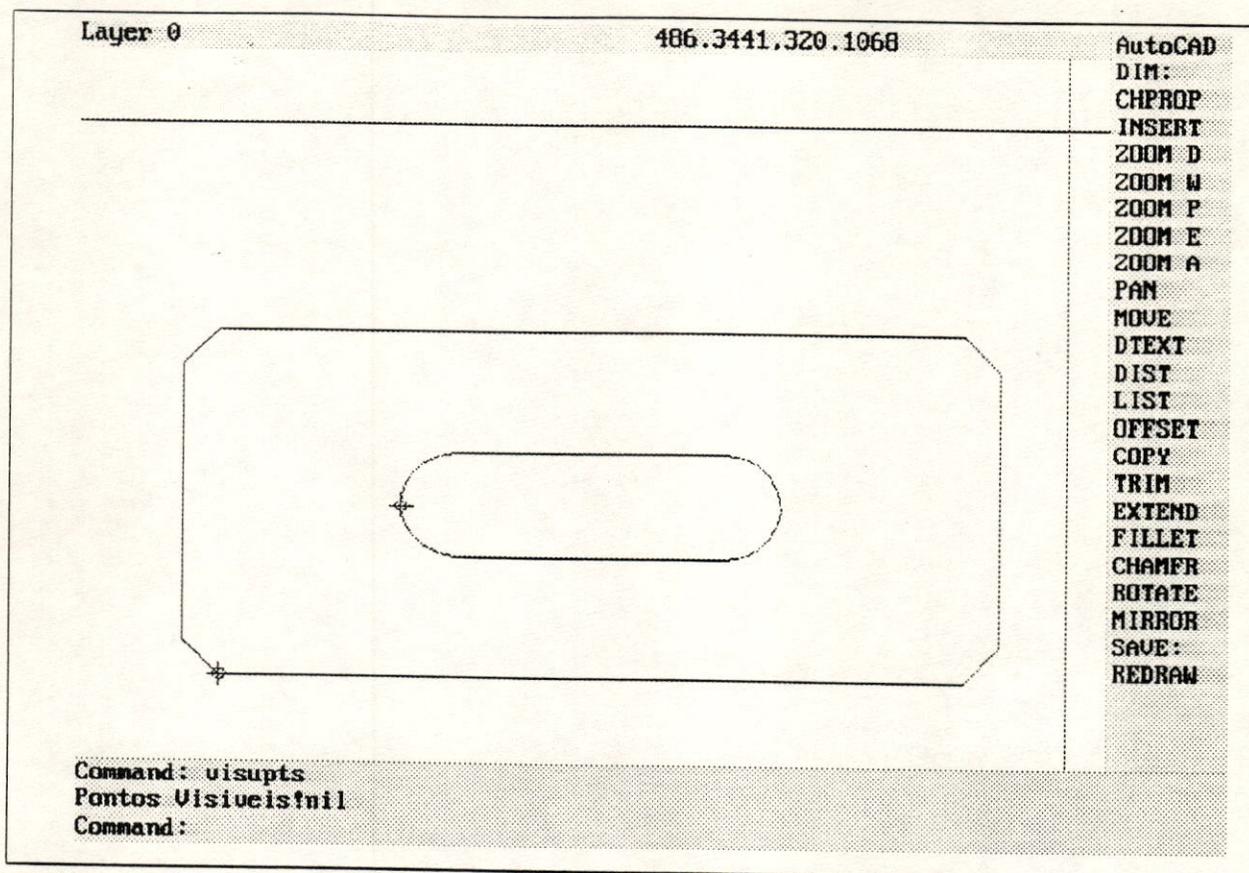


Fig. 6.8 - Visualização dos Pontos de Entrada

## - COMPENSAÇÃO DOS CONTORNOS

Ativando-se a opção "**Gera CLD**" (sub-menu Proc.Peca), será solicitado:

- . **Gerar Arquivo DXF <P51810>** : (confirmar o nome fornecido na inicialização ou digitar novo nome)
- . **Layers a serem ignorados** : (digitar os "layers", separados por vírgula, que não devem ser considerados no processamento. Ex: "NULL", "COTAS").

O processamento terá início, sendo o acompanhamento feito na tela, como ilustrado na figura 6.9.

```
Memoria Inicio : 319600 bytes disponiveis
>> carregando XP51810.DXF ...
>> criando vetores das entidades ...
>> filtrando entidades duplicadas ...
>> gerando modificadores das entidades ...
>> corrigindo vetores das entidades ...
>> processando vetores das entidades ...
Perimetro (M) : 1.767
Area Total (M2) : 0.0000

Memoria Processamento : 318554 bytes disponiveis
Memoria Final : 319600 bytes disponiveis
```

Operacao Efetuada com Sucesso! Tecle [ENTER]

Fig. 6.9 - Tela do Processamento de Peças

O perfil compensado será carregado sobre o desenho original (figuras 6.10 e 6.11), podendo ser verificado através de recursos de ampliação (ZOOM) e medição das distâncias compensadas (DIST).

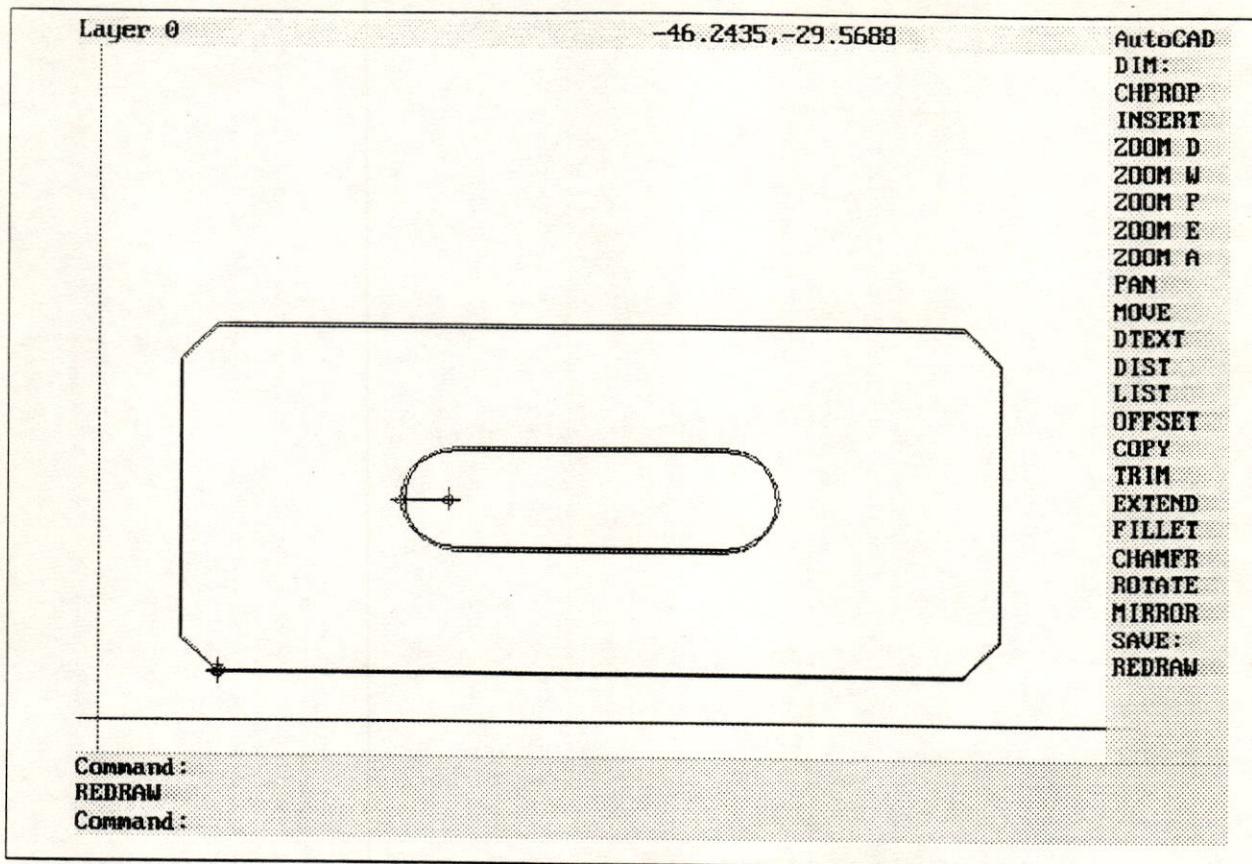


Fig. 6.10 - Sobreposição do Perfil Compensado

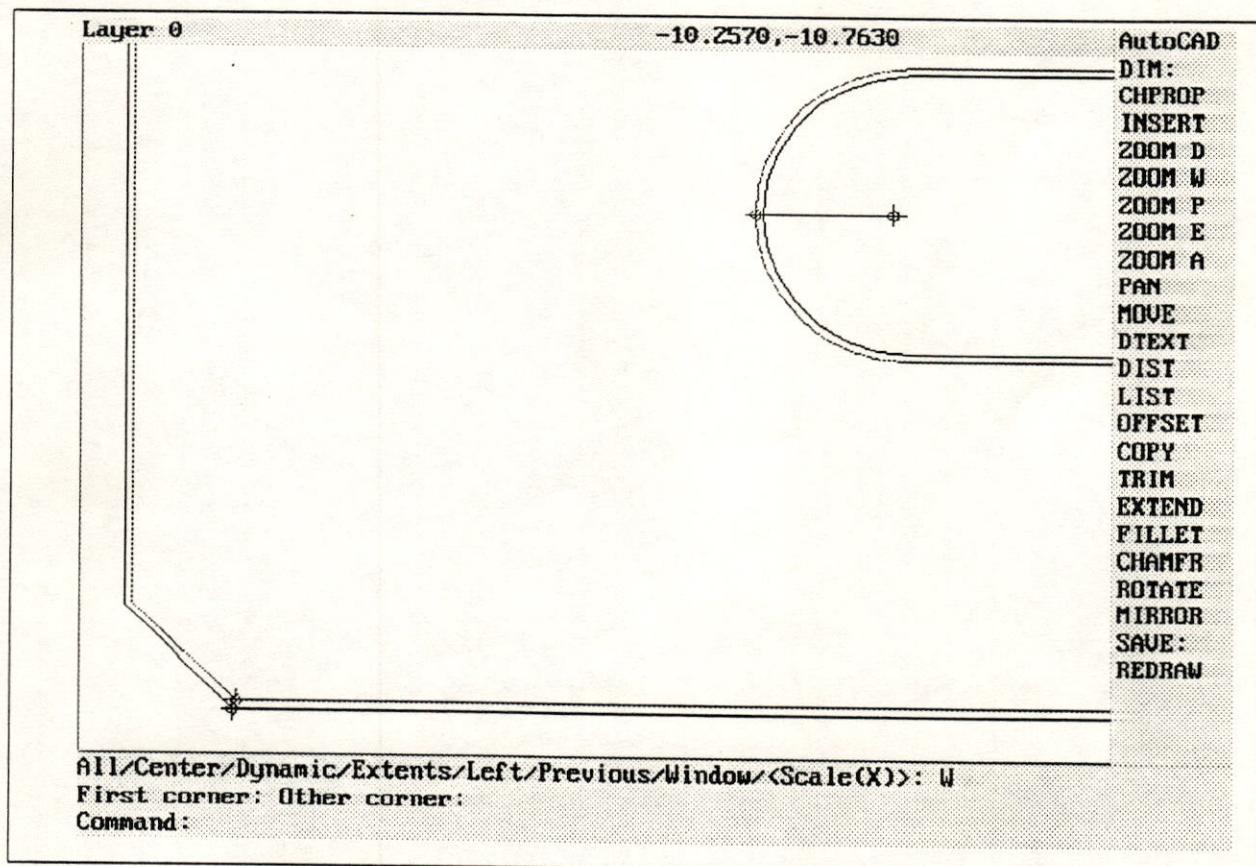


Fig. 6.11 - Detalhe da Compensação

## - SIMULAÇÃO DO PERFIL COMPENSADO

Ativando-se a opção "**Simula**" (sub-menu Proc.Peca), a rotina solicitará a cadência para regeneração das entidades no vídeo.

. **Tipo (Tempo/Passo) : P**

A cada ENTER digitado, uma nova entidade será visualizada, numa simulação da sequência de corte real do processo (figura 6.12).

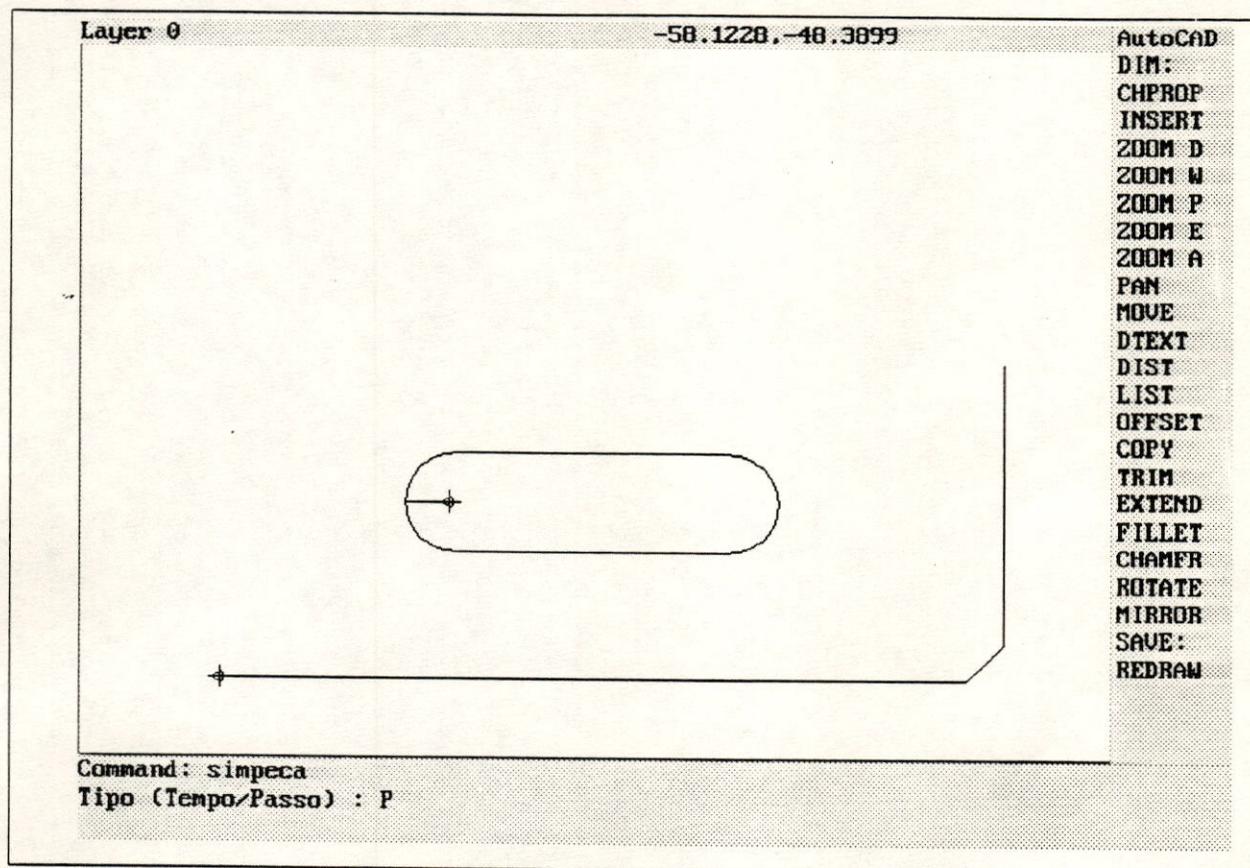


Fig. 6.12 - Simulação Dinâmica do Corte da Peça

## - GERAÇÃO DO DESENHO DA PEÇA COMPENSADA

Peças que serão submetidas ao "Nesting" devem ter o arquivo do perfil compensado no formato DWG, permitindo as

operações futuras de inserção, translação, rotação e espelhamento. O desenho da peça compensada é obtido ativando-se a opção "**GeraBLK**" (sub-menu Proc.Peca). A rotina solicitará:

- . **Gerar Arquivo DWG <P51810>** : (confirmar o nome proposto ou fornecer novo nome)

## - **CORREÇÕES**

Para eventuais alterações que se façam necessárias, rotinas especiais (sub-menu Proc.Peca) auxiliam o processo:

- . **RENUMERA** : renumera a identificação dos pontos de entrada, multiplicando seu valor por 10. Isto permite a inserção de novos pontos intermediários, sem precisar redefinir todo o resto.
- . **DEL PTS** : elimina um ponto de entrada específico ou todos os pontos do desenho.
- . **DEL CN** : elimina o desenho da peça compensada permitindo a execução de um novo processamento.
- . **DEL ENT** : elimina todas as entidades do desenho, permitindo repetir o processo para uma nova peça.

## 6.4 - ENCAIXE DE PEÇAS E PROCESSAMENTO DA CHAPA

### - DEFINIÇÃO DOS DADOS DA CHAPA

Ativando-se a opção "Inf.Chapa" (sub-menu Nesting) surgirá o "dialogue box" abaixo, que deve ser preenchido com os dados do "Nesting" a ser montado (figura 6.13).

Layer 0 8769.2308, 8565.1415

AutoCAD  
DIM:  
CHPROP  
INSERT  
ZOOM D  
ZOOM W  
ZOOM P  
ZOOM E  
ZOOM A  
PAN  
MOVE  
DTEXT  
DIST  
LIST  
OFFSET  
COPY  
TRIM  
EXTEND  
FILLET  
CHAMFR  
ROTATE  
MIRROR  
SAVE:  
REDRAW

**Edit Attributes**

Codigo Chapa :..... XP52100  
Espessura Chapa (mm) :... 25.4

OK Cancel

C:INFCHAPA  
Command: infchapa

Fig. 6.13 - Tela dos Dados da Chapa

## - DESENHO DA CHAPA

Ativando-se a opção "**Des.Chap**" (sub-menu Nesting), a rotina solicitará:

### . Chapa oriunda de retalho (S/N) :

Se a resposta for "S", será solicitado o nome do arquivo de coordenadas do retalho (\*.RET).

### . Nome do arquivo de retalho :

Se for "N", a rotina solicitará:

. Comprimento : 12000

. Largura : 2440

Surgirá no vídeo, o contorno da chapa que define a área disponível para o "layout" de peças.

## - INSERÇÕES DAS PEÇAS

Através dos comandos usuais do CAD, deve-se inserir e posicionar as peças no interior da área definida pela chapa (figura 6.14). Rotinas extras foram desenvolvidas para auxiliar o processo interativo de encaixe:

. **MOVEPECA** : translada peças, deixando as arestas de peças adjacentes nas distâncias finais desejadas.

. **TROTPECA** : translada e rotaciona peças, permitindo o alinhamento de peças.

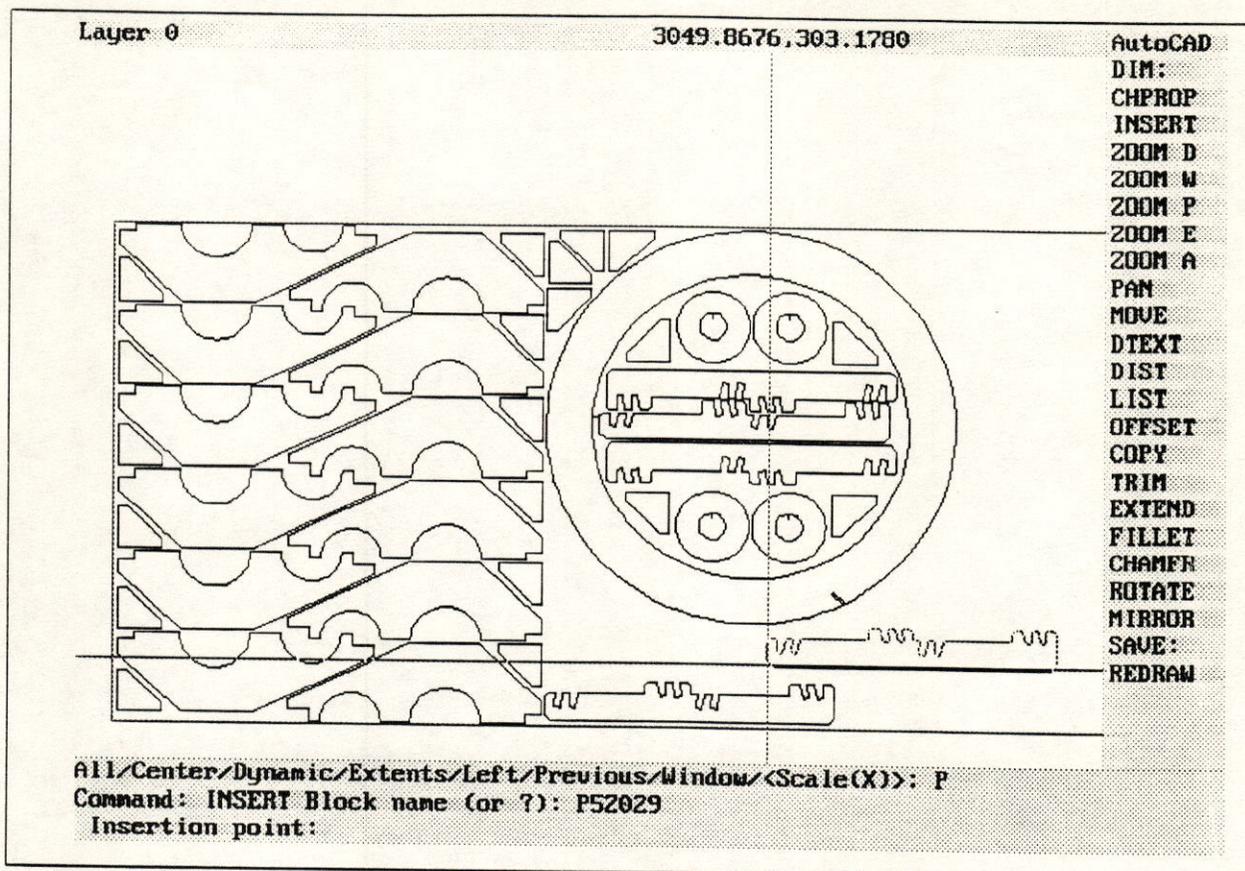


Fig. 6.14 - Operação de Encaixe de Peças

#### - CORTES COM VÁRIOS BICOS E ENCADEAMENTO DE PEÇAS

Na operação de inserção levar em conta sempre estes dois fatores que afetam sobremaneira a produtividade (figura 6.15).

Para a geração do encadeamento deve-se desenhar linhas conectando as diversas peças entre si. A rotina "Des.Entr" (submenu Nesting) auxilia na geração da entrada do início do encadeamento, solicitando:

- . **Distancia de entrada <25>** : (aceitar valor sugerido ou fornecer novo valor)
- . **Selecione o ponto de entrada** : (selecionar com o "mouse" o vértice que dará início ao encadeamento)

- . Digite o angulo ou Indique a direcao : (digitar o valor do ângulo do vetor de entrada ou indicar com o "mouse" a orientação da entrada no início do encadeamento)

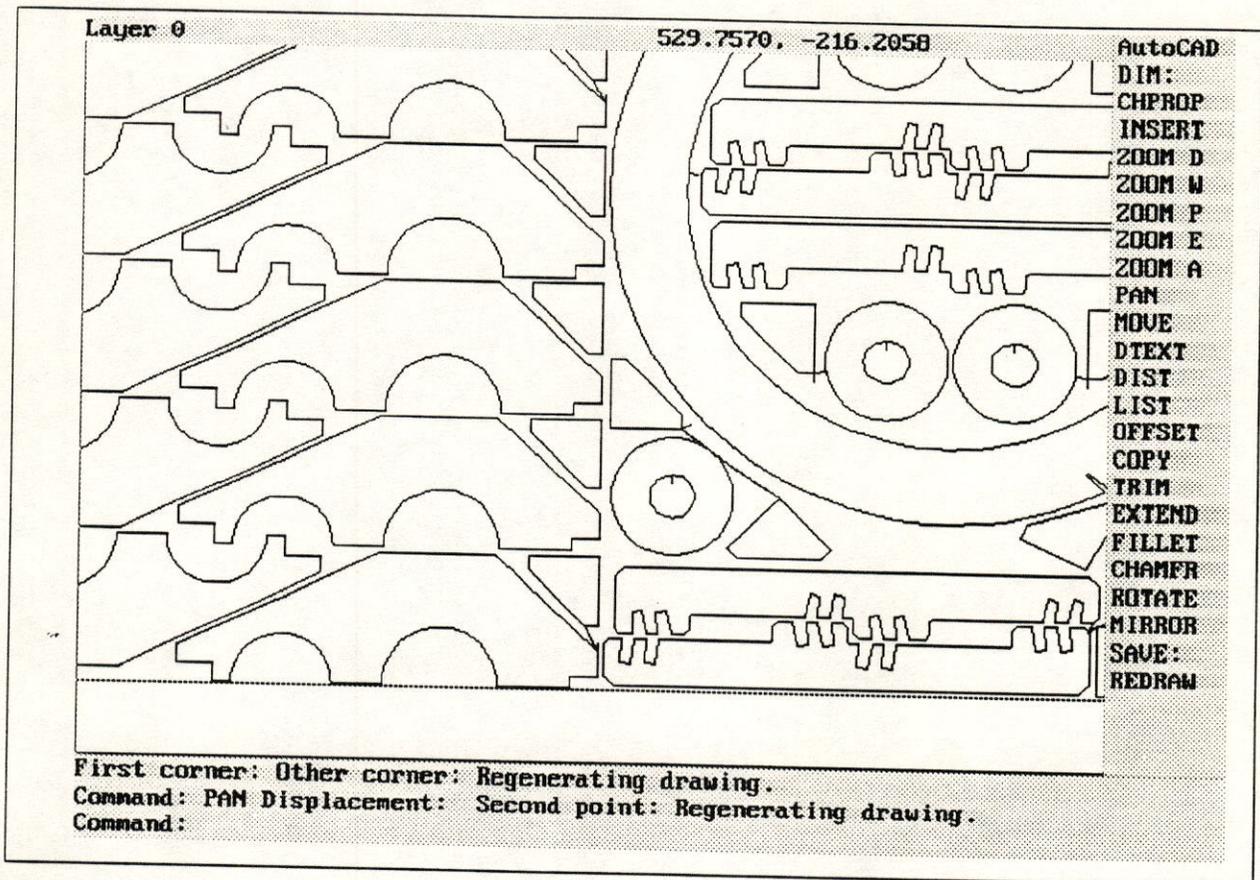


Fig. 6.15 - Corte Com Vários Bicos e Encadeamento de Peças

### - SEQUÊNCIA DE CORTE

Ativar a opção "**Sequenc**" (sub-menu Nesting), onde será solicitado:

- . Numero do recorte <nil> : 1
- . Corte com mais de 1 Bico (S/N) <N> : S

Se a resposta for "S", será solicitado:

- . Numero de bicos : 4
- . Distancia entre bicos : 500

A seguir surgirá a mensagem:

- . **Selecione o recorte** : (indicar com o "mouse" uma peça individual ou qualquer linha do encadeamento)

Sendo selecionada uma peça individual, a rotina a tratará como peça isolada, não conectada a nenhum encadeamento, sendo então solicitado:

- . **Forneça o sentido de corte (CW/CCW) <CW>** :

Sendo selecionada uma linha de encadeamento, a rotina a transformará numa "polyline" e caminhará sequencialmente ao longo desta. Para cada peça encontrada, a rotina ressaltará o seu contorno no vídeo (para permitir sua identificação) e solicitará o sentido de corte do contorno externo, semelhante ao caso descrito anteriormente. O processo se repetirá até o término das peças do encadeamento (figura 6.16).

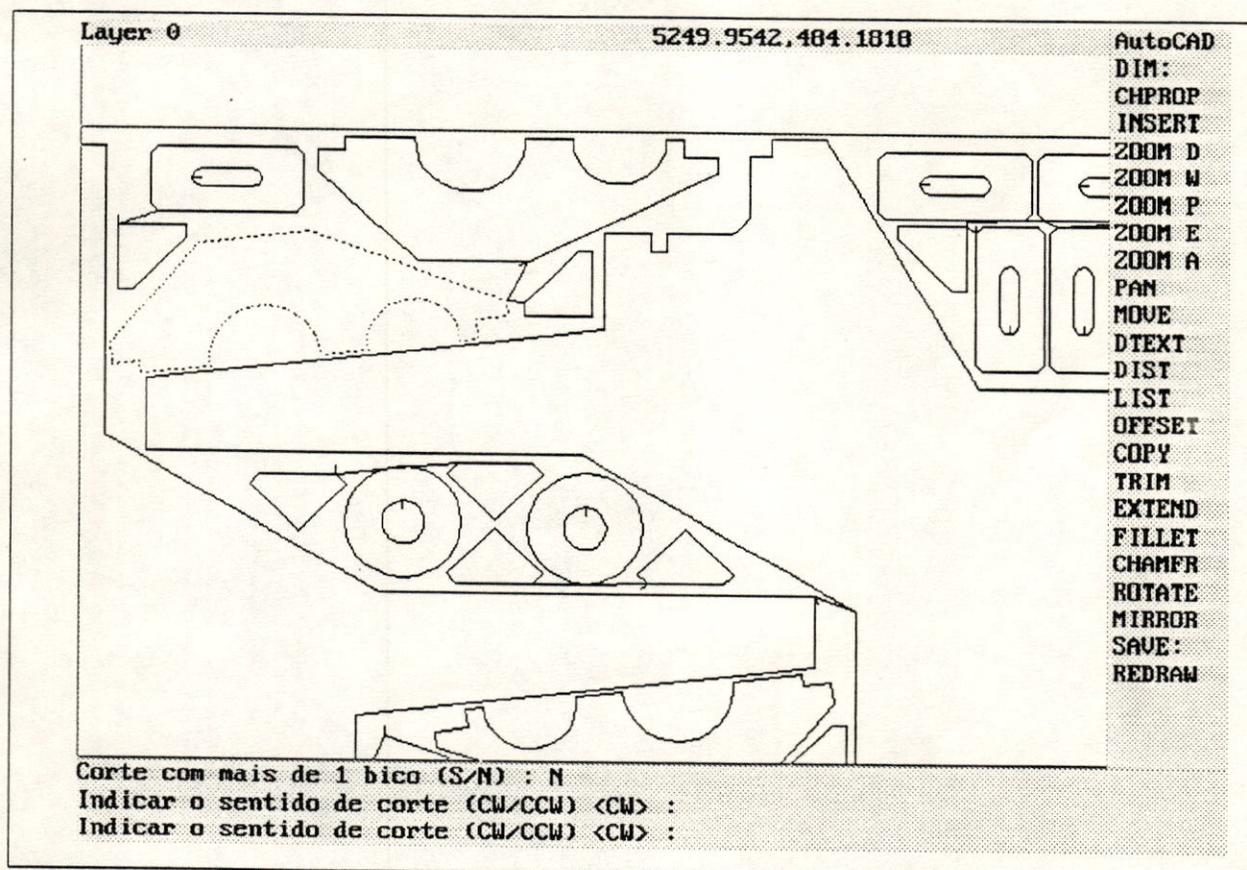


Fig. 6.16 - Sequenciamento do Corte

## - GERAÇÃO DA LINHA DO RETALHO

Se a chapa não puder ser totalmente preenchida, pode-se desenhar linhas delimitando a área utilizada. Ativando a opção "**Retalho**" (sub-menu Nesting), ter-se á:

- . **Selecione a linha do recorte** : (indicar com o "mouse" qualquer ponto na linha do recorte)
- . **Escolha o ponto de entrada** : (indicar com o "mouse" o ponto de início do corte)

As linhas do recorte são convertidas em "polyline" que delimitarão a área útil da chapa.

## - PRÉ-PROCESSAMENTO DO ENCAIXE

Ativando-se a opção "**Gera MTX**" (sub-menu Nesting) será solicitado:

- . **Gerar Arquivo MTX <P52100>** : (confirmar ou fornecer novo nome)
- . **Layers a serem ignorados** : (digitar os "layers", separados por vírgula, que não devem ser considerados)

O pré-processamento terá início, com a tela de acompanhamento ilustrada na figura 6.17, onde serão gerados os arquivos das matrizes de transformação (\*.MTX - Anexo E), coordenadas dos vértices do retalho (\*.RET - Anexo F) e relatório com dados estatísticos do "Nesting" montado (\*.DAT - Anexo G).

```
Memoria Inicial : 364688 bytes disponiveis  
Saida (<V>ideo / <I>npressora) :
```

```
processando ...3432
```

```
Lendo Entidades .73 >> nome = P52057
```

```
Area da Chapa (m2) = 20.7304
```

```
Area das Pecas (m2) = 15.2752
```

```
Aproveitamento (%) = 73.68
```

```
Percurso (m) = 148.4
```

```
Memoria Pre-Processamento : 350535 bytes disponiveis  
Memoria Final : 364688 bytes disponiveis
```

```
Operacao Efetuada com Sucesso! Tecla [ENTER]
```

Fig. 6.17 - Tela do Pré-Processamento do Encaixe

## - PROCESSAMENTO DO ENCAIXE

Ativando a opção "Gera CLD" (sub-menu Nesting) será solicitado:

- . Gerar Arquivo CLD <P52100> : (confirmar ou fornecer novo nome)

O processamento terá início, gerando os arquivos CLD e DXF do "Nesting" montado. A tela de acompanhamento (figura 6.18) informará as operações realizadas e o status final.

```
Memoria Inicio : 370224 bytes disponiveis
processando ...2
Lendo Entidades .98 >> nome = P51634 : EXTERNO
Limites : inf.= 20.00, 0.00 | sup.= 8630.00, 2440.00

Memoria Processamento : 369847 bytes disponiveis
Memoria Final : 370224 bytes disponiveis
```

Operacao Efetuada com Sucesso! Tecle [ENTER]

Fig. 6.18 - Tela do Processamento do Encaixe

#### - SIMULAÇÃO DO CORTE

Ativando-se a opção "**Simula**" (sub-menu Nesting), poder-se-á simular dinamicamente o processo de corte da chapa. Poderão ser visualizados os avanços rápido e de corte, os pontos de entrada e o corte com vários bicos simultâneos (figura 6.19).

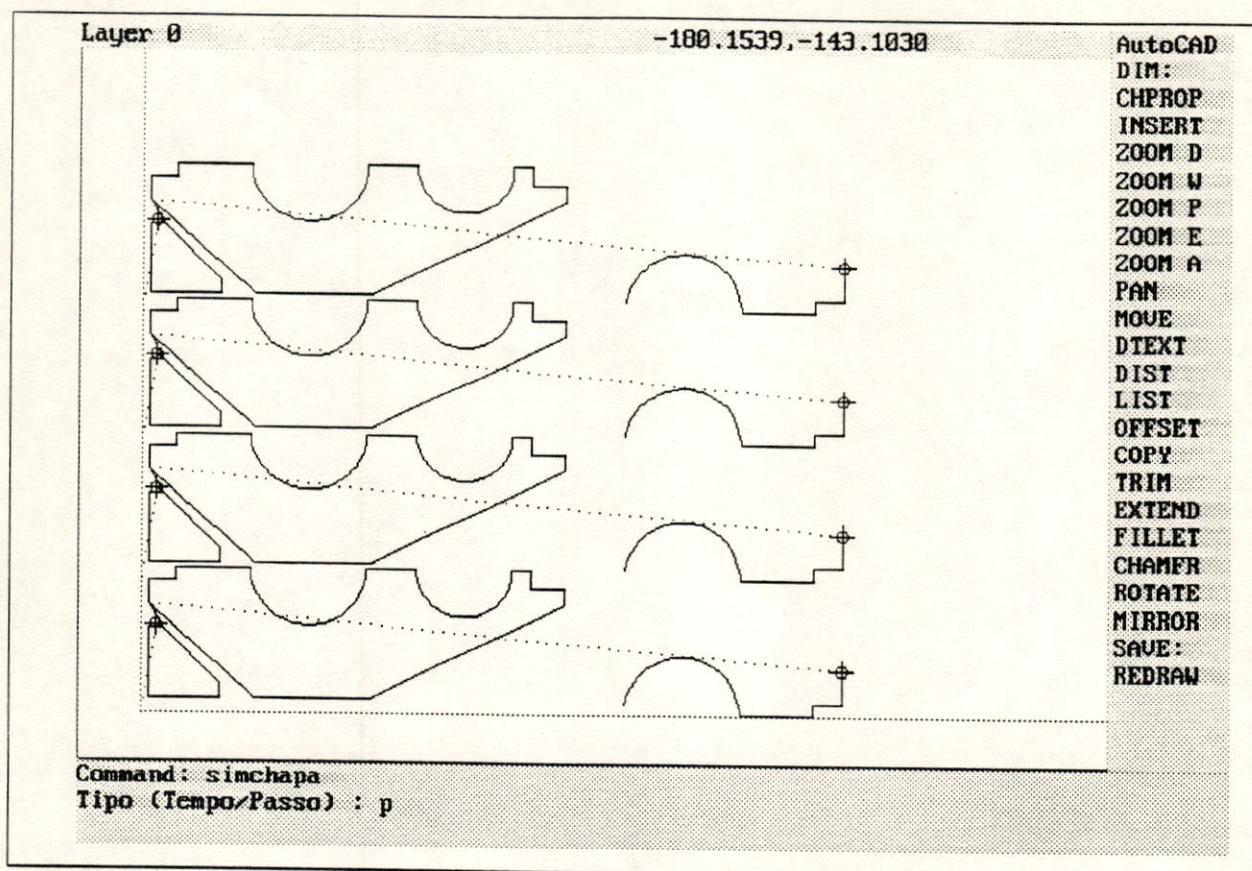


Fig. 6.19 - Simulação Dinâmica do Corte do "Nesting"

## - CORREÇÕES

Sendo necessárias algumas correções e ajustes, rotinas dedicadas simplificam o processo:

- . **RENUMERA** : renumera a identificação dos recortes (multiplica o valor por 10), permitindo a inclusão de recortes intermediários.
- . **DEL CN** : elimina o desenho da simulação do programa CN.
- . **DEL CHAP** : elimina todas as entidades da tela (peças e chapa).
- . **DEL INS** : elimina peças inseridas (todas ou selecionadas pelos nomes, separados por vírgula)

## - STATUS DA CHAPA

A qualquer instante é possível a obtenção do "status" do "layout" sendo montado.

- . **CHKPECA** : fornece a situação de um tipo de peça, selecionado pelo "mouse" ou pelo nome. As informações supridas são:
  - . nome da peça selecionada
  - . área
  - . perímetro
  - . quantidade total deste tipo de peça na chapa
  - . "layer" da peça selecionada
  - . todos os "layers" associados a este tipo de peça
  
- . **ST.PECAS** : Fornece a situação (vídeo ou impressora) de todas as peças da chapa, listando para cada tipo de peça:
  - . nome
  - . área
  - . quantidade total na chapa
  - . "layers" associados
  - . resumo geral com área total ocupada pelas peças e quantidade total de peças alocadas na chapa
  
- . **ST.CHAPA** : fornece a situação (vídeo ou impressora) da chapa, informando:
  - . área da chapa
  - . área útil
  - . área do retalho
  
- . **ST.GERAL** : fornece o resumo do "Nesting":
  - . quantidade total de peças
  - . área total ocupada pelas peças
  - . área total da chapa
  - . área útil da chapa
  - . área do retalho
  - . aproveitamento final obtido (%)

**Obs:** . a quantidade parcial e total de peças pode não ser a real visualizada no "layout". O sistema considera o número de bicos simultâneos no cálculo das quantidades. Portanto, não se deve esquecer de alocar as peças inativas no "layer" "NULL". A opção "Visu.Inat" (sub-menu Nesting) ativa no vídeo somente as peças com "layer" "0" ou "NULL", auxiliando o usuário na identificação.

## 6.5 - PÓS-PROCESSAMENTO

### - DEFINIÇÃO DOS PARÂMETROS DO PÓS-PROCESSAMENTO

Ativar a opção "Inf.Posp" (sub-menu Geral) e preencher os campos do "dialogue box", ilustrado na figura 6.20.

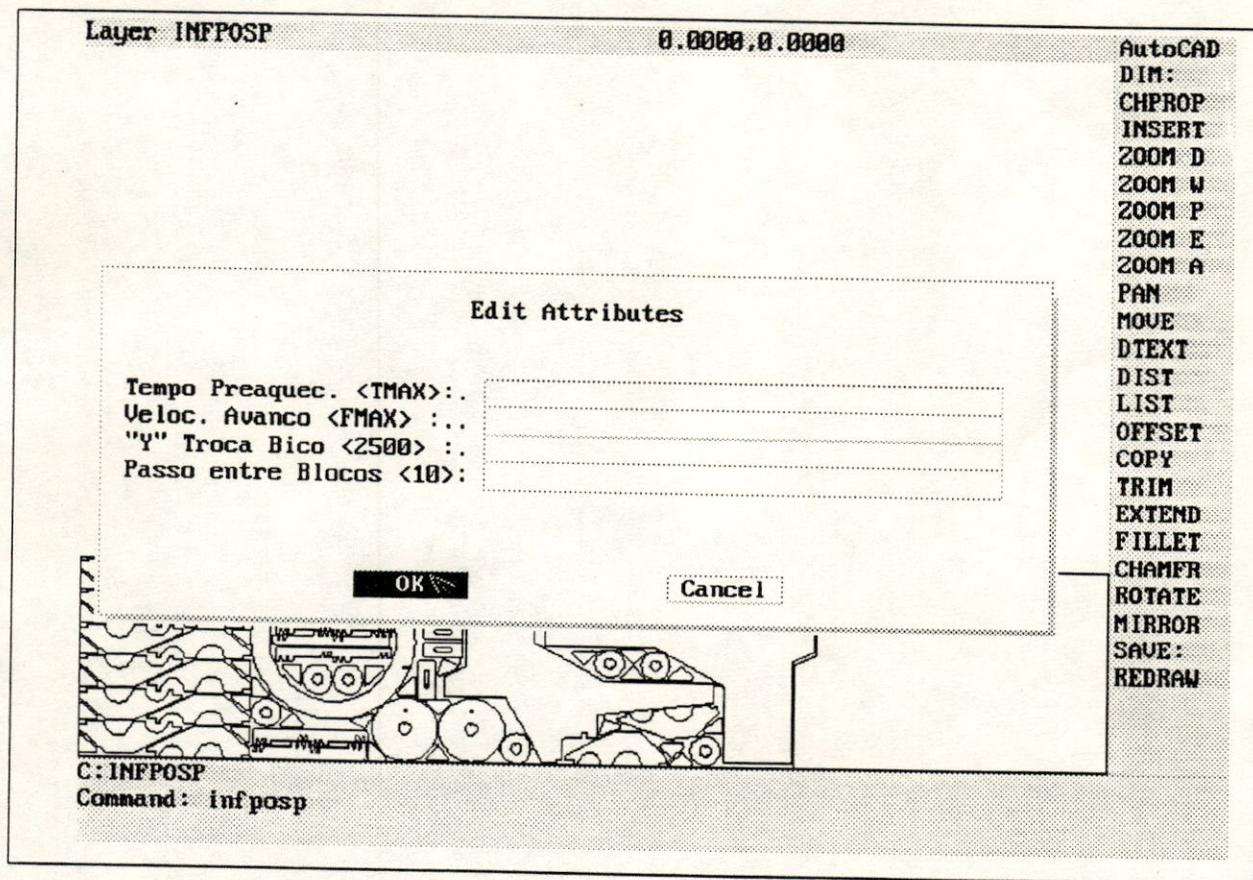


Fig. 6.20 - Tela dos Parâmetros do Pós-Processamento

## - PÓS-PROCESSAMENTO

Ativando a opção "Pos-Proc." (sub-menu Geral) ter-se á:

- . Peca Individual ou Nesting (I/N) : N
- . Pos-processar Arquivo CLD <P52100> : (confirmar ou fornecer novo nome)
- . Tempo Pré-Aquecimento <TMAX> : (confirmar valor cadastrado em "Inf.Posp" ou fornecer novo valor. Ex: 500)
- . Velocidade Avanco <FMAX> : (confirmar ou fornecer novo valor. Ex: F200)
- . Coordenada "Y" Troca Bico <2500> : (confirmar ou fornecer novo valor)
- . Passo entre Blocos <10> : (confirmar ou fornecer novo valor)
- . Pantógrafo (1.C91/2.C92/3.C93) : 2

A operação tem início, com a tela de acompanhamento ilustrada na figura 6.21.

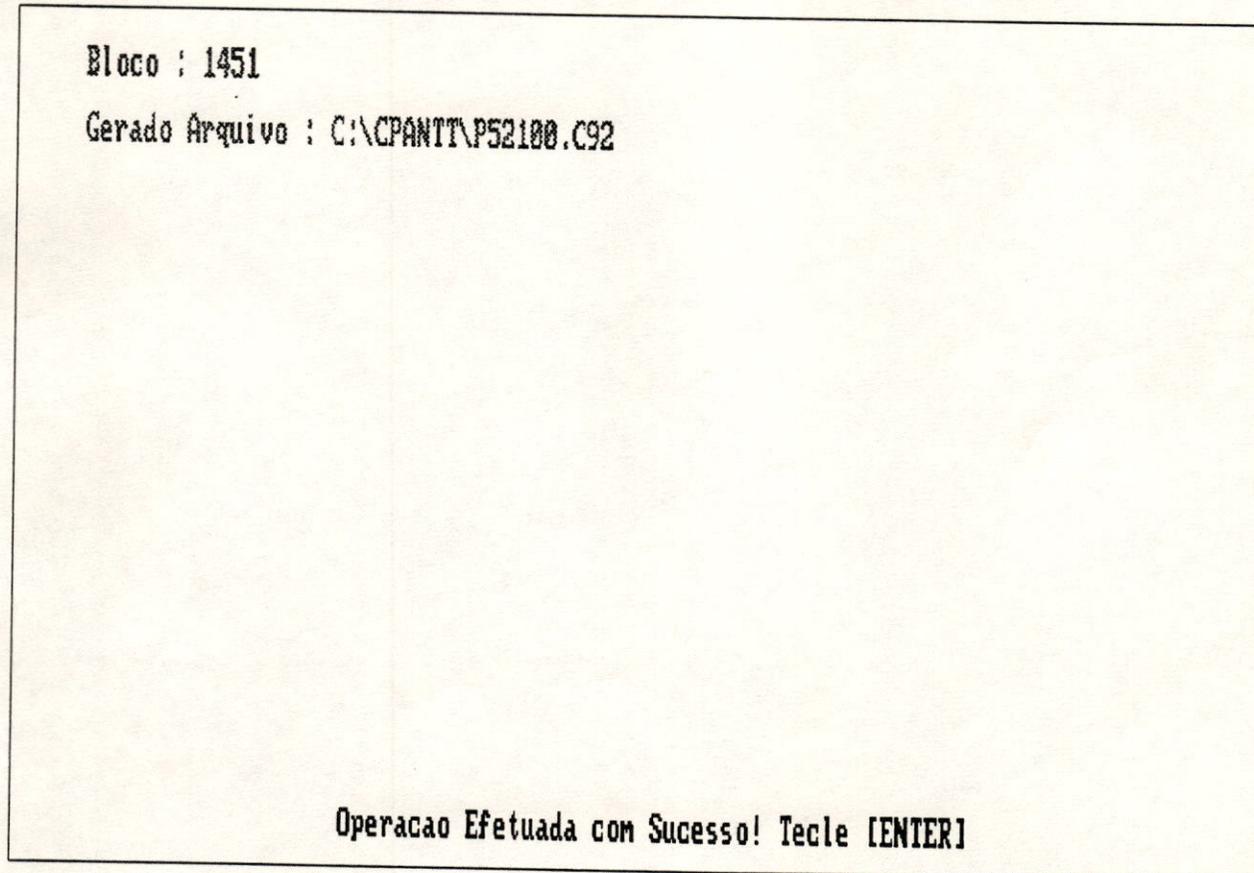


Fig. 6.21 - Tela do Pós-Processamento

O procedimento para pós-processamento de peças individuais é semelhante ao de "Nesting", onde o nome do arquivo CLD a ser suprido será de uma peça individual (estando o nome "padrão" cadastrado em "Inf.Peca"). Um exemplo do programa CN gerado pode ser visto no Anexo H.

## 7 - CONCLUSÃO

O trabalho propõe um método de programação CN orientado para corte térmico de chapas. Baseado neste método, é desenvolvido e implementado um sistema computacional.

A grande vantagem do sistema proposto é a preocupação em atender satisfatoriamente os fatores de rentabilidade e produtividade (aproveitamento de chapa, corte com vários bicos, encadeamento de peças), que afetam os custos do corte e os fatores técnicos (ponto e distância de entrada, sentido de corte, sequenciamento dos recortes, compensação da "sangria"), que afetam a qualidade final da peça cortada. Tais características estão presentes somente em alguns sistemas de grande porte.

O trabalho, implantado em sua primeira versão em meados de 1988, tem sofrido contínuas adaptações conforme as necessidades das áreas envolvidas (processos e fabricação). A característica modular do sistema permite estas adequações sem grandes complicações.

O desenvolvimento do sistema consumiu aproximadamente 1800 homens x hora (1 engenheiro durante 10 meses). Para implantação do sistema na Área de Corte, não houve aumento de efetivo, sendo feita uma realocação de funções a um baixo custo de treinamento. A programação CN passou a ser realizada por um técnico "trainee" e um estagiário técnico.

Os ganhos obtidos com a implantação do trabalho foram bastante significativos, tanto a nível de produtividade, economia de matéria-prima e qualidade do resultado final. A geração do programa CN passou a ser realizada de forma fácil, rápida (através dos recursos da computação gráfica interativa) e altamente confiável. Os resultados de melhoria da produtividade na programação CN estão ilustrados na figura 7.1.

	MANUAL	APT	SISTEMA PROG.CN.
Período de vigência	07/85-02/87	05/86-06/89	07/88-hoje
Atividades programação CN	. cálculos . digitação do programa CN	. elaboração do progr. APT . digitação . process. APT . transferência IBM->Micro	. geração do croqui no CAD . processamento
Progr.CN tempo gasto (hrs/programa) <sub>1</sub>	3	1,5	0,17 (10 min.)
"Nesting" tempo gasto (hrs/nesting) <sub>1</sub>	---	5	2,5
Período de utilização plena <sub>2</sub>	07/85-07/86	01/87-12/87	01/90-12/90
Quantidade de programadores <sub>2</sub>	1	1,5 <sub>3</sub>	2 <sub>4</sub>
Quantidade de progr. gerados <sub>2</sub>	150	1003	4379
Média/programador (progr./dia) <sub>2</sub>	1,65	6,62	21,17
Máximo/programador (progr./dia) <sub>2</sub>	6	19	55
Quantidade de "Nestings" gerados <sub>2</sub>	---	41	512

- 1 - Dados apurados junto à equipe de programação CN  
2 - Registros relativo ao período de utilização plena  
3 - Dois usuários (1 programador tempo integral/ 1 programador meio período)  
4 - Dois usuários tempo integral (1 técnico trainee/ 1 estagiário)

**Fig. 7.1 - Melhoria da Produtividade na Programação CN**

Na elaboração da tabela da figura 7.1 foram feitas as seguintes considerações:

- O período de utilização plena corresponde àquele onde somente o método correspondente foi empregado na geração de programas CN;
- Admitiu-se uma eficiência de 70% na área de programação CN. Isto é, das 9 horas diárias trabalhadas, têm-se 6,3 horas produtivas. Tais dados foram obtidos de amostragens em diversas áreas da fábrica.
- No cálculo da média/programador (programas/dia) considerou-se que somente os dias registrados foram utilizados na atividade de programação CN. Tenta-se desta forma compensar a diferença de carga nos três períodos considerados e possibilitar uma comparação mais realista.
- Os programas CN dos "Nestings" não foram considerados nas médias. Somente os programas de peças individuais ou peças que fizeram parte de um "Nesting".
- Os "Nestings" da época do APT não foram elaborados pelos programadores, mas pela Área de Desenvolvimento Industrial, por se tratar de fase de testes de um sistema protótipo. Portanto, os programadores não tiveram seu desempenho afetado pelos "Nestings" gerados.
- Os "Nestings" do período do Sistema de Programação CN foram totalmente elaborados pelos dois programadores da área, paralelamente às atividades de programação CN. Deste modo, o tempo dispendido na confecção dos "layouts" das chapas deve ser desconsiderado dos dias registrados. Para os cálculos da correção, admitiu-se um tempo médio de 2,5 horas para a montagem de cada "Nesting".

Analisando-se os resultados da tabela, é possível verificar o grande aumento de desempenho obtido. A programação manual de uma peça consumia em média 3 horas (entre cálculos e

digitação), necessitava um profissional com bons conhecimentos de geometria, trigonometria e programação CN, e era bastante susceptível a erros. A implantação do APT automatizou o processo dos cálculos da movimentação da ferramenta. Entretanto, era necessário um programador CN com conhecimentos na linguagem APT (de difícil aprendizado), persistia a etapa de digitação (programa APT), e o tempo total consumido na elaboração e digitação do programa APT, processamento no "mainframe" e transferência do arquivo CN para o microcomputador se situava em torno de 1,5 horas. Em ambos os métodos, não existiam recursos para visualização prévia do percurso do bico de corte. Com a implantação plena do sistema proposto, o trabalho se resumiu na geração do "croqui de delineamento" em formato eletrônico (desenho CAD), atribuição dos parâmetros do corte térmico e processamento da peça. O tempo médio dispendido em tais tarefas é da ordem de 10 minutos. Com a evolução dos microcomputadores, elevando sensivelmente a velocidade de processamento dos sistemas gráficos, este tempo tende a se reduzir ainda mais. Através da simulação gráfica dinâmica, tornou-se possível uma verificação prévia do percurso gerado. A interface gráfica "amigável" e a inexistência de cálculos manuais ou de linguagens complexas eliminaram a necessidade de programadores experientes para a função.

Os ganhos na economia de matéria-prima podem ser comprovados pela diminuição sensível no volume de sucata. Amostragens na Área de Corte constataram um economia média anual de 700 toneladas (aproximadamente 10% do volume cortado). Estes dados foram uma consequência imediata do melhor aproveitamento das chapas, através do encaixe de peças mais otimizado ("Nesting"). A operação de encaixe é inviável sem o uso de um sistema gráfico interativo. No desenvolvimento do protótipo tentou-se integrar o "Nesting" (realizado no AUTOCAD) com o sistema APT ("mainframe"). Tal solução mostrou-se inviável devido:

- impossibilidade de alteração dos pontos de entrada ou sentido dos recortes após montagem do "layout";

- não permitia o encadeamento de peças;
- problemas constantes na transferência dos arquivos CN ("mainframe" -> microcomputador), em razão do elevado número de blocos destes;
- lentidão ou interrupção das linhas de comunicação com o "mainframe" gerando quebras do ritmo de trabalho, atrasos na fabricação e desmotivação do usuário.

Com o sistema de programação CN totalmente implementado no microcomputador, o tempo para se obter o programa CN de um "Nesting", passou a ser apenas o tempo dispendido no encaixe (média de 2,5 horas/chapa).

A implantação do software fez parte de um plano global de modernização da Área de Corte, incluindo mudanças no layout, adoção de novas técnicas de gerenciamento da área e modernização de equipamentos. Este conjunto de alterações promoveu uma melhoria efetiva no desempenho, expressa nas amostragens realizadas:

- redução do inventário em processo da Área de Corte em 73%;
- aumento do volume médio cortado em 47%, com a manutenção do nível de mão-de-obra e redução do número de ativos empregados na produção.

Algumas sugestões para desenvolvimentos futuros são apresentadas visando ampliar os recursos do sistema:

#### **- AJUSTE DE PERFIS**

Alguns perfis são ajustados por uma "curva suave" passando por pontos fornecidos. Estas "splines", como são chamadas, são curvas polinomiais (cúbicas), devendo ser convertidas em vários segmentos de reta, para poderem ser processadas pelos CN's. Deve-se implementar rotinas de "spline" análogas as do APT, onde além dos pontos, vetores auxiliares (tangentes, normais) podem ser utilizados na definição da curva. Um protótipo já se encontra em desenvolvimento.

## **- FRONTEIRAS PARA ENCAIXE DE PEÇAS**

A operação de encaixe pode ser facilitada gerando-se para cada recorte um outro contorno compensado da metade da distância desejada entre as peças. Deste modo, o encaixe se resumiria num trabalho de justaposição de blocos, garantindo a integridade dos recortes sem a necessidade de constantes checagens. Estes novos perfis compensados estariam num "layer" especial, podendo ser ativados ou inibidos, conforme o desejo do usuário.

## **- PÓS-PROCESSADORES PARAMETRIZADOS**

Implementar um pós-processador único, onde as características de cada CN estariam armazenadas em tabelas, preenchidas pelo usuário na configuração inicial do sistema. A inclusão de um novo CN seria obtida facilmente, necessitando-se simplesmente completar a tabela com os novos parâmetros.

## **- SISTEMA DE CONTROLE E IDENTIFICAÇÃO DE CHAPAS NO ESTOQUE**

Implementar um banco de dados gráfico para consulta rápida dos retalhos existentes no almoxarifado. O perfil pode ser obtido dos arquivos com as coordenadas dos vértices (\*.RET) gerados na etapa de pré-processamento da chapa. O gerenciador deve estar associado a um método eficiente de codificação e localização física destes retalhos no estoque.

## **- IMPLEMENTAÇÃO DE UM PROTÓTIPO DE NESTING AUTOMÁTICO**

Implementação do algoritmo proposto por QU & SANDERS (1987) visando agilizar o processo de encaixe. A proposta englobaria o desenvolvimento de um protótipo, que forneceria, de forma automática, uma solução inicial. Ajustes e otimizações posteriores seriam efetuadas interativamente.

## **- "TRAVAS" PARA REDUÇÃO DAS DEFORMAÇÕES TÉRMICAS**

As peças extremamente delgadas estão sujeitas às deformações térmicas, prejudicando a precisão dimensional (item 2.2.2). Além da ducha d'água e escolha correta do sentido de corte, é recomendado nestes casos, o uso de "pegas" ou "travas". Isto é, deixa-se alguns trechos (10 a 12 mm de comprimento) sem cortar nas arestas longitudinais (HIRSCHBERG & BALDEAU, 1986). Deve-se criar meios que permitam a inclusão destas "travas" de forma rápida e fácil (indicando com o "mouse", por exemplo).

## **- EXPANSÃO DA BIBLIOTECA DE MACROS**

Levantar junto à Área de Corte, mais formas parametrizáveis, uma vez que o ganho na produtividade é bastante significativo.

## ANEXO A : ESTRUTURAS DE ARMAZENAGEM DE PONTOS E ENTIDADES

### - PONTO :

#### Identificador :

função : número sequencial do recorte

tipo : valor inteiro

valores : 1..N

#### Compensação :

função : tipo de compensação a ser processada

tipo : valor inteiro

valores : -1 (INT), 0 (COFF), 1 (EXT)

#### Tipo Entrada :

função : vetor de entrada ou sentido de corte (círculos)

tipo : string

valores : TV, BV, PV (polígonos)

CW, CCW (círculos)

#### NOENT :

função : indicador da existência ou não de entrada  
desenhada no contorno externo

tipo : lógico

valores : true, false

#### Distância Entrada :

função : valor de distância não padronizada

tipo : real

valores : (valor da distância desejada)

#### ARRAY :

função : indicador de conjunto de recortes iguais (malha)

tipo : lógico

valores : true, false

#### X,Y :

função : coordenada X,Y do ponto de entrada

tipo : real

valores : (valor das coordenadas X,Y)

## - ENTIDADES

### Tipo Entidade :

função : identificador do tipo de entidade  
tipo : inteiro  
valores : 1 (reta), 2 (arco CW), 3 (arco (CCW)  
4 (circulo)

### Modificador Compensação :

função : indicador do lado de compensação da entidade  
tipo : string  
valores : . XS (XSMALL: reta paralela com X menor que o original)  
. XL (XLARGE: reta paralela com X maior que o original)  
. YS (YSMALL: reta paralela com Y menor que o original)  
. YL (YLARGE: reta paralela com Y maior que o original)  
. IN (raio menor que o original)  
. OUT (raio maior que o original)

### A,B,C :

função : parâmetros da equação matemática da entidade  
tipo : real  
valores : . reta ->  $AX + BY + C = 0$   
. arco/círculo -> A : coordenada X do centro  
B : coordenada Y do centro  
C : raio do arco/círculo

### $X_i, Y_i, X_f, Y_f$ :

função : coordenadas da entidade  
tipo : real  
valores : . reta ->  $X_i, Y_i$  = coordenadas do ponto inicial  
 $X_f, Y_f$  = coordenadas do ponto final  
. arco ->  $X_i, Y_i$  = ângulo inicial e final  
 $X_f, Y_f$  = coordenadas do ponto final  
. círculo ->  $X_i, Y_i$  = não utilizado  
 $X_f, Y_f$  = coordenadas do ponto final  
(= ponto inicial)

## ANEXO B : ESTRUTURA DO CLDATA PROPOSTO

O arquivo CLDATA possuirá uma estrutura de registros de tamanho fixo em formato binário, consistindo de 4 campos:

### - Identificador

função : informar o tipo de registro (dados informativos ou dados de movimentação)

tipo : valor inteiro

valores :

- 0 - ponto de entrada (movim. linear em avanço rápido)
- 1 - movimento linear em avanço programado
- 2 - interpolação circular sentido horário (CW)
- 3 - interpolação circular sentido anti-horário (CCW)
- 1000 - coordenadas limites do desenho
- 1001 - informações gerais do recorte
- 1002 - informações do último recorte (CLDATA de peças individuais)
- 1003 - informações de cada peça inserida na chapa (CLDATA de NESTING)

### - Valores (X1,Y1,X2,Y2)

função : dados informativos ou coordenadas de movimentação relativos ao identificador do registro

tipo : valores reais

valores :

.identificador = 0

X1 = coordenada "X" do início do recorte

Y1 = coordenada "Y" do início do recorte

X2 = número de bicos ativos no recorte (CLDATA NESTING)

Y2 = distância entre bicos (CLDATA NESTING)

.identificador = 1

X1 = coordenada "X" do ponto final da linha

Y1 = coordenada "Y" do ponto final da linha

X2 = não utilizado

Y2 = não utilizado

.identificador = 2 ou 3

X1 = coordenada "X" do ponto final do arco

Y1 = coordenada "Y" do ponto final do arco

X2 = coordenada "X" do centro do arco

Y2 = coordenada "Y" do centro do arco

.identificador = 1000

X1 = coordenada "X" mínima do desenho

Y1 = coordenada "Y" mínima do desenho

X2 = coordenada "X" máxima do desenho

Y2 = coordenada "Y" máxima do desenho

.identificador = 1001

X1 = área útil total

Y1 = perímetro total

X2 = diâmetro de sangria

Y2 = espessura da chapa

.identificador = 1002

X1 = coord. "X" do ponto de entrada do recorte externo

Y1 = coord. "Y" do ponto de entrada do recorte externo

X2 = sentido do último recorte: 1 (CW), -1 (CCW)

Y2 = número total de recortes na peça

.identificador = 1003

X1 = número do programa inserido (código peça)

Y1 = tipo de processamento (recortes) a ser realizado:

-1 (INTERNO), 0 (TOTAL), 1 (EXTERNO)

X2 = número de bicos ativos no recorte

Y2 = distância entre bicos

## ANEXO C : ESTRUTURA DO ARQUIVO DAS MATRIZES DE TRANSFORMAÇÃO

As palavras chaves e operações efetuadas no processamento do arquivo das matrizes de transformação serão:

### - POLYLINE

Indica início de encadeamento de peças ou recorte final do retalho. A próxima linha lida será o "layer" da "polyline", que informará se os dados são de encadeamento (n\$Nx\$Dyyy) ou retalho (RETALHO).

Se são dados de encadeamento, com a leitura da próxima linha, armazena-se o número de bicos ativos e a distância entre eles.

### - ENDPOLY

Indica final da polyline (final de encadeamento) e reinicializa as variáveis do número de bicos ativos.

### - VERTEX

Indica que a próxima linha lida conterá um par de coordenadas (x,y) da "polyline" do recorte de encadeamento ou do retalho.

A leitura das coordenadas de um VERTEX gerará no CLDATA, a inclusão de:

- . um ponto de entrada (identificador=0) se for o primeiro VERTEX da polyline, passando o recorte para o status de "ativo".
- . uma movimentação linear (identificador=1) se o recorte já estiver "ativo".

### - INSERT

Indica que as próximas 6 linhas do arquivo conterão dados de uma peça inserida. Os dados virão na seguinte ordem:

- . nome : nome da peça compensada. (ex: P51000)
- . tipo de processamento :

INTERNO - processamento dos recortes internos de uma peça num encadeamento

EXTERNO - processamento do recorte externo de uma peça num encadeamento

TOTAL - processamento completo de uma peça individual

- . "layer" da peça : sequencial do recorte, sequencial da peça, número de bicos, distância entre bicos, sentido do recorte externo
- . X,Y : coordenadas de inserção
- . Xesp, Yesp : fatores de espelhamento em "X" e "Y" (1 ou -1)
- . alfa : ângulo de rotação no plano XY

Para cada INSERT encontrado, o procedimento efetuado pelo software será:

- . carga das entidades do CLDATA numa lista encadeada com ponteiros para o início do primeiro e último recorte e final da lista.
- . modificar todas as entidades da lista segundo as matrizes de transformação (rotação, translação e espelhamento).
- . proceder conforme o tipo de processamento indicado:
  - \* caso o processamento seja INTERNO, deve-se gravar a lista modificada até o ponteiro do início do último recorte (exclusive), ou seja, copiar somente os recortes internos.
  - \* caso o processamento seja EXTERNO, deve-se gravar somente o último recorte. Inicialmente, é necessário converter este recorte para uma lista circular; a seguir, é feita uma busca nos vértices estabelecendo então o novo ponto de entrada (definido pelo VERTEX da polyline ativa) e o atual sentido do recorte externo. Deve-se lembrar que alguns ajustes nas entidades devem ser feitos caso a lista tenha seu sentido invertido, como remanejamento de coordenadas e inversão de sentido dos arcos. Esta lista circular, corrigida automaticamente, será gravada no CLDATA da chapa sem o ponto de entrada (entidade com identificador=0), uma vez que o recorte faz parte de um encadeamento que já se encontra "ativo".

\* caso o processamento seja TOTAL, deve-se gravar a lista modificada completa no arquivo CLDATA da chapa, incluindo-se o ponto de entrada no recorte externo. Este último recorte manterá seu ponto de entrada, mas poderá ter seu sentido invertido, conforme a necessidade do usuário. Para tal, o mesmo procedimento do processamento EXTERNO (lista circular) será efetuado.

**- INFORM**

Indica que as próximas linhas conterão informações do Nesting (área das peças, percurso total do bico de corte e espessura da chapa).

**- EOF**

Indica fim do arquivo das matrizes de transformação. Encerrará o processamento do arquivo das matrizes de transformação e, conseqüentemente a geração do CLDATA e DXF da chapa completa.

ANEXO D : ARQUIVO PATHS.TXT

PATHDWG  
C:\CPANT\DWG\  
PATHDXF  
C:\CPANT\DXF\  
PATHCLD  
C:\CPANT\CLD\  
PATHMTX  
C:\CPANT\MTX\  
PATHCN  
C:\CPANT\CN\  
PATHDAT  
C:\CPANT\DAT\  
PATHRET  
C:\CPANT\RET\  
EOF

ANEXO E : EXEMPLO DE ARQUIVO MTX

INSERT  
P51703  
INTERNO  
0001\$001\$CCW\$N4\$D400  
221.500000 49.520853  
0.000000  
-1.000000 1.000000  
INSERT

..... (trecho eliminado propositalmente) .....

POLYLINE  
0001\$N4\$D400  
VERTEX  
41.642519 265.360264  
VERTEX  
62.121320 251.020853  
INSERT  
P51703  
EXTERNO  
0001\$001\$CCW\$N4\$D400  
221.500000 49.520853  
0.000000  
-1.000000 1.000000  
VERTEX  
20.000000 324.586014

..... (trecho eliminado propositalmente) .....

P51634  
EXTERNO  
0027\$002\$CW\$  
8611.283913 2394.829861  
180.000000  
1.000000 1.000000  
ENDPOLY

..... (trecho eliminado propositalmente) .....

POLYLINE  
RETALHO  
VERTEX  
8630.000000 2440.000000  
VERTEX  
8630.000000 1373.367746  
VERTEX  
8380.518173 1246.250406  
VERTEX  
8380.518173 0.000000  
ENDPOLY  
INFORM  
15.2752  
148.36  
25.400  
EOF

ANEXO F : EXEMPLO DE ARQUIVO RET

00	01
25.40	8.55
8630.00	2440.00
8630.00	1373.37
8380.52	1246.25
8380.52	0.00
12000.00	0.00
12000.00	2440.00
8630.00	2440.00



(continuação arquivo DAT)

---

\*\* DADOS DO ENCADEAMENTO \*\*

LAYER	X	Y	PECA?
0001\$N4\$D400	41.64	265.36	FALSE
0001\$N4\$D400	62.12		
0001\$N4\$D400	20.00	324.59	TRUE
0002\$N4\$D400	1995.67	140.43	FALSE
0002\$N4\$D400	1995.67	115.43	TRUE
0002\$N4\$D400	1953.55	189.00	TRUE

..... (trecho eliminado propositalmente) .....

0027\$	7450.19	991.98	FALSE
0027\$	7437.55	1013.54	TRUE
0027\$	7560.28	966.26	TRUE

ANEXO H : EXEMPLO DE ARQUIVO CN

#  
: %52100\$  
: N10G90\$  
: N20G40\$  
: N30M16\$  
: N40M17\$  
\$ ENCADEAMENTO : 1  
\$ QTDE BICOS = 4 : DIST.BICOS = 400  
: N42G1X41.64Y265.36F1000\$  
: N44M25\$  
: CYC10PRAQUECIMENTOTEMPO1000\$  
: N46M26\$  
: N48M3\$  
: CYC10PRAQUECIMENTOTEMPO1000\$  
: N50G1X62.12Y251.02\$  
\$ PECA : P51703 - RECORTE EXTERNO  
\$ QTDE BICOS = 4 : DIST.BICOS = 400  
: N52G1X20Y251.02\$  
: N54Y48.02\$  
: N56X223\$  
: N58Y90.14\$  
: N60X62.12Y251.02\$  
: N62X20Y324.59\$  
\$ PECA : P52057 - RECORTE EXTERNO  
\$ QTDE BICOS = 4 : DIST.BICOS = 400  
: N64G1X316.61Y48.02\$

..... (trecho eliminado propositalmente) .....

\$ \*\* PARADA PARA AJUSTES NOS MACARICOS \*\*  
: N292M0\$  
: N294M16\$  
: N296M17\$  
\$ PECA : P51730 - RECORTES INTERNOS  
\$ QTDE BICOS = 1  
: N298G1X2788.91Y1989.39\$  
: N300M25\$  
: CYC10PRAQUECIMENTOTEMPO1000\$  
: N302M26\$  
: N304M3\$

..... (trecho eliminado propositalmente) .....

: N2606X6141.82Y1013.54\$  
: N2608X7437.55\$  
: N2610X7560.28Y966.26\$  
\$ PECA : P51634 - RECORTE EXTERNO  
\$ QTDE BICOS = 1  
: N2612G1X6746.01Y1440.83\$  
: N2614X5450.28\$  
: N2616Y1662.71\$  
: N2618X6810.28Y1829.71\$  
: N2620Y2124.83\$

:N2622X6947.28\$  
 :N2624Y2064.83\$  
 :N2626X6995.28\$  
 :N2628Y2124.83\$  
 :N2630X7162.28\$  
 :N2632G3X7243.28Y2205.83I0J81\$  
 :N2634G1Y2372.83\$  
 :N2636X7303.28\$  
 :N2638Y2424.83\$  
 :N2640X7464.86\$  
 :N2642X7914.86Y1654.83\$  
 :N2644X8612.28\$  
 :N2646Y1413.2\$  
 :N2648X8362.28Y1293.2\$  
 :N2650Y66.83\$  
 :N2652X7560.28\$  
 :N2654Y966.26\$  
 :N2656M5\$  
 :N2658M1\$

\$ \*\* CORTE DO RETALHO \*\*

\$ QTDE BICOS = 1

:N2660G1X8630Y2440\$  
 :N2662M25\$  
 :CYC10PREAQUECIMENTOTEMPO1000\$  
 :N2664M26\$  
 :N2666M3\$  
 :CYC10PREAQUECIMENTOTEMPO1000\$  
 :N2668G1Y1373.37\$  
 :N2670X8380.52Y1246.25\$  
 :N2672Y0\$  
 :N2674M5\$  
 :N2676M1\$  
 :N2678M18\$  
 :N2680M2\$

:\$

#

\$

PROGRAMA = P52100	N.BLOCOS = 1444	\$
SANGRIA = 3.00	ESPESSURA = 25.40	\$
COORD: XMAX = 8630.24	YMAX = 2440.00	\$
XMIN = 20.00	YMIN = 0.00	\$

\$

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AGA. *Manual de Oxicorte à Máquina*. s.n.t. 31p.
- AGUIAR, M. W. C. Análise de viabilidade de implementação de DNC. *Máquinas e Metais*, abril 1989.
- ALBANO, A. & SAPUPPO, G. Optimal allocation of two-dimensional irregular shapes using heuristic search methods. *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*, **SMC-10**(5):242-8, may 1980.
- ALTING, L. & ZHANG, H. Computer Aided Process Planning: the state-of-the-art survey. *International Journal of Production Research*, **27**(4):553-85, 1989.
- ANACLETO, R. C. Aumento da Produtividade dos Sistemas CAD através da utilização de parametrizados. São Carlos, 1991. 138p. (Mestrado - EESC/USP).
- AUTODESK. *AutoCAD Release 10: Reference Manual*. Autodesk Inc., february 14, 1989a. 467p.
- AUTODESK. *AutoLISP Release 10: Programmer's Reference*. Autodesk Inc., august 29, 1989b. 120p.
- BESANT, C. B. *CAD/CAM: Projeto e Fabricação com o Auxílio do Computador*. Tradução de R. Reinprecht. Rio de Janeiro, Ed. Campus Ltda, 1985. 249p.
- BULLINGER, H. J.; WARNECKE, H. J.; LENTES, H. P. Toward the factory of the future. *International Journal of Production Research*, **24**(4):697-741, 1986.

- CHANG, T. C. & WYSK, R. A. Integrating CAD and CAM through automated process planning. *International Journal of Production Research*, **22**(5):877-94, 1984.
- CHOW, W. W. Nesting of a single shape on a strip. *International Journal of Production Research*, **17**(4):305-22, 1979.
- CHRISTOFIDES, N. & WHITLOCK, C. An algorithm for two-dimensional cutting problems. *Operations Research*, **25**(1):30-44, january-february, 1977.
- COMPUTER-CONTROLLED manufacturing. *Machine Design*, p.99-109, june 1988.
- CORLEY, M. R.; ANDERSON, D. O.; HARNETT, R. M.; WARRINGTON, R. O. CAD/CAM data representation and interchange: an assessment of current practice and future trends. *Journal of Engineering, Computing and Applications*, **2**(3):36-40, spring 1988.
- COX, A. B. Numerical Control Programming with Personal Computers. *Journal of Engineering Computing and Applications*, **2**(3):41-5, spring 1988.
- CRO. Manual da máquina pantográfica de oxicorte marca CRO tipo CN-2014 com controle GE 550 MPM. s.n.t. 57p.
- DAGLI, C. H. & TATOGLU, M. Y. An approach to two-dimensional cutting stock problems. *International Journal of Production Research*, **25**(2):175-90, 1987.
- DE CANI, P. A note on the two-dimensional rectangular cutting-stock problem. *Journal of the Operational Research Society*, **29**(7):703-6, 1978.

ORI, D. & BEN-BASSAT, M. Circumscribing a convex polygon by a polygon of fewer sides with minimal area addition. *Computer Vision, Graphics and Image Processing*, **24**:131-59, 1983.

AB. Auto-Path GX - Computer Numerical Control. ESAB Automation Inc, 1989. 9p.

RAZ, D. P.; RODRIGUES, M. T.; DIAS Fo., A. V. Desenvolvimento de pós-processadores para comando numérico a partir de programas CAD. In: XI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica - São Paulo, dezembro 1991. *Anais*. p.639-41.

Jr., L. Is your CAD system a true "System"? *Industrial Engineering*, **23**(4):39-42, abril 1991.

E, W. S. Pós-processadores - conceitos e orientações ao usuário.. *Máquinas e Metais*, p.44-50, 1987.

CHBERG, H. & BALDEAU, K. H. Corte térmico de aço. HOECHST - visão Messer Griesheim, tradução de Ronald Kramm, 86. 84p.

342: Numerical control of machines - NC processor input - basic part program reference language. 1985. 278p.

343: Numerical control of machines - NC processor output - for elements of 2000-types records (post processor commands). 1978. 92p.

83 /1/: Numerical control of machines - Program format and definition of address words, Part 1: Data format for positioning, line motion and contouring control systems. 1982. 14p.

- MEYER, G. R.; GREEN, R. D.; LENY, J. F.; MCGOWEN, C. R.; SOMERS, B. R. Oxygen Cutting. In: O'Brien, R. L., ed. *Welding Handbook*. 8th ed. Miami, American Welding Society, 1991. v.2, cap.14, p.450-80.
- NAVARRO, H. A. Desenvolvimento de um sistema para programação comando numérico para peças rotacionais. São Carlos, 1991. 135p. (Mestrado - EESC/USP).
- O'HARA, D.; SOISSON, L. R.; ANDERSON, D. G.; SULLIVAN, R. P.; TEMPLE, P. I. Arc Cutting and Gouging. In: O'Brien, R. L., ed. *Welding Handbook*. 8th ed. Miami, American Welding Society, 1991. v.2, cap.15, p.482-9.
- OPTIMIZATION, INC. *OPTINEST*. Catálogos fabricante, Las Cruces, New México, USA. s.d.
- P.E.P. MEASUREMENT SYSTEMS, INC. *P.E.P. W/ GRAPHICS*. Catálogos fabricante, s.n.t.
- PLOSSL, K. R. Production in the factory of the future. *International Journal of Production Research*, **26**(3):501-6, 1988.
- POTTHAST, A.; ELLINGER, H.; KOBE, P. Possibilities of graphics simulation of NC Programs. *Robotics & Computer-Integrated Manufacturing*, **4**(1-2):83-90, 1988.
- PRECISION NESTING SYSTEMS, INC. *PINS (Precision's Improved Nesting System)*. Catálogos fabricante, Closter, New Jersey, USA. s.d.
- QU, W. & SANDERS, J. L. A nesting algorithm for irregular parts and factors affecting trim losses. *International Journal of Production Research*, **25**(3):381-97, 1987.

VATCHER, R. & PANAGAS, J. CAD/CAM streamlines sheet metal fabrication. *Production Engineering*, 33(11):24-6, november 1986.

WANG, H. & WYSK, R. A. AIMSI: a prelude to a new generation of integrated CAD/CAM systems. *International Journal of Production Research*, 26(1):119-31, 1988.

WILDISH, M. Computer Nesting is key to success. *Machinery and Production*, 144(3705):18-20, november 19, 1986.

WISSMAN, T. L. Moving closer to CIM through CAD/CAM. *Automation, Cleveland*, 35(1):42-3, january 1988.

WOOLMAN, R. Computerized Plasma Cutting - An Efficient, Quality Method. *Industrial Heating*, 54(1):12-4, january 1987.

YANG, T. IGES Applications on CADAM, PC AutoCAD and Mac VersaCAD. In: AUTOFACT'89. *Proceedings*. Dearborn, MI, USA, publ. by SME, 1989. p.4.25-4.35.

QU, W. & SANDERS, J. L. Sequence selection of stock sheets in two-dimensional layout problems. *International Journal of Production Research*, **27**(9):1553-71, 1989.

ROCKWELL, F. E. Beyond Post-Processing. *Assembly Engineering*, **30**(12):28-31, december 1987.

ROZENFELD, H. Desenvolvimento de uma Linguagem Universal para Programação de Máquinas CNC. In: 9o. SCNB - Seminário de Comando Numérico e Automatização Industrial, 5o. JIAI - Jornada Internacional de Automatização Industrial. *Anais*. 1989. p.02.01-02.20.

ROZENFELD, H. & TAKAHASHI, S. Gerenciamento da Manufatura Integrada por Computador. In: I Seminário sobre Técnicas de Planejamento e Controle da Produção - SOBRACON. *Anais*. São Paulo, 1990.

SCHAFFER, G. H. CIM support through DNC. *American Machinist & Automated Manufacturing*, p. 73-4, december 1987.

SOEDA, M. Comparison of programming costs for N/C machining. *International Journal of Production Research*, **18**(2):179-87, 1980.

SPINOSA, L. M. Desenvolvimento de sistema CAD/CAM para corte termo-químico de chapas em indústrias metal-mecânicas. Florianópolis, 1991. (Mestrado - UFSC).

TOENSHOFF, K.; MARTENS, R.; MENZEL, E. DNC - Desenvolvimento, conceito, funções e tendências. Apostila traduzida pela MAXITEC, Hanover, 1989.