

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA

CURSO DE POS-GRADUACAO EM ENGENHARIA MECANICA

DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CAD/CAM PARA CORTE TERMO-QUIMICO DE
CHAPAS EM INDUSTRIAS METAL-MECANICAS.

DISSERTACAO SUBMETIDA A UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA
CATARINA PARA A OBTENCAO DO GRAU DE MESTRE EM ENGENHARIA MECANICA

LUIZ MARCIO SPINOSA

FLORIANOPOLIS, SETEMBRO DE 1991

**DESENVOLVIMENTO DE SISTEMA CAD/CAM PARA CORTE
TERMO-QUIMICO DE CHAPAS EM INDÚSTRIAS METAL-MECÂNICAS**

LUIZ MARCIO SPINOSA

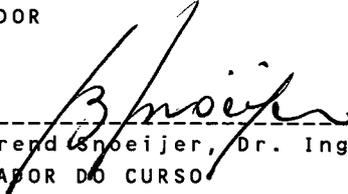
ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA ADEQUADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE

MESTRE EM ENGENHARIA

ESPECIALIDADE ENGENHARIA MECÂNICA, ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM
FABRICAÇÃO, APROVADO EM SUA FORMA FINAL PELO CURSO DE
PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA.

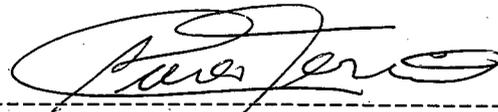


Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
ORIENTADOR

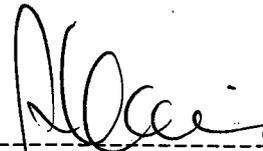


Prof. Berend Snoeijer, Dr. Ing.
COORDENADOR DO CURSO

BANCA EXAMINADORA



Prof. Aureo Campos Ferreira, Ph.D.
PRESIDENTE



Prof. Abelardo Alves de Queiroz, Ph.D.



Prof. Edison da Rosa, Dr. Eng.

Dedico

à Deus e

aos meus pais.

INDICE

GLOSSARIO

ABREVIATURAS

RESUMO

ABSTRACT

| | |
|---|----|
| 1 - Introdução | 1 |
| 2 - Preparação de Dados para Corte Termo-Químico..... | 5 |
| 2.1 - Copiadores Acionados Manualmente | 6 |
| 2.2 - Copiadores Acionados Mecanicamente | 6 |
| 2.3 - Sistema Optico-Pantográfico | 7 |
| 2.4 - Comando Numérico | 11 |
| 2.4.1 - Programação Direta no CNC | 12 |
| 2.4.2 - Programação Manual Assistida | 12 |
| 2.4.3 - Programação Auxiliada por Computador ... | 13 |

| | |
|---|----|
| 2.4.4 - Comentários Adicionais | 14 |
| 2.5 - CAD/CAM | 16 |
| 2.5.1 - Sistemas Genéricos | 16 |
| 2.5.2 - Sistemas Específicos ao Processo | 20 |
| 2.5.3 - Sistemas Específicos à Máquina | 24 |
| 2.5.4 - Problemática do Nesting | 26 |
| 3 - A Proposta Tecnológica do Sistema SAPRO | 28 |
| 3.1 - Introdução | 28 |
| 3.1.1 - O Mercado Nacional | 29 |
| 3.1.2 - A Política Nacional de Desenvolvimento Tecnológico | 29 |
| 3.1.3 - Relação Universidade-Empresa | 30 |
| 3.2 - A proposta SAPRO | 31 |
| 3.2.1 - Comparação da Proposta SAPRO com Outros Sistemas | 32 |
| 3.3 - Situação Atual | 35 |
| 3.3.1 - Setor de Projetos | 36 |
| 3.3.2 - Setor Fabricação | 37 |

| | |
|--|----|
| 3.3.3 - Principais Pontos à Serem Corrigidos ... | 41 |
| 3.4 - Situação Proposta | 43 |
| 3.4.1 - Proposta de Correção | 46 |
| 4 - Modelo Conceitual | 48 |
| 4.1 - A Computação Gráfica | 49 |
| 4.2 - Identificação do Modelo SAPRO | 50 |
| 4.2.1 - Módulo SPDF (Desenho) | 54 |
| 4.2.2 - Módulo SPDL (Definição de Lotes) | 58 |
| 4.2.3 - Módulo SPEN (Encaixe) | 61 |
| 4.2.4 - Módulo SPSC (Sequência de Corte) | 65 |
| 4.2.5 - Módulo SPNC (Programação NC)..... | 67 |
| 4.2.6 - Módulo SPSP (Suporte Operacional)..... | 71 |
| 4.2.7 - Módulo SPES (Estatística) | 73 |
| 4.2.8 - Módulo SPCE (Controle de Estoque)..... | 76 |
| 4.3 - Projeto de Arquivos | 79 |
| 5 - Conclusão | 81 |
| 5.1 - Avaliação White Martins | 83 |

| | |
|--|-----|
| 5.2 - Trabalhos Futuros | 86 |
| BIBLIOGRAFIA | 87 |
| ANEXOS | 93 |
| Anexo 1 : Referências Conceituais | 94 |
| 1.1 - CAM (Computer Aided Manufacturing) | 95 |
| 1.1.1 - Programação NC | 96 |
| 1.1.2 - APT/EXAPT | 97 |
| 1.2 - CAD (Computer Aided Design) | 100 |
| 1.2.1 - INTERAPT | 102 |
| 1.3 - Base de Dados | 106 |
| Anexo 2 : Recursos Disponíveis | 109 |
| 2.1 - Software SAPRO | 110 |
| 2.1.1 - System V | 111 |
| 2.1.2 - Linguagem C | 112 |
| 2.1.3 - Environ V | 113 |
| 2.1.4 - Bibliotecas I/O e Math | 114 |
| 2.2 - Software de Apoio | 114 |

| | |
|--|------------|
| 2.2.1 - Screen Editor VI | 115 |
| 2.2.2 - Procasso | 115 |
| 2.2.3 - Menubuilder | 116 |
| 2.2.4 - Make | 116 |
| 3.3 - Hardware | 117 |
| 3.3.1 - Workstation Interpro 32 | 118 |
| 3.3.2 - Autocut | 121 |
| Anexo 3 : Ensaios | 127 |
| 3.1 - Módulo SPDF (Desenho) | 128 |
| 3.2 - Módulo SPDL (Definição de Lotes) | 152 |
| 3.3 - Módulo SPEN (Encaixe) | 153 |
| 3.4 - Módulo SPSC (Sequência de Corte) | 158 |
| 3.5 - Módulo SPNC (Programação NC)..... | 162 |
| 3.6 - Módulo SPSP (Suporte Operacional)..... | 165 |

GLOSSARIO

guia - modelo que define as características geométricas da peça a ser cortada.

ícone - símbolo gráfico que têm por função representar alguma ação ou elemento.

interativo - modo de processamento em que, uma vez iniciada a execução de um programa, o usuário tem alguma liberdade de alterar ou definir o fluxo de execução.

kerf - representa uma distância de compensação que o centro da ferramenta deve ter em relação à geometria real da peça durante o processo de corte. O valor do kerf depende de dados tecnológicos do processo (diâmetro do bico do maçarico, distância entre o bico e a chapa, etc).

nesting - representa o arranjo de um conjunto de peças sobre uma área, de forma a ocuparem o menor espaço possível, resultando num maior aproveitamento desta área.

nesting automático - nesting realizado pelo computador sem intervenção do operador (usuário).

nesting interativo - nesting realizado pelo usuário, que indica a posição de cada peça sobre a chapa a ser cortada.

oxi-corte - fusão localizada obtida pela queima de gás carburante

com oxigênio, formando um jato de fogo direcionado para a região de corte.

plasma - fusão localizada obtida pela formação de um arco voltáico entre a chapa e a ferramenta.

primitiva - elemento geométrico composto por retas e arcos, utilizado para construir outra geometria mais complexa.

template - modelo escalonado ou não de uma peça, preparado misturando-se duas técnicas: contorno e silhueta.

usuário - pessoa que utiliza um sistema de computação.

ABREVIATURAS

CAD - Computer Aided Design (Projeto com Auxílio de Computador).

CAd - Computer Aided drafting (Desenho com Auxílio de Computador).

CAE - Computer Aided Engineering (Engenharia com Auxílio de Computador).

CAM - Computer Aided Manufacturing (Fabricação com Auxílio de Computador).

CAPP - Computer Aided Process Planning (Planejamento do Processo com Auxílio de Computador).

CIM - Computer Integrated Manufacturing (Integração com Auxílio de Computadores).

CNC - Computer Numerical Control (Comando Numérico Computadorizado).

GT - Group Technology (Tecnologia de Grupo).

RESUMO

Este trabalho visa apresentar o sistema CAD/CAM denominado SAPRO, desenvolvido em convênio com a empresa White Martins Soldagens. O SAPRO tem como objetivo o desenho e encaixe de peças planares, bem como gerar os recursos necessários para condução de uma máquina de corte controlada numericamente, abrangendo os processos de oxi-corte e plasma.

Inicialmente são apresentadas as atuais formas de preparação de dados. Posteriormente, é apresentada a proposta e o modelo conceitual do sistema SAPRO. Em último capítulo são apresentados os resultados à serem obtidos com tal proposta, bem como as perspectivas futuras.

ABSTRACT

This work presents the SAPRO CAD/CAM system, developed to White Martins Soldagens enterprise. The SAPRO is a complete stand-alone system for the design and nesting of flat template parts and the preparation of output to drive numerically-controlled cutting equipment. The SAPRO has been applied to cutting with flame and plasma machines.

Firstly, a brief discussion about methodologies for data preparation is given. The conceptual part presents a description of SAPRO's model, followed by the results and perspectives futures.

1 - INTRODUÇÃO

CAD/CAM é uma abreviação de Computer Aided Design/Computer Aided Manufacturing, ou Projeto com Auxílio de Computadores/Fabricação com Auxílio de Computadores. Tipicamente um sistema CAD/CAM envolve computadores nos processos de manufatura de produtos para melhorar a produtividade, diferenciando-se dos demais sistemas informatizados por armazenarem, recuperarem e manipularem grande volume de informações gráficas [UNI90] [PA084]. Interagindo com um sistema CAD/CAM, um engenheiro pode desenvolver projetos detalhados de produtos, ao invés da utilização do convencional método de prancheta e grafite. Uma vez satisfeito com o projeto, o usuário pode gerar programas que conduzirão máquinas CNC para a manufatura do produto.

O benefício mais claro dos sistemas CAD/CAM, sem dúvida alguma, é aumentar a produtividade da engenharia, principalmente no que se refere as tarefas de planejamento, programação e operação da produção. Este aumento pode ser constatado já no primeiro ano de aquisição de um sistema, numa proporção tipicamente 2 para 1. Pode-se considerar que a média de aumento fica em torno de 3 ou 4 para 1, e em determinadas aplicações, com completo domínio do sistema, podem ser constatados aumentos na proporção de até 20 para 1 [UNI90]. Pela figura 1.1 podem ser verificados alguns dos benefícios que levam a estas proporções.

| | |
|---|--|
| <p>AUMENTO DA PRODUTIVIDADE</p> | <p>Os sistemas CAD/CAM tem sido responsáveis por uma drástica melhoria em atividades de engenharia. As mais importantes são:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Desenho; -Documentação -Projeto -Estimativas -Processamento de pedidos -Fabricação |
| <p>MELHOR GERENCIAMENTO E CONTROLE</p> | <p>Os sistemas CAD/CAM tem contribuído para manter consistentes informações relevantes ao controle e gerenciamento das atividades produtivas, tais como:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Dados da engenharia -Dados de distribuição da engenharia -Dados de projetos -Produção de scheduling -Estimativas -Processamento de ordens de serviço |
| <p>BENEFÍCIOS INTANGÍVEIS</p> | <p>Muitos dos benefícios que os sistemas CAD/CAM promovem são difíceis de quantificar, contudo eles contribuem de forma muito real para o sucesso da tecnologia. Os mais importantes benefícios são:</p> <ul style="list-style-type: none"> -Padronização dos gráficos -Padronização dos metados -Alta qualidade gráfica dos desenhos -Diminuição da vulnerabilidade a erros -Rápidas respostas -Desenvolvimento profissional -Fator moral positivo |

Figura 1.1 - Benefícios do CAD/CAM. (Adaptado [UNI90].)

Apesar destas duas tecnologias poderem representar uma vasta gama de atividades junto a um Sistema de Engenharia e Manufatura, sem dúvida nenhuma, a aplicação dominante dos sistemas CAD/CAM, ainda é na realização de tarefas de drafting e na geração do Programa NC [TEI85].

Tais características e perspectivas dos sistemas CAD/CAM, levaram a empresa White Martins Soldagens a encomendar ao Grucon, o desenvolvimento de um sistema CAD/CAM para corte termo-químico de chapas na indústria metal-mecânica.

O presente texto, cumpre o objetivo de apresentar as razões e justificativas que levaram a este desenvolvimento, denominado SAPRO¹, bem como apresentar os resultados obtidos.

Para tal, este material está organizado da seguintes forma:

No segundo capítulo são levantadas as principais formas de preparação de informações para corte de chapas pelos processos em questão. Em relevância, são citados os principais sistemas CAD/CAM disponíveis no mercado.

No terceiro capítulo apresenta-se a proposta do presente trabalho, ou seja, o sistema SAPRO. Neste capítulo também é feita uma comparação com os sistemas CAD/CAM descritos no capítulo anterior, de forma a serem constatadas as possíveis contribuições

¹ - Será apresentada a versão do SAPRO para o equipamento Interpro 32. Deve-se ressaltar que, existe uma outra versão do sistema com as mesmas características para equipamentos PC-AT.

do SAPRO.

No quarto capítulo apresenta-se o modelo conceitual do SAPRO, através de esquemas lógicos-funcionais simplificados dos seus principais processos.

Finalmente, no quinto capítulo encontram-se as principais conclusões e resultados deste desenvolvimento, bem como são feitas sugestões para novos trabalhos.

Com o objetivo de complementar os capítulos acima citados, no final deste material encontra-se um conjunto de anexos com as seguintes funções:

No anexo 1 cita-se a referência teórica que subsidiou o desenvolvimento do SAPRO.

No anexo 2 são apresentados os recursos necessários ao desenvolvimento do SAPRO, bem como o seu ambiente de execução.

No anexo 3 é apresentado um ensaio mostrando os principais recursos do SAPRO. Para tais ensaios, tomaram-se exemplos reais e comprobatórios da potencialidade do sistema.

2 - PREPARAÇÃO DE DADOS PARA CORTE TERMO-QUÍMICO

A larga gama de aplicações na área metal-mecânica, particularmente no que se refere ao corte de chapas, requer uma grande variedade de máquinas de corte termo-químico com características específicas. Consequentemente, as formas de alimentação de dados, para corte de peças nestas máquinas, variam desde soluções mais simples e baratas envolvendo, por exemplo, preparação manual, passando por sistemas ópticos-pantográficos e por comando numérico, até chegar aos sistemas mais avançados, que geralmente usam recursos gráficos interativos, dentre os quais pode-se citar principalmente os Sistemas CAD/CAM.

Esta secção descreve sumariamente cada uma destas formas, em seu estado da arte, na tentativa de melhor elucidar, em

capítulo posterior, as possíveis contribuições deste trabalho.

2.1 - COPIADORES ACIONADOS MANUALMENTE

A forma mais simples de alimentação das máquinas de corte, pode ser viabilizada pela utilização da própria peça como guia. Tal peça pode ser contornada manualmente com auxílio de um dispositivo mecânico copiador, o qual transmite os movimentos diretamente para a ferramenta de corte sobre a chapa. Percebe-se que, tal método é recomendado para lotes pequenos com peças simples [HIRO1]. Contudo, com o aparecimento dos sistemas controlados automaticamente que se mostram mais precisos e menos dispendiosos, este método foi quase que totalmente substituído.

2.2 - COPIADORES ACIONADOS MECANICAMENTE

Num segundo grupo estão as máquinas de corte com característica de serem pequenas e estacionárias¹. Tais máquinas são equipadas com um dispositivo mecânico, que percorre o

¹ - Máquinas que possuem uma mesa de corte fixa, onde é colocada a chapa, sobre a qual deverá atuar as ferramentas de corte. Para atuação destas ferramentas existe um conjunto mínimo de acionadores para realizar os deslocamentos.

contorno de guias previamente preparadas, transferindo os movimentos para a ferramenta de corte. Tal atividade ocorre sem a interferência do operador. A popularidade deste método deve-se à confiabilidade, ao baixo custo e à boa qualidade de reprodução no caso de grandes lotes de peças [HIR01]. Contudo, a confecção e o armazenamento das guias são dispendiosos, requerendo uma análise mais detalhada da relação custo benefício em função do volume de peças à serem produzidas.

Uma desvantagem deste método é a impossibilidade de realizar o nesting das peças para melhor aproveitamento da chapa. Outra desvantagem, refere-se a falta de um sistema de coordenadas, o que inviabiliza a utilização de acessórios que dependem de tal recurso.

2.3 - SISTEMA OPTICO-PANTOGRAFICO

A invenção do sistema de contorno foto-elétrico teve um efeito revolucionário para as máquinas de corte. Tal método possibilitou, entre outras coisas, aumentar a gama de aplicações atendidas pelas máquinas de corte [WEI84] [MES01]. Este método veio preencher uma lacuna dos métodos anteriores, principalmente onde se caracterizavam lotes pequenos e médios formados por peças grandes [HIR01].

Os planos de corte representam um dos elementos essenciais neste método, constando deles os elementos de guia que, por serem apenas um modelo geométrico plano dos contornos da peça, são mais fáceis de confeccionar e de menor custo que nos métodos anteriores. Existem duas formas básicas para confecção destes modelos: por silhueta ou por contorno. Na primeira utiliza-se uma reprodução, escalonada ou não, de cada peça a ser cortada em material de cor clara e de boa resistência. Tais silhuetas, assim preparadas, são colocadas posteriormente sobre um fundo de cor escura. Pela forma de contorno, as peças são desenhadas com linhas apresentando espessura entre 0,4 à 1 mm, em material de cor clara. A maneira que tem-se mostrado mais eficiente para confecção do plano de corte é unir estas duas formas. Uma peça representada desta forma é referenciada por *template*.

Algumas características deste método, que representam maior relevância neste trabalho, são:

- . Talvez a maior vantagem esteja na possibilidade de realizar o *nesting*. Numa produção típica pode-se observar uma redução de 5 % nas perdas pela possibilidade de *nesting* [HIR01].
- . Uma característica do *nesting* é a possibilidade de prever a existência de pontes entre as peças. Estas pontes cumprem a função de tornar o corte contínuo e distribuir melhor o calor sobre a área de corte para evitar

distorção dimensional das peças. A elaboração de tais pontes, que devem constar do plano de corte, representa um trabalho minucioso e demorado.

Na maioria das aplicações de corte de chapas, o tamanho das peças impede a utilização de escala 1:1 na confecção dos planos de corte. Tal impossibilidade deve-se à dificuldade de se manter tolerâncias aceitáveis no desenho das peças, por métodos convencionais, quando estes ultrapassam as dimensões aproximadas de 1m por 2m. Geralmente os planos de corte são elaborados nas escalas 1:5 ou 1:10 com precisão de mais ou menos 0,1 mm, não sendo raros os casos de utilização de escalas da ordem de 1:100. Tais reduções objetivam facilitar o transporte e armazenamento dos planos de corte. Contudo, torna-se fácil perceber que, um erro dimensional no plano de corte será ampliado proporcionalmente à escala utilizada, refletindo na precisão das peças produzidas.

Outra preocupação adicional com os planos de corte refere-se à susceptibilidade dos mesmos às condições ambientais, como umidade e variações de temperatura. Tais deformações podem variar entre 0,7 mm à 1,0 mm para cada 1,5 m, para uma diferença de temperatura de 20 C. à 25 C [HIR01]. O transporte dos planos de corte e templates também devem receber um cuidado adicional para evitar danos ou sujeiras.

- . Outra grande dificuldade deste método está na consideração do kerf. Na prática o kerf não é utilizado neste método por se tornar uma fonte de erros. Tal atitude é justificada pela dificuldade de se obter as informações necessárias para uma correta definição do kerf, à saber: se as geometrias são internas ou externas e se o sentido de corte é horário ou anti-horário. Para contornar este problema, os planos de corte são preparados considerando-se esta tolerância.
- . A qualidade final de corte está intimamente ligada a qualidade dos desenhos dos templates, sendo necessário um rígido controle dos métodos e padrões na elaboração dos mesmos.
- . Muitas responsabilidades na utilização das máquinas de corte com copiador óptico-pantográfico são deixadas para o operador. Tal dependência pode influenciar diretamente a eficiência da produção [BAT89].
- . A mudança frequente dos planos de corte e os ajustes constantes do dispositivo de corte, provocam uma perda de tempo considerável, ainda mais considerando que durante este tempo a máquina para de cortar [BAT89].

2.4 - COMANDO NUMÉRICO

Muitas das desvantagens dos processos anteriores são evitadas com a utilização da tecnologia CNC. Na figura 2.1 são apresentados os principais métodos de obtenção da Programação relevantes ao corte de chapas. O texto na seqüência descreve melhor estas formas de obtenção.

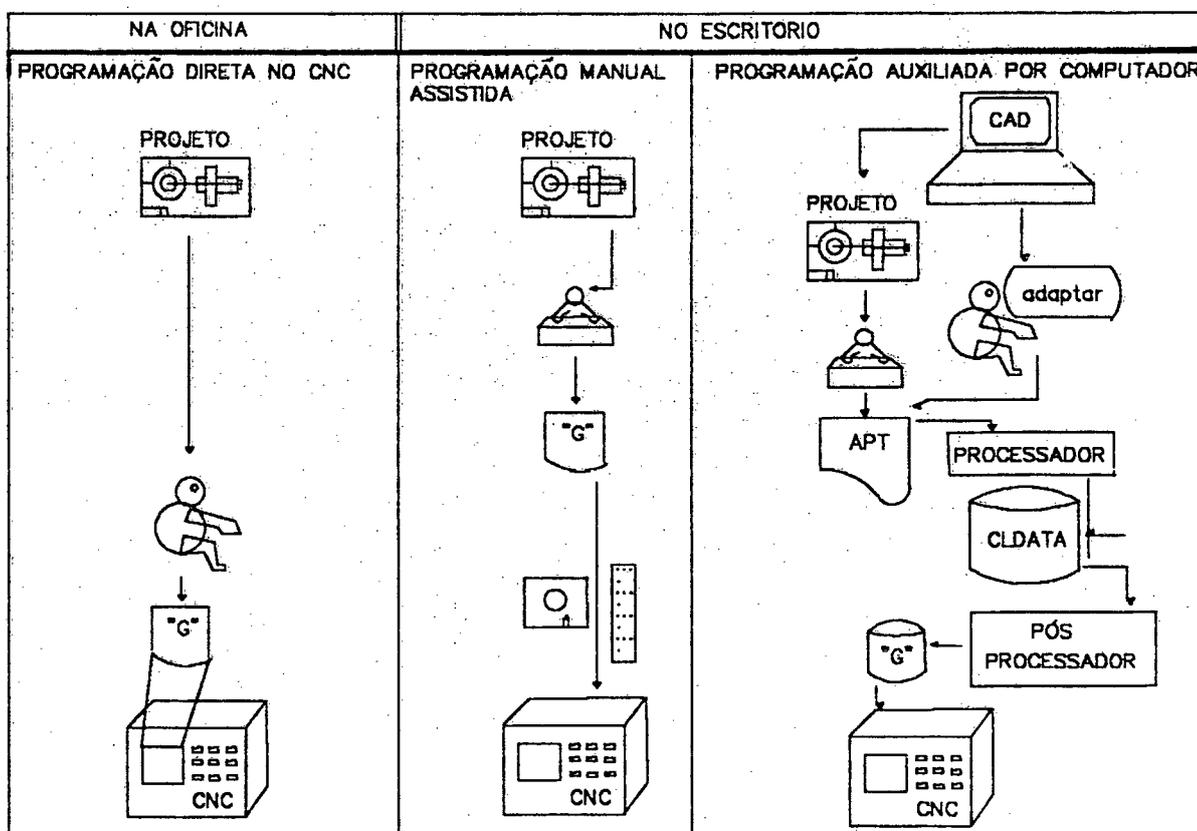


Figura 2.1 - Métodos de Programação CNC. (Adaptado [ROZ89])

2.4.1 PROGRAMAÇÃO DIRETA NO CNC.

Existe uma tendência cada vez maior deste método devido à possibilidade de programação paralela (não necessitando a parada da máquina) e dos CNCs cada vez mais sofisticados em termos de recursos de visualização, que são acoplados diretamente ao console da máquina. Contudo, tal programação é aconselhável para peças simples, necessitando de um operador bem qualificado que conheça os códigos específicos de cada CNC [ROZ89].

2.4.2 - PROGRAMACÃO MANUAL ASSISTIDA.

Por este método, os programas são introduzidos na máquina de comando numérico por dispositivos tais como: leitora de Fita, interfaces padronizadas (principalmente RS232), unidades portáteis de transferência de informações, outros. Para agilizar o processo de elaboração dos Programas, podem ser utilizados sistemas computacionais baseados na tecnologia MDI (Manual Data Input). A programação MDI traz uma série de recursos de programação que, entre outras coisas, permite a programação direta de um conjunto de operações pelo uso de ciclos fixos ou macro-instruções [QUE83]. Tais recursos são especialmente adequados na elaboração do nesting, na definição do kerf e outros requisitos tecnológicos.

Outra forma bem sucedida é a utilização de editores próprios, os quais permitem digitação de programas, verificação de sintaxe e semântica, simulação gráfica e ainda apoiam os cálculos matemáticos, responsáveis por aproximadamente 60% do tempo de preparação em peças de média dificuldade [FER84] [QUE16]. Como exemplo destes recursos pode-se citar principalmente o Quikpart fornecido pela MTC/USA [MTC01]. O Quikpart possui funções próprias para tratamento do processo de corte de chapas.

2.4.3 - PROGRAMAÇÃO AUXILIADA POR COMPUTADOR.

Este método pode ser considerado o mais tradicional. Tão antigo quanto as máquinas NC, neste método o programador utiliza uma linguagem de programação de alto nível, tipo APT, que possui comandos para definição da geometria das peças e da trajetória das ferramentas, bem como outras funções auxiliares para controle de dados tecnológicos. A vantagem deste método é a possibilidade de se obter apenas um programa neutro por peça mesmo que esta seja fabricada em máquinas e Comandos Numéricos diferentes. Um exemplo significativo pode ser observado em [KRA87], que trata da utilização da linguagem EXAPT aplicada especificamente ao corte de chapas, inserida num contexto CIM (Computer Integrated Manufacturing) [HIR89] [BEE84] [KOR86].

2.4.4 - COMENTARIOS ADICIONAIS

Algumas características adicionais dos métodos baseados em Comando Numérico, valem ser ressaltadas.

- . Uma das principais vantagens das máquinas comandadas numericamente é a racionalização e otimização de suas operações. Alguns dos tempos de ajustes indispensáveis no método óptico-pantográfico são aqui eliminados [BAT89];
- . A precisão de uma máquina comandada numericamente é muito superior comparando-se com os métodos antes abordados, refletindo diretamente num melhor acabamento do produto;
- . As variações ambientais são bem menos importantes nestes métodos. Os planos de corte e os templates são completamente eliminados;
- . Devido à característica de programação do Comando Numérico, os problemas críticos decorrentes das mudanças de escala das geometrias desaparecem totalmente;
- . A eficiência de todo o processo, devido ao uso de Comando Numérico, aumenta entre 10 à 15 % comparando-se com os métodos já apresentados [HIR01];

Apesar da benéfica influência do Comando Numérico no processo de corte de chapas, alguns problemas ainda ocorrem.

- . O tempo gasto, bem como o custo envolvido, no ciclo Programação / Elaboração do Programa NC / Try-out são altos e dispendiosos. Este ciclo caracteriza um dos pontos mais críticos do processo de fabricação. Os erros na programação são frequentes, fazendo com que além de muito tempo envolvido tenha-se o gasto com os materiais para os testes que devem ser feitos diretamente na máquina;
- . Grande parte da responsabilidade de produção no método óptico-pantográfico ficava com o operador da máquina. Aqui parte desta responsabilidade é transferida para o programador NC;
- . Observa-se que o tempo dispendido durante a preparação do programa NC torna-se muito representativo, uma vez que a otimização do tempo durante o corte propriamente dito, é mais difícil de ser obtida [BAT89].

2.5 - CAD/CAM

Uma maior agilização das etapas de Projeto e Fabricação reflete satisfatoriamente no tempo de passagem do produto pela empresa e, conseqüentemente, na rápida disponibilidade para comercialização do mesmo, principalmente no caso de haver uma

grande rotatividade de tais produtos. A tecnologia dos sistemas CAD/CAM, possibilitando esta agilização, mostra-se fortemente indicada para aumento da eficiência destas duas etapas.

Os sistemas gráficos interativos aplicados ao corte de chapas, que foram analisados durante o presente trabalho, podem ser classificados em três grupos: Genéricos, Específicos ao Processo e Específicos às Máquinas.

2.5.1 - SISTEMAS GENÉRICOS

Os sistemas Genéricos foram assim designados por representarem um conjunto de soluções que não foram desenvolvidas com fins específicos para corte de chapas. Tais sistemas têm sua aplicação voltada para diversas tarefas relacionadas às áreas de engenharia de projeto e fabricação mecânica. Os sistemas Genéricos analisados neste trabalho estão relacionados na tabela 2.1.

| NOME | ORIGEM | EQUIPAMENTO | | | | | | | OBSERVAÇÕES |
|-------------------|---------------|---------------------------|--------------|--------------|----------------|----------------|----------------|--------|-------------------------------|
| | | | NOBILIGHT 20 | NOBELIGHT 30 | ENCADRE MANUAL | ENCADRE AUTOM. | PROGRAMAÇÃO NC | OUTROS | |
| medusa | prime/usa | sun,decvax caddstation | x | x | x | | | 1 | 1 programa para dobramento |
| gnc | prime/usa | sun,decvax caddstation | | | | | | x | |
| microshop | prime/usa | sun,decvax caddstation | | | | | | 2 | 2 gera relatorios financeiros |
| oir multitreeve | prime/usa | sun,decvax caddstation | | | | | | 3 | 3 classificador de familias |
| multigroup | prime/usa | sun,decvax caddstation | | | | | | 4 | 4 codificador de pecas |
| multicapp | prime/usa | sun,decvax caddstation | | | | | | 5 | 5 planejador do processo |
| autocad | autodesk/usa | pc-at | x | x | x | | | | |
| drafix cad | foresight/usa | pc-at | x | x | | | | | |
| pos-processadores | varias | varios | | | | | | x | |

Tabela 2.1 - Relação dos principais sistemas Genéricos possíveis de serem utilizados para corte de chapas [PRI01] [FOR01] [AUT01].

Os sistemas Genéricos representam a solução mais imediata dos usuários de máquinas para corte de chapas. Estes sistemas são característicos de usuários que tenham iniciado a automação da produção com a aquisição de um sistema CAD, e depois, motivado pelas expectativas, adquiriu ou encomendou um sistema específico. Para adequação destes sistemas às necessidades do corte de chapas, são confeccionadas interfaces que basicamente interpretam os arquivos geométricos gerados pelo CAD e geram o programa NC. A forma mais simples e conhecida destas interfaces são os Pós-processadores.

As principais características dos sistemas Genéricos, relevantes a este trabalho, são citadas na sequência.

- . Os sistemas Genéricos apresentam-se superdimensionados para as necessidades do corte de chapas, principalmente no que se refere aos recursos do CAD;
- . Dentre os três grupos analisados, os sistemas Genéricos mostram-se de maior custo de aquisição devido a dois fatores principais: existência de um maior conjunto de recursos do CAD e custo adicional para desenvolvimento de um pós-processador;
- . Devido ao objetivo dos sistemas Genéricos em atender ao maior número de aplicações possíveis, sua eficiência muitas vezes é menor que a dos demais grupos. Tal queda de eficiência pode ser explicada, principalmente, pela necessidade do usuário ter de responder à um conjunto maior de questões durante o processo interativo, para direcionar suas atividades específicas;
- . Nos sistemas Genéricos há dificuldades em se utilizar dados tecnológicos do processo de corte termo-químico. Dentre estes, podem ser citados: tempo de pré-aquecimento da ferramenta, kerf, continuidade entre geometrias, etc;
- . A grande maioria dos sistemas Genéricos disponíveis no

mercado nacional são de origem estrangeira. Tal fato, dificulta a assistência técnica ao software, principalmente quando tais softwares devem ser adequados para atender uma aplicação específica como corte de chapas.

No que se refere ao treinamento dos usuários, alguns pontos devem ser analisados.

- . A origem estrangeira destes sistemas pode dificultar o treinamento dos usuários sob dois aspectos: comandos, mensagens e manuais escritos em língua diferente do Português e locomoção dos usuários até o local de treinamento, quando não houver representante nacional;
- . O treinamento recebido pelos técnicos são, na maioria das vezes, referentes aos recursos do sistema, havendo uma deficiência em identificar os recursos que podem ser úteis ao processo de corte de chapas;

Algumas características específicas de alguns dos sistemas apresentados na tabela 2.1 valem ser levantadas.

- . Os sistemas complementares oferecidos pela Prime/USA, formam uma interessante configuração de apoio às atividades de corte das chapas. O sistema Microshop traz consigo um conceito de auxílio às atividades de gerência, emitindo relatórios financeiros, extimativas de custos e

principalmente viabilizando a comunicação com um sistema tipo BOM (Bill of Material). Os sistemas OIR Multitreeve II, Multigroup II e MultiCAPP possibilitam respectivamente a codificação, classificação em famílias e assistência ao planejamento do processo, possibilitando a utilização dos conceitos GT (Group Technology).

2.5.2 - SISTEMAS ESPECIFICOS AO PROCESSO

O segundo grupo de sistemas analisados, os Específicos ao Processo, representam os sistemas desenvolvidos para atender diretamente aos requisitos do processo de corte de chapas. Geralmente estes sistemas controlam processos tais como: corte por oxí-combustão, plasma ou laser e marcação por instrumentos pneumáticos (puncionadores), químicos (óxido de zinco) ou laser. Estes sistemas representam atualmente as melhores perspectivas do setor.

As suas principais características podem ser verificadas na tabela 2.2 e nos comentários que se seguem.

Nestes sistemas os conceitos tecnológicos estão colocados de forma explícita, facilitando sua utilização. Sua eficiência pode ser colocada como intermediária entre o terceiro grupo e o primeiro;

- . Como o objetivo destes sistemas é de resolver problemas específicos do corte de chapas, eles ferem menos as diretrizes e estratégias organizacionais das empresas, facilitando sua adaptação no processo produtivo e funcional;
- . Contrário aos sistemas Genéricos, o treinamento dos sistemas específicos, torna-se mais objetivo uma vez que todos os recursos estudados são voltados para o corte de chapas. Contudo, ainda permanecem os outros problemas decorrentes da origem estrangeira dos mesmos;
- . Uma característica importante destes sistemas, refere-se à melhor possibilidade de modelar o ambiente CAD/CAM conforme a necessidade do usuário. Tal modelagem é viável pela modularização dos programas e conseqüentemente das atividades ligadas ao processo. P.ex.: pela tabela 2.2 pode ser verificado que o usuário pode optar pelo Quiknest e VSP, ou Pronest e VSP, ou somente o VSP, além de outras possibilidades. Quando tais combinações ocorrem entre programas de diferentes fornecedores, são oferecidos programas de comunicação que obedecem padrões tais como: DXF e IGES.

| NOME | ORIGEM | EQUIPAMENTO | | | | | | OBSERVACOES |
|----------------|----------------------------|-------------|--------------|--------------|----------------|----------------|---------------------------------------|-------------|
| | | | MODELAGEM 2D | MODELAGEM 3D | ENCADRE MANUAL | ENCADRE AUTOM. | PROGRAMACAO NC | |
| altus 500/500m | nippon sanso japao | proprio | x | x | x | 1 | 1 gera informacoes administrativas | |
| parts II plus | shop data sys usa | pc-at | x | x | x | 2 | 2 linguagem propria para modelagem | |
| quikcam | mtc / usa | pc-at, ps2 | | | x | 3 | 3 interfaceador dxf, for,cad-l | |
| quiknest | mtc / usa | pc-at, ps2 | x | x | | | | |
| vsp | mtc / usa | pc-at, ps2 | | | x | | | |
| pronest | mtc / usa | pc-at, ps2 | x | x | x | | | |
| backplot | mtc / usa | pc-at, ps2 | | | | 4 | 4 simulador nc | |
| venus corte | informatica tec espanha | pc-at | x | | x | | | |
| venus nesting | informatica tec espanha | pc-at | | x | x | | | |
| camsco command | camsco / usa | proprio | x | x | x | x | | |

Tabela 2.2 - Relação dos principais sistemas Específicos ao Processo disponíveis para corte de chapas [BRO83] [MTC01] [8H001] [NIP01] [LAN01] [CAM01] [KUV88] [LAU88] [MER88].

Algumas características particulares de alguns dos sistemas apresentados na tabela 2.2 devem ser consideradas.

- Além das atividades mostradas, o sistema Camsco Command oferece a opção de definição da geometria das peças através de uma mesa digitalizadora. Esta opção torna-se muito atraente quando o usuário deseja uma forma mais cômoda para a entrada de peças já existentes. Deve-se salientar que, a mesa digitalizadora possui uma precisão menor que a oferecida pelos recursos gráficos. O sistema Camsco também oferece a possibilidade de gerar um arquivo

tipo APT CLFILE (CLDATA), facilitando o desenvolvimento ou a integração com os pós-processadores.

Alguns dos sistemas apresentados, mais particularmente os modeladores geométricos, armazenam as peças projetadas diretamente através de comandos NC. Tal situação é conveniente quando se deseja que a peça seja cortada sem ser encaixada com outras peças. Outra situação favorável a este tipo de representação, ocorre quando a geometria da peça é simples e o nesting pode ser realizado diretamente pelo operador da máquina durante o processo de corte. Contudo, tal situação geralmente resulta em aproveitamentos inferiores se comparados aos nestings realizados com auxílio de computador. O armazenamento das peças na sintaxe dos comandos NC, à nível de modeladores geométricos, pode ainda trazer perda de eficiência de cálculos computacionais. Isto se justifica por outras formas de representação geométrica mais adequadas e pelo uso de técnicas de Computação Gráfica.

O sistema Parts II Plus, possui um módulo adicional denominado Remanant Tracking com a função de resgatar possíveis sobras de chapas, que poderão ser utilizadas para corte de outros nestings. Este mesmo conceito é observado no sistema Cut In II [CUT88], mesmo sendo sua aplicação direcionada para corte em guilhotinas.

O sistema Venus Corte possibilita gerar instruções na sintaxe e na semântica da Linguagem APT. De tal fato decorre a vantagem do usuário ter mais um recurso para alteração da geometria da peça ou da trajetória da ferramenta de corte. Contudo, a utilização de tal recurso pode promover uma inconsistência entre a geometria criada pelos recursos gráficos interativos e a que realmente será cortada da chapa.

2.5.3 - SISTEMAS ESPECIFICOS A MAQUINA

O terceiro grupo de sistemas, denominado de Específicos à Máquina, são geralmente desenvolvidos pelos fornecedores de máquinas de corte de chapas ou pelos fabricantes dos comandos numéricos que tais máquinas utilizam. Estes sistemas possuem como característica principal atender às necessidades específicas da máquina no que se refere aos seus recursos e processos de corte envolvidos.

| NOME | ORIGEM | EQUIPAMENTO | MÓDULO 20 | | | | | | PROGRAMAÇÃO NC |
|-------------------|----------------------|-------------|--------------|------------|----------------|----------------|------|---|-----------------------------------|
| | | | MODELAGEM 3D | ENCADRE 3D | ENCADRE MANUAL | ENCADRE AUTOM. | CHIC | | |
| programmierplatz | biba alemanha' | pc-at | x | | x | | x | | especifico para ibh minimodus |
| i-tec | i-tec / usa | pc-ct | x | | x | x | x | - | especifico para i-tec |
| linde | union carbide usa | pc-at | x | | x | x | x | | especifico para linde |
| design master cad | burny / usa | pc-at | x | x | | x | | | especifico para comandos burny |
| plate master 2 | burny / usa | pc-at | x | | x | | x | | especifico para comandos burny |

Tabela 2.3 - Relação dos Sistemas Especificos à Máquina mais comuns [BUR01] [LTE01] [OPE86] [LIN01].

Aqui cabem ser feitas as seguintes considerações:

- Comparando-se com os demais grupos, os sistemas Especificos à Máquina são os que apresentam melhor eficiência, devido ao seu potencial de resolução direta dos problemas envolvidos no corte de chapas na máquina em questão;
- Uma característica muito relevante deste grupo é a possibilidade de comunicação com outros sistemas, via interfaces de comunicação. Se tal característica não for observada, corre-se o risco de isolar o sistema, impossibilitando sua integração com outros, visando maior

grau de automação futura;

- . Para usuários que tenham necessidade de aquisição de um sistema que atenda não só ao corte de chapas, estes sistemas são os menos adequados devido as suas características de especificidade;
- . Se houver necessidade de troca de fornecedor da máquina de corte, o sistema que a atende deverá provavelmente ser trocado, o que não ocorre com os grupos anteriores que geralmente são apenas adaptados;
- . Pela natureza estrangeira destes sistemas, valem as observações feitas para os grupos anteriores, quanto ao treinamento e assistência técnica;

2.5.4 - A PROBLEMATICA DO NESTING

Apesar do nesting automático representar um forte apelo comercial, a sua real utilização fica melhor justificada considerando-se alguns parâmetros:

- . Após a aquisição de um sistema CAD/CAM o gargalo da produção deixa de ser a etapa de Preparação e passa para a Fabricação. Nestes casos não se justifica a utilização de um nesting automático, que reduziria ainda mais o

tempo de Preparação sem reduzir o tempo total da Produção.

. Mesmo que o tempo gasto na execução de um encaixe por um sistema de nesting automático seja inferior ao tempo gasto pelo interativo, a prática tem demonstrado que o aproveitamento obtido pelo segundo ainda, na maioria dos casos, é melhor.

. A maioria dos sistemas que oferecem o nesting automático necessitam também do nesting interativo para arranjos finais.

. Devido a alta complexidade dos programas para nesting automático, existe uma exigência maior dos equipamentos quanto à maior velocidade de processamento e disponibilidade de memória.

3 - A PROPOSTA TECNOLÓGICA DO SISTEMA SAPRO

3.1 - INTRODUÇÃO

Para melhor entender a proposta e os objetivos deste trabalho, faz-se necessário conhecer antes, alguns fatores que levaram à elaboração do mesmo. Estes fatores são, na verdade, uma sequência de acontecimentos que podem ser explicados analisando a situação do Mercado Nacional, a Política de Desenvolvimento Tecnológico, e a Relação Universidade-Empresa.

3.1.1 - O MERCADO NACIONAL

A indústria metal-mecânica nacional dispõe atualmente de aproximadamente 820 máquinas de corte de chapas, por processos termo-químicos. A alimentação destas máquinas ocorre mais significativamente, por três métodos nas seguintes proporções¹:

- . Optico-pantográfico (98 %);
- . Comando Numérico Computadorizado (1 %);
- . Sistemas CAD/CAM (1 %);

Vale ressaltar que tais sistemas CAD/CAM possuem a característica predominante de serem Genéricos e com isto, trazerem as desvantagens já citadas em capítulo anterior.

Acredita-se que este quadro proporcional apresentado pelo Mercado Nacional atual, sofreu diretamente a influência da antiga política nacional para desenvolvimento tecnológico.

3.1.2 - A POLÍTICA NACIONAL DE DESENVOLVIMENTO TECNOLÓGICO

Embora, nos dias de hoje, exista uma tendência de abertura das fronteiras brasileiras para entrada de produtos estrangeiros,

¹ - Fonte: White Martins Soldagens.

a política de desenvolvimento tecnológico no Brasil, há algum tempo atrás, se pautava pela necessidade de reduzir as importações, buscando soluções nacionais para resolver problemas da indústria brasileira, mesmo que já existissem tais soluções no exterior. Esta política provocou um defasamento tecnológico da indústria nacional, que não podia dispor das soluções mais avançadas, à menos que apresentasse provas de que tais soluções não possuíam similaridade nacional.

Em contrapartida, esta mesma política provocou uma aproximação Universidade-Empresa, até certo ponto inédita, na busca de soluções alternativas.

3.1.3 - RELAÇÃO UNIVERSIDADE-EMPRESA

Um exemplo desta aproximação ocorreu entre o Grucon e a empresa White Martins Soldagens (WMS). O Grucon já possuía um histórico no desenvolvimento de um sistema CAD/CAM, notadamente voltado para indústria do vestuário [SPI89]. Muitas das características de tal sistema, encontravam uma aplicação semelhante na indústria metal-mecânica.

A WMS promovia, ao mesmo tempo, o desenvolvimento de uma família de equipamentos, denominados AutoCut, voltada para corte de chapas [WHI01]. Tais equipamentos utilizam um comando numérico

nacional com características adequadas para controlar o processo termo-químico. Estes desenvolvimentos levaram a WMS à direcionar esforços no sentido de oferecer, junto com as máquinas Autocut, uma ferramenta adequada de programação NC. A WMS verificou também a necessidade de perfeito domínio da tecnologia desta ferramenta, uma vez que, seriam necessárias frequentes alterações, já que as suas máquinas encontravam-se em constante estado de evolução.

Como resultado da união Grucon / WMS, deu-se início a busca de uma solução, na tentativa de melhor suprir o Mercado Nacional, no que se refere à alimentação de máquinas para corte de chapas. Este esforço conjunto, resultou no projeto SAPRO descrito na sequência.

3.2 - A PROPOSTA SAPRO

O presente trabalho visa o desenvolvimento de um Sistema Gráfico Interativo, ou sistema CAD/CAM, denominado SAPRO vs CHAPAS (Sistema de Apoio à Produção versão Corte de Chapas).

As principais diretrizes que regem este projeto são:

- . Possibilitar às indústrias nacionais do setor metal-mecânico, acesso às tecnologias CAD/CAM para corte de chapas, acreditando-se com isto, atender a uma

considerável faixa de empresas do Mercado Nacional carentes de tais tecnologias;

- . Atender de imediato as necessidades das máquinas Autocut, mais especificamente, o controle dos processos Oxi-corte, Plasma, Marcação por Óxido de Zinco e Marcação Pneumática (ou Puncionadeira);
- . Oferecer uma solução com desempenho e qualidade adequados, para fazer frente à concorrência com os sistemas estrangeiros.

Para melhor entender as principais características do sistema proposto, nada mais conveniente que compará-lo com os sistemas descritos no capítulo anterior.

3.2.1 - COMPARAÇÃO DA PROPOSTA SAPRO COM OUTROS SISTEMAS

Para concepção do SAPRO, tomou-se como premissa principal assimilar as principais vantagens dos Sistemas já existentes, complementando-o com recursos adicionais.

Devido à necessidade de atendimento imediato aos requisitos das máquinas Autocut, o SAPRO foi concebido inicialmente obedecendo as características dos Sistemas Específicos à Máquina. Tal abordagem garantirá:

- . Alta eficiência na resolução dos problemas específicos das máquinas Autocut.

Para contornar as deficiências já abordadas dos Sistemas Específicos à Máquina, o SAPRO foi posteriormente direcionado para a concepção dos Sistemas Específicos ao Processo, anexando-se ao mesmo, as seguintes vantagens:

- . Inserção de conceitos tecnológicos referentes ao processo de corte termo-químico, favorecendo assim, a adaptação do SAPRO ao processo produtivo e funcional das empresas;
- . Devido as características de modularização dos Sistemas Específicos ao Processo, o SAPRO poderá oferecer maior facilidade de adequação às necessidades do usuário;
- . Uma vez que os recursos referentes ao processo de corte são explicitados, o treinamento dos usuários se tornará mais eficiente e objetivo.

Além das características acima apresentadas, o SAPRO congrega ainda as seguintes vantagens, devido a seu desenvolvimento nacional:

- . Maior facilidade na manutenção do mesmo, principalmente no que se refere à adequação de requisitos específicos das empresas;

- . Documentações, principalmente manuais, em língua portuguesa, derrubando uma possível barreira dos usuários em potencial (técnicos e operadores de máquinas NC);

Algumas características específicas do SAPRO, que o difere dos demais Sistemas, também devem ser citadas:

- . Observância à Tecnologia de Grupo oriunda dos sistemas Genéricos. Tal conceito estará presente em vários módulos do sistema;
- . O SAPRO possui recursos que gerarão estatísticas referentes aos processos envolvidos, auxiliando o acompanhamento financeiro e administrativo da produção;
- . Um dos módulos do SAPRO oferecerá recursos para controle de estoques e otimização de seleção de chapas para o corte, bem como aproveitamento de sobras;
- . O SAPRO possui um módulo que facilitará o controle dos recursos oferecidos pelo equipamento onde o sistema reside. Para controle destes recursos utilizar-se-á uma interface gráfica que liberará o usuário do conhecimento prévio do sistema operacional para realizar tarefas secundárias, necessárias ao bom funcionamento do sistemas, tais como: liberação de espaço de memória, configuração de periféricos, cópias de segurança e outros.

Para melhor detalhar a abrangência deste trabalho e entender os aspectos mais práticos, apresenta-se na sequência a situação atual e a situação proposta pelo SAPRO.

3.3 - SITUAÇÃO ATUAL

Procurando analisar a situação verificada na prática, desenvolveram-se registros² das operações envolvidas com máquinas de corte. Tais registros levaram a dois resultados. O primeiro, refere-se às máquinas equipadas com copiador óptico-pantográfico, o segundo refere-se à uma máquina com um CNC acoplado.

A situação encontrada nestes dois estudos pode ser resumida pelo fluxo mostrado na figura 3.1 e descrita no texto que se segue.

² - Informações obtidas de visitas, [HIR01] e [BAT89].

obtida após pesquisas de mercado e pesquisas de tendências, feitas por especialistas geralmente da área de marketing da empresa.

ii) Desenvolvimento dos Projetos Técnico-Mecânicos (item B da figura 3.1)

Estes projetos são obtidos valendo-se da utilização de pranchetas, do trabalho de técnicos em desenho e da supervisão de engenheiros mecânicos. Constam destes projetos um detalhamento geométrico e informações complementares dos componentes (peças) do produto.

iii) Análise de Custos (item C da figura 3.1)

Para concretização desta etapa é fundamental o conhecimento de determinados dados de cada peça, a saber: área, perímetro, aproveitamento individual³, material, outros. Baseando-se nesses dados pode-se obter estimativas de custos do produto. Se este custo se mostrar pouco atrativo, os projetos passam por um refinamento, retornando a fase anterior, onde os mesmos são alterados até que obtenham a aprovação, resultando no desenho definitivo das peças.

³ - proporção entre a área da peça e a menor figura quadrilátera que circunscreve a peça.

iv) Pedidos para Manufatura das Peças (item D da figura 3.1)

Aqui se formaliza o fim da fase de projetos, sendo emitido, então, um pedido referente a um lote de peças para o setor de fabricação, seguindo anexo os projetos técnico-mecânicos. Para a formação deste Lote existe um estudo que visa otimizar e agilizar o corte das peças em função de outros produtos que a empresa já possui, ou seja; torna-se comum uma chapa ser utilizada para dela se cortar peças de produtos diferentes.

3.3.2 - SETOR DE FABRICAÇÃO

v) Confeção de Modelos em Escala (item E da figura 3.1)

O primeiro passo no setor de fabricação é criar gabaritos em escalas geralmente 1:1 ou 1:10, utilizando-se poliéster apropriado para este fim. Estes gabaritos são usados como elementos de guia para o sistema copiador óptico-pantográfico.

vi) Encaixe (item F da figura 3.1).

Nesta etapa define-se o plano de corte à partir de uma chapa preestabelecida. Neste plano apresenta-se a

distribuição desejada para as peças na chapa selecionada, ou seja, o nesting. Isto se faz necessário para que se tenha o melhor aproveitamento possível da matéria-prima. Notou-se que esta etapa fica muitas vezes por conta do próprio operador da máquina de corte.

vii) Preparação da Máquina (item G1 da figura 3.1)

Uma vez fornecidos ao operador da máquina o plano de corte e os gabaritos de poliéster, são executadas uma série de atividades preparatórias: O operador solicita ao almoxarifado a chapa designada, posiciona a chapa na mesa de corte, distribui os gabaritos um a um na mesa de cópia, de acordo com a definição do plano de corte, posiciona o copiador e maçarico segundo distância preestabelecida e, finalmente, executa os procedimentos de ajuste de pressão e regulagem do maçarico de corte.

viii) Produção das Peças (item H1 da figura 3.1)

Efetiva-se a produção e promove-se a retirada das peças cortadas e o armazenamento do plano de corte e dos gabaritos. O correto armazenamento dos gabaritos garante sua reutilização futura, sendo por isso de grande importância tal cuidado.

ix) Programação NC (item G2 da figura 3.1)

Com o nesting mais os projetos técnico-mecânicos

envolvidos, determinam-se os requisitos para o processo de fabricação na máquina CNC, ou seja: define-se a trajetória das ferramentas e o controle de dispositivos adicionais. Esta etapa é executada por pessoal especializado com formação principalmente em Programação NC. Geralmente estes especialistas utilizam algumas ferramentas computacionais para edição e simulação de seus programas.

x) Geração da Fita NC (item H2 da figura 3.1)

Gera-se a Programação NC, em meio legível pelo CNC, através de sistemas computacionais, ou digita-se em equipamento apropriado esta programação. A forma mais usual de transferência do programa é através da fita NC, uma vez que a maioria dos CNCs estão equipados com leitoras adequadas.

xi) Try-out (item I2 da figura 3.1)

Esta etapa do processo representa um teste da programação, colocando-se em funcionamento o equipamento de oxi-corte com a fita NC gerada anteriormente. Observando-se a ocorrência de erros, retorna-se a fase de programação NC para as devidas alterações, resultando na geração da Fita NC definitiva.

xii) Produção das Peças (item J2 da figura 3.1)

Da mesma forma que para máquinas com copiador óptico-pantográfico, efetiva-se a produção e promove-se a retirada

das peças cortadas e o armazenamento do plano de corte e da fita NC.

3.3.3 - PRINCIPAIS PONTOS A SEREM CORRIGIDOS

Constaram-se os seguintes principais problemas:

- . Os projetos técnico-mecânicos confeccionados em pranchetas usuais são passíveis de erros além de apresentarem pouca flexibilidade de alteração devido a natureza dos instrumentos;
- . Os dados citados na fase de Análise de Custos são obtidos com dificuldade e demora. Além do mais, as técnicas utilizadas para obtenção dos valores tornam a análise de custos muito vulnerável a erros humanos;
- . A Confecção de Miniaturas bem como o Encaixe ocorrem quase que artesanalmente, havendo normalmente dificuldades para se conseguir tolerâncias apertadas (já que um erro na miniatura é ampliado na peça cortada em tamanho real) e evitar desperdício do material;
- . A utilização de máquinas de corte com copiador óptico-pantográfico depende intensamente do seu operador, reduzindo a eficiência de seu ciclo de trabalho

[BAT89].

- . A mudança frequente de gabarito e os ajustes constantes do dispositivo de corte, provocam uma perda de tempo que se sobrepõe ao tempo gasto na execução do corte em si, reduzindo conseqüentemente a produtividade [BAT89].
- . O tempo gasto, bem como o custo envolvido, no ciclo Programação / Elaboração Manual do Programa NC / Try-out são altos e dispendiosos. Este ciclo caracteriza um dos pontos mais críticos no desenvolvimento do processo de fabricação. Os erros na programação são frequentes fazendo com que, além de muito tempo envolvido, tenha-se o gasto com os materiais para os testes.
- . Observou-se que o tempo dispendido para a preparação do processo de fabricação é muito representativo (55 %), comparando-se ao tempo total de produção [BAT89].
- . Observou-se que a produção depende muito da experiência de técnicos e funcionários, tornando possível a existência de perdas de produtividade devido a escassez de pessoal especializado.

3.4 - SITUAÇÃO PROPOSTA

A figura 3.2 mostra o ciclo produtivo com a utilização do Sistema SAPRO proposto.

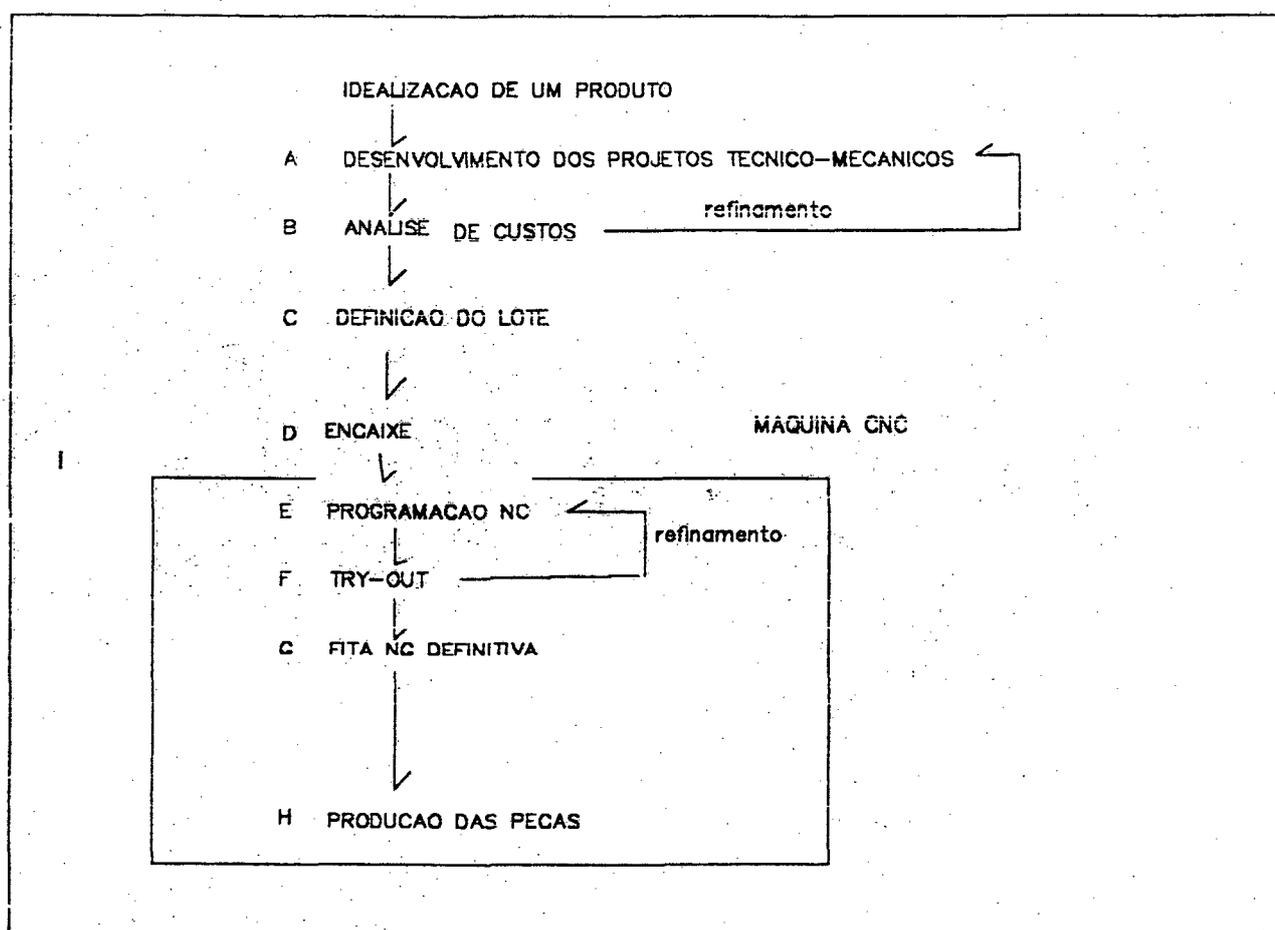


Figura 3.2 - Esquema básico do processo de corte de chapas metálicas pela utilização do SAPRO.

- i) Desenvolvimento do Projeto Técnico-Mecânico (item A da figura 3.2)

Nesta etapa o sistema oferece condições para que o usuário, utilizando-se de recursos gráficos interativos,

possa definir a geometria das peças. Poder-se-á fornecer, de imediato, valores tais como: área, perímetro, aproveitamento individual e outros.

ii) Análise de Custos (item B da figura 3.2)

Como no processo atual, esta etapa é baseada nos valores obtidos na etapa anterior, que promoverá ou não a aprovação econômica dos projetos.

iii) Definição do Lote (item C da figura 3.2)

Utilizando as mesmas estratégias para formação dos Lotes no processo convencional, nesta etapa, relacionar-se-á as peças a serem cortadas através de um editor apropriado.

iv) Encaixe (item D da figura 3.2)

A realização da etapa de Encaixe poderá ser obtida através de recursos interativos que possibilitem a distribuição das peças sobre uma chapa de matéria-prima previamente escolhida.

v) Sequência de Corte (item E da figura 3.2)

Definido o encaixe, o usuário poderá gerar, também de forma gráfica interativa, a sequência de corte das peças. Esta sequência poderá ser gerada automaticamente, minimizando o trajeto da ferramenta e observando as possibilidades de

deformação⁴ da chapa.

vi) Programação NC (item F da figura 3.3)

Uma vez definida a sequência de corte, poder-se-a gerar automaticamente a programação, por comando numérico (NC), através de um sistema computacional apropriado.

vii) Fita NC (item G da figura 3.2)

Uma vez obtida a programação NC poderá ser gerado de imediato a fita NC em equipamento próprio.

viii) Try-out (item H da figura 3.2)

Este processo ocorre como no processo convencional. No entanto, antes de realizar o Try-out propriamente dito, o usuário poderá realizar uma série de simulações gráficas, onde os erros, quando houver, poderão ser detectados e eliminados na maioria dos casos.

ix) Fita NC ou DNC (item I da figura 3.2)

Aqui se tem o resultado final das etapas anteriores. A fita NC definitiva será gerada ou, se convier às indústrias, poderá ser utilizada a tecnologia DNC⁵.

⁴ - causada pela aquecimento excessivo da chapa, quando a ferramenta atua numa mesma região por tempo muito longo.

⁵ - Esta tecnologia ainda não está disponível no SAPRO, sendo necessário a utilização de um outro sistema acoplado para efetivar seu uso.

3.4.1 - PROPOSTA DE CORREÇÃO

Os problemas, outrora citados, serão corrigidos ou amenizados, dado às características de um sistema como o proposto, podendo-se, de imediato, relacionar os seguintes benefícios:

- . Na fase de Desenvolvimento do Projeto, com a introdução da tecnologia CAD (Computer Aided Drafting), substitui-se o uso de pranchetas por recursos mais flexíveis, mais precisos e muito mais rápidos;
- . Na fase de Análise de Custos, o refinamento se mostrará mais eficiente devido, entre outras coisas, à velocidade, à precisão e à flexibilidades na obtenção e precisão dos valores envolvidos;
- . Na fase de Definição de Lotes não se fará mais necessário a anexação dos projetos técnico-mecânicos, já que o sistema poderá fornecer dispositivos de armazenamento adequados;
- . Na etapa de Encaixe não se fará mais necessária a Confecção das Modelo Escalonados, nem a cópia da distribuição das peças sobre a chapa;
- . O ciclo Programação NC / Fita NC / Try-out, que representa uma parcela considerável dos maiores problemas

encontrados no processo de fabricação atual, será amenizado. Tais problemas serão pelo menos reduzidos, quando não eliminados, pela atuação de um sistema gráfico interativo. Os erros de programação serão mínimos e o tempo de refinamento será sensivelmente menor, devido às características do sistema CAM proposto;

- . Talvez o mais importante dos benefícios dos sistemas CAD/CAM, onde o SAPRO se inclui, seja o aspecto organizacional mais consistente e seguro. Esta característica advém de qualquer sistema informatizado, por oferecer meios mais rígidos e seguros para controle das informações e procedimentos.

4. - MODELO CONCEITUAL

Neste capítulo será mostrada a base conceitual que suportou o desenvolvimento do SAPRO. A abordagem ocorre de forma superficial, com função principal de apresentar os requisitos funcionais dos principais processos que formam o SAPRO. A execução destes processos está melhor exposta no anexo 3 na forma de ensaios.

Vale ressaltar que no anexo 2 encontra-se uma descrição dos recursos necessários ao desenvolvimento do SAPRO, bem como os recursos necessários à sua execução. Tal descrição compreende principalmente a versão workstation, uma vez que foi a que precedeu a versão personal computer. Contudo, os conceitos que serão apresentados são válidos para ambas as versões.

4.1 - A COMPUTAÇÃO GRÁFICA

Conceitualmente, a Computação Gráfica (C.G.) constitui-se na principal referência para o desenvolvimento do SAPRO.

Numa definição mais acadêmica, a C.G. pode ser considerada como uma área da Ciência da Computação que estuda a geração, manipulação e interpretação de imagens por meio de computadores [FOL82] [PER86].

Por não se tratar do objetivo deste trabalho, a C.G. não será abordada em profundidade. Contudo uma relação consistente de suas aplicações, pode ser encontrada em [FOL82] [TEI85].

As características de software e hardware para a C.G. podem ser encontrados em [NEW79] [CUN87], bem como técnicas básicas em [FOL82] [HAR83] [NEW79]. Tais técnicas, promovem a diminuição do cálculo computacional, o aumento da consistência dos dados, a simplificação matemática e facilitam a representação e tratamento numérico [HIL78].

Com importância semelhante, a C.G. trata de outros tópicos, tais como: pacotes gráficos [WEL80], padronização e portabilidade [CUN87] [GIG86] [CLA84]. Todos estes conceitos são utilizados intensamente no SAPRO.

4.2 - IDENTIFICAÇÃO DO MODELO SAPRO

O modelo conceitual do SAPRO consiste na observação de requisitos tecnológicos e computacionais dos sistemas CAD/CAM, expostos principalmente no anexo 1. Alguns destes conceitos podem ser resumidos na figura 4.1.

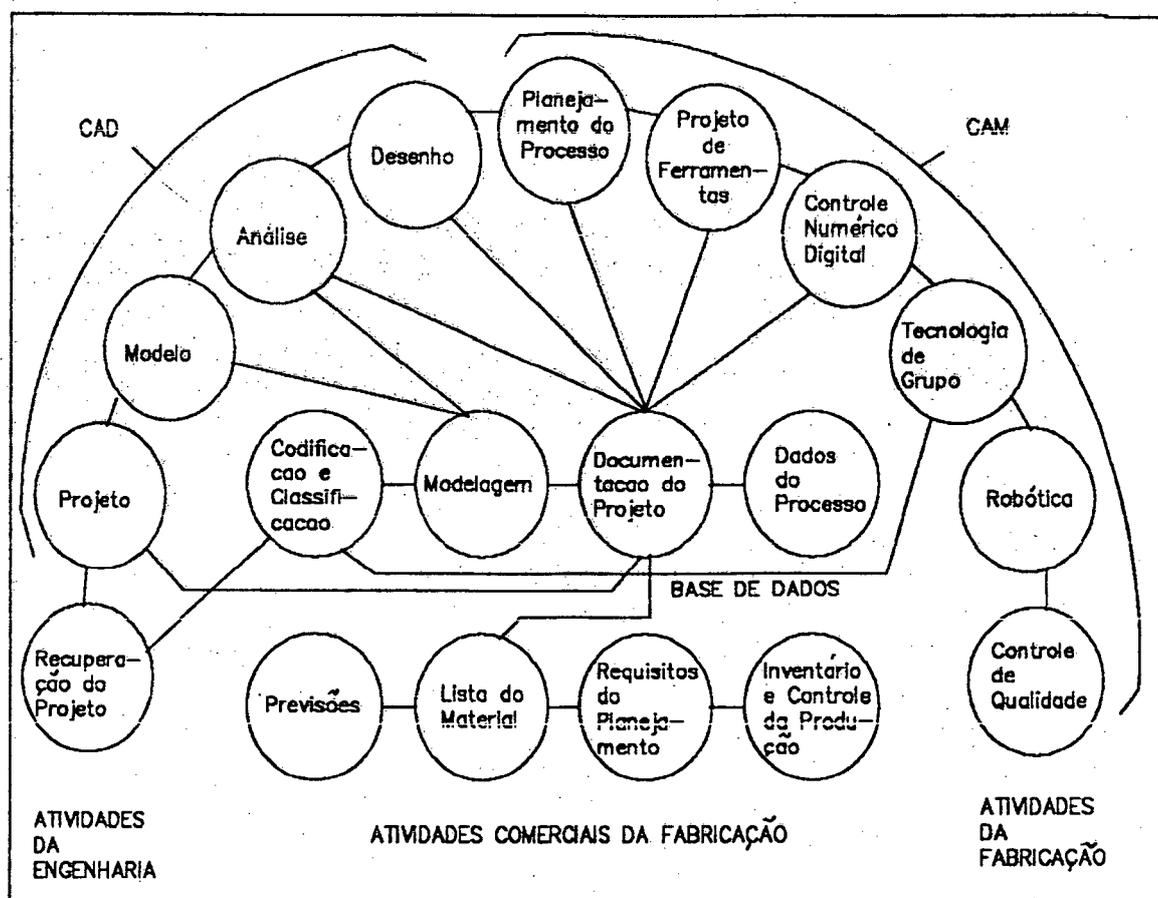


Figura 4.1 - Esquema dos principais conceitos dos sistemas CAD/CAM. (Adaptado [TEI85]).

Visando atender as necessidades, embora específicas, do SAPRO, estes conceitos influenciaram fortemente na sua concepção, ficando seus módulos caracterizados da seguinte forma:

. CAD : SPDF (SAPRO Desenho)
 SPDL (SAPRO Definição de Lotes)
 SPEN (SAPRO Encaixe)

. CAM : SPSC (SAPRO Seqüência de Corte)
 SPNC (SAPRO Programação NC)

Para complementar a funcionalidade destes módulos, foi idealizado ainda a confecção de outros três módulos de igual importância aos anteriores. Tais módulos possuem a função de apoiar os demais, através de atividades que serão esclarecidas no decorrer deste texto, à saber:

. APOIO : SPSP (SAPRO Suporte Operacional)
 SPCE (SAPRO Controle de Estoques)
 SPES (SAPRO Estatística)

Fazendo uma analogia com a figura 4.1 tem-se, na figura 4.2, a esquematização dos módulos do SAPRO.

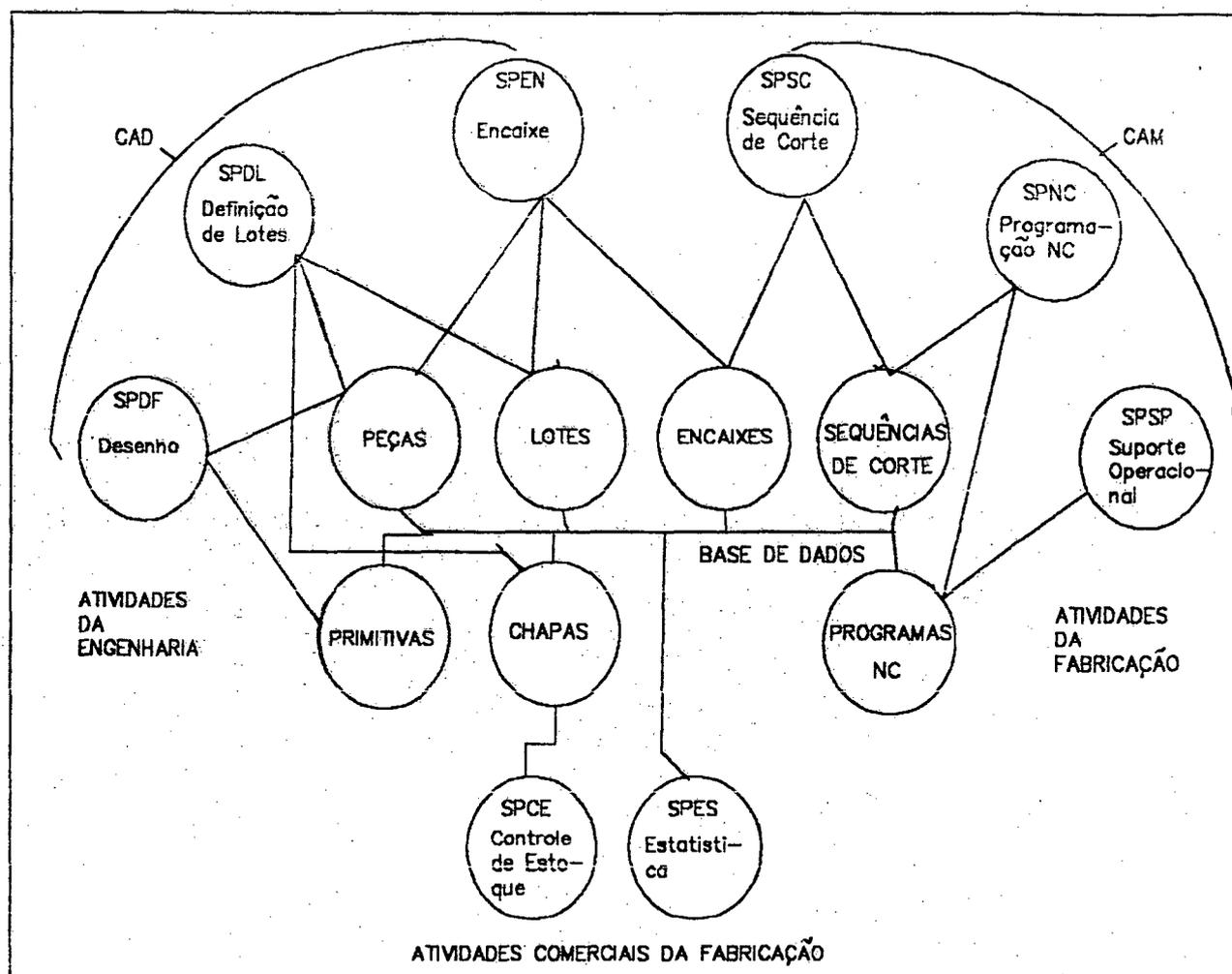


Figura 4.2 - Diagrama geral do SAPRO vs CHAPAS ressaltando seus principais módulos.

Considerando os aspectos anteriormente expostos, pode-se obter uma definição mais apropriada do SAPRO.

O SAPRO tem como propósito prover o usuário de recursos tais que, a partir da concepção de uma peça mais restrições de produtividade, obtenham-se de forma rápida e precisa, os respectivos projetos técnico-mecânicos das peças e o nesting destas peças sobre a chapa a ser trabalhada. O sistema também fornece, de forma automática, a programação NC responsável pela condução do processo de fabricação em máquinas AUTOCUT, objetivo final deste trabalho. Relatórios contendo informações relevantes ao usuário podem ser gerados.

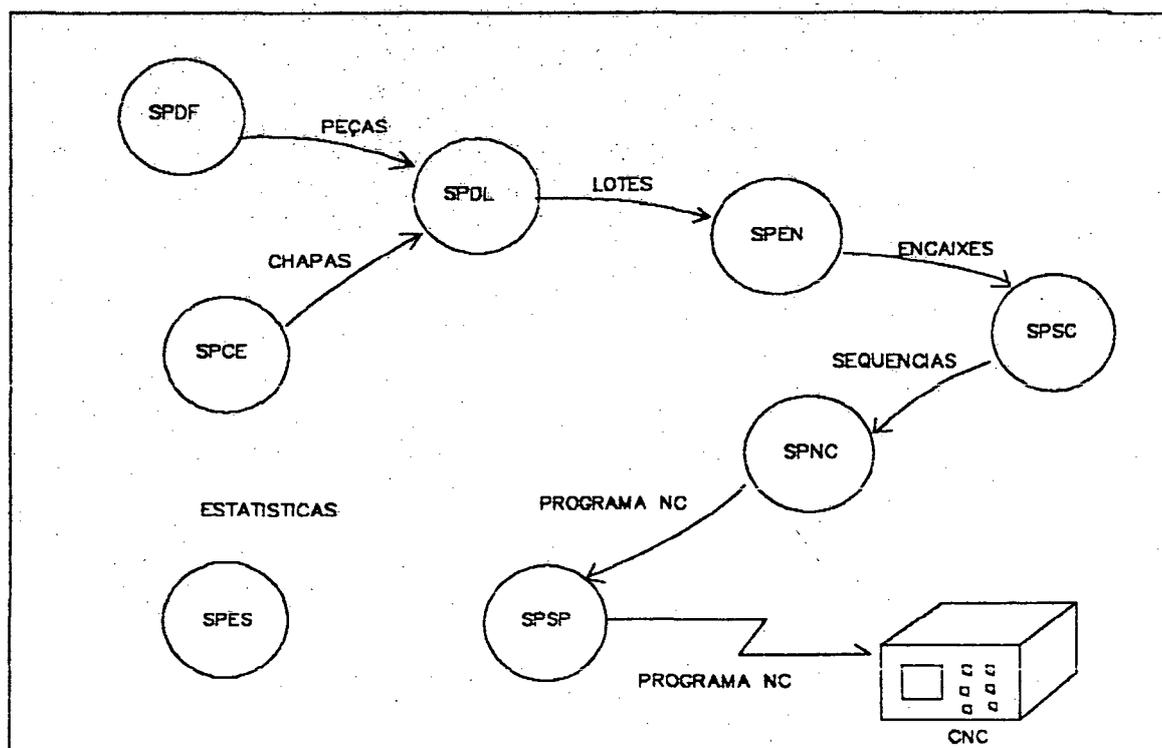


Figura 4.3 - Diagrama funcional do SAPRO observando a seqüência de atividades.

Para melhor entender estas atividades, pode-se observar a figura 4.3. Nela verifica-se um aspecto seqüencial na execução dos módulos do SAPRO, que será observado nas demais seções.

4.2.1 - MÓDULO SPDF (DESENHO)

Este módulo, o primeiro da seqüência a ser executado, pode ser caracterizado como um sistema Gráfico Interativo para orientação da entrada dos dados geométricos de uma peça para sua posterior produção. Mais especificamente este módulo compreende técnicas de Computação Gráfica comuns aos sistemas CAD. Como resultado da execução do SPDF, tem-se a inclusão da geometria concebida pelo usuário, o projeto técnico-mecânico da peça, no arquivo PECAS, com conseqüente cadastramento no arquivo CAD. PECAS. Verifique a figura 4.4.

Analisando em detalhe o SPDF verifica-se que seus recursos podem ser apresentados na forma de 9 grupos de funções, como mostrado pela figura 4.5 e explorados na seqüência.

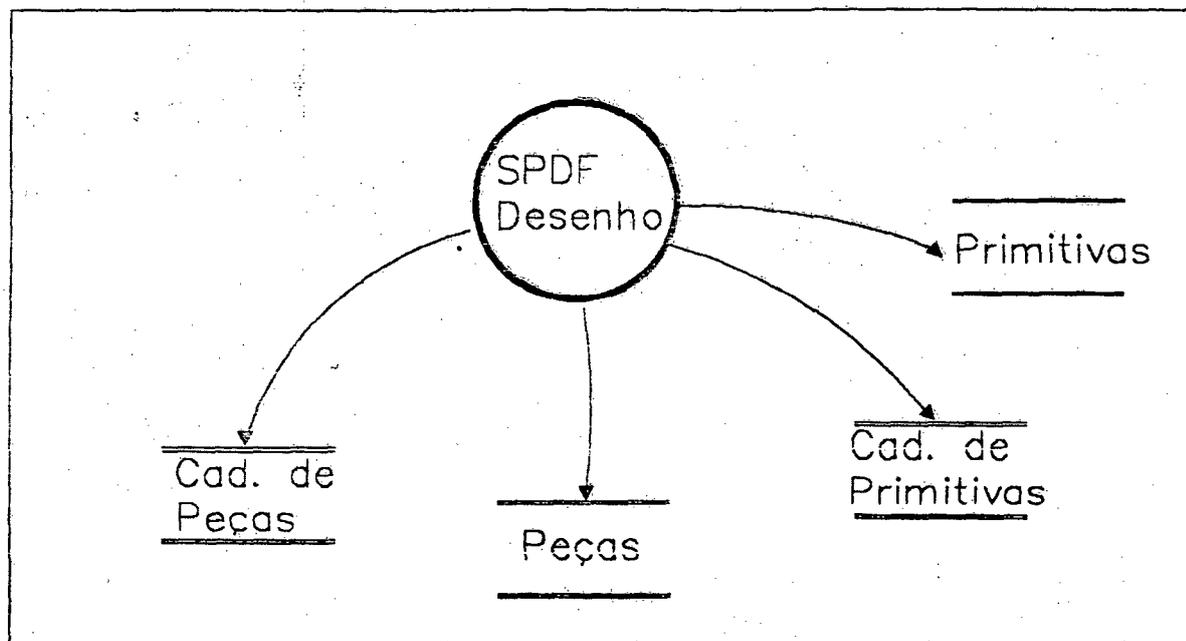


Figura 4.4 - Diagrama funcional do módulo SPDF. *Entrada:* interações com o usuário. *Processo:* desenho da peça. *Saída:* projeto técnico-mecânico da peça. *Arquivos:* CAD. PECAS - Cadastro das Peças e PECAS - Projetos técnico-mecânicos.

O SPDF torna disponível ao usuário o ambiente principal de desenho que pode ser verificado pela figura 4.6. A direita do ambiente principal, estão os ícones para a seção de desenho. A parte central fica reservada para visualização das peças. Na parte superior constam indicações para manter o usuário informado das ações interativas, bem como orientações para encaminhamento dos processos. Uma descrição mais detalhada e a execução dos recursos disponíveis no SPDF podem ser encontrados no anexo 3.1.

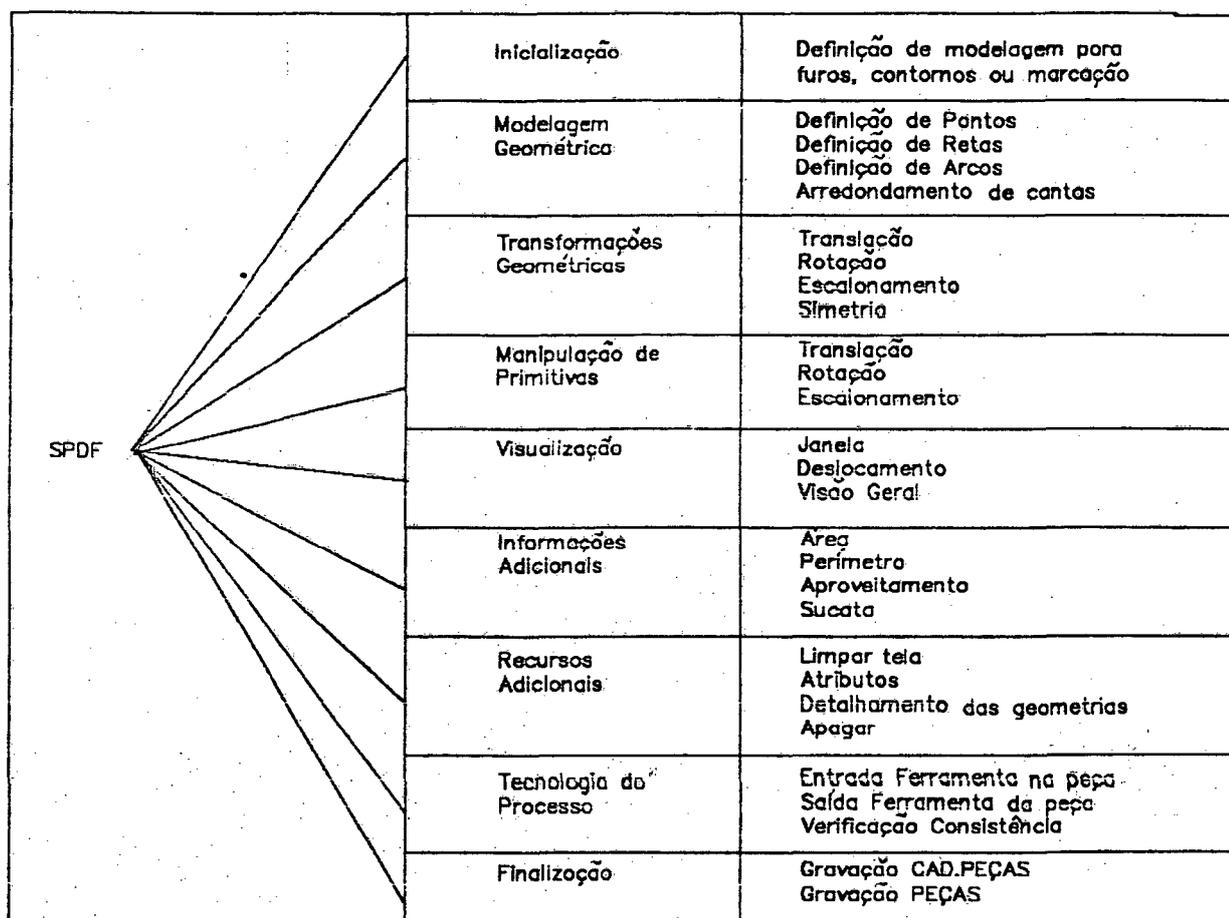


Figura 4.5 - Módulo SPDF em detalhe, mostrando seus principais grupos funcionais.

Alguns pontos conceituais do SPDF devem ser citados.

O SPDF pode ser considerado como um sistema tipo APT no que se refere à modelagem geométrica. Para definição dos recursos de modelagem geométrica, tomou-se principalmente como referência os sistemas APT/EXAPT (anexo 1.1.2). Grande parte das formulações matemáticas, necessárias à modelagem geométrica, tiveram considerável contribuição do sistema Interapt (anexo 1.2.1).

Acredita-se que, com esta estratégia, aproximar mais o SPDF das necessidades do projeto de peças mecânicas, bem como aproveitar a grande aceitação que os sistemas tipo APT têm no mercado, para promover, ao mesmo tempo, o SAPRO.

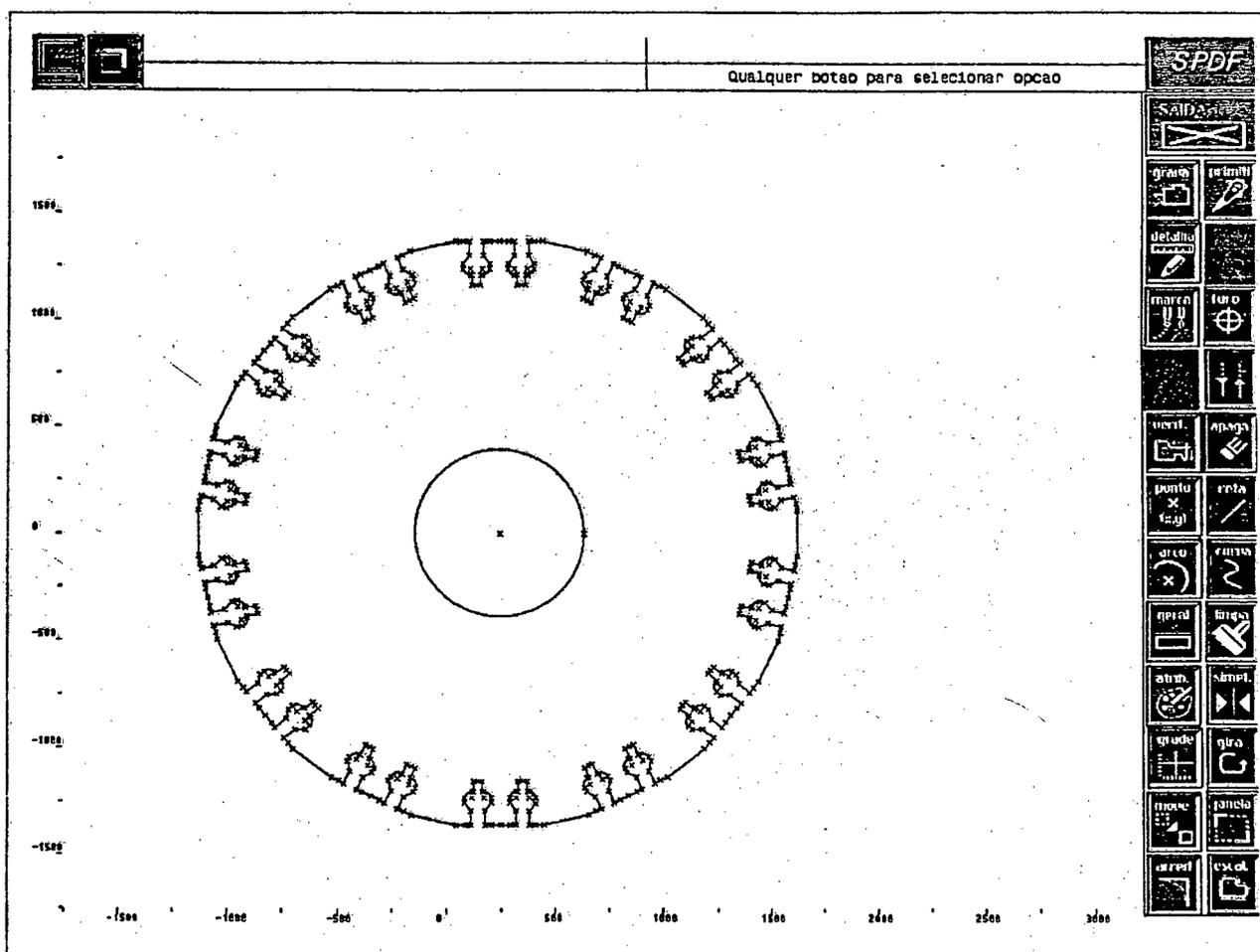


Figura 4.6 - Ambiente principal de desenho do SPDL.
(Exemplo extraído da Indústria BBC/SP).

Futuramente será agregado ao SPDF conceitos de Codificação e Classificação das peças, visando uma possível abordagem da

Tecnologia de Grupo (anexo 1.3), que será mencionada no estudo do módulo SPDL. Será atribuído a cada peça um código contendo as seguintes principais informações: tipo de material (chapa), processo de corte envolvido, processo de marcação envolvido, precisão necessária, à que produto pertence a peça, outros.

4.2.2 - MÓDULO SPDL (DEFINIÇÃO DE LOTES)

Basicamente este módulo se constitui num Editor Gráfico Interativo. O objetivo é permitir ao usuário a definição de um Lote, agrupando interativamente as peças relacionadas em uma Ordem de Produção. Como última atividade, este processo gera uma inclusão no arquivo de LOTES de uma Ordem de Produção e simultaneamente atualiza o arquivo CAD. LOTES, como indicado pela figura 4.7.

Os grupos funcionais que compreendem o SPDL podem ser verificados pela figura 4.8 e expostos na seqüência.

Estes grupos funcionais podem ser acessados pelo ambiente do módulo SPDL, mostrado na figura 4.9. A direita da relação das peças estão os ícones de edição. Uma descrição mais detalhada e a execução dos recursos disponíveis no SPDL podem ser encontrados no anexo 3.2.

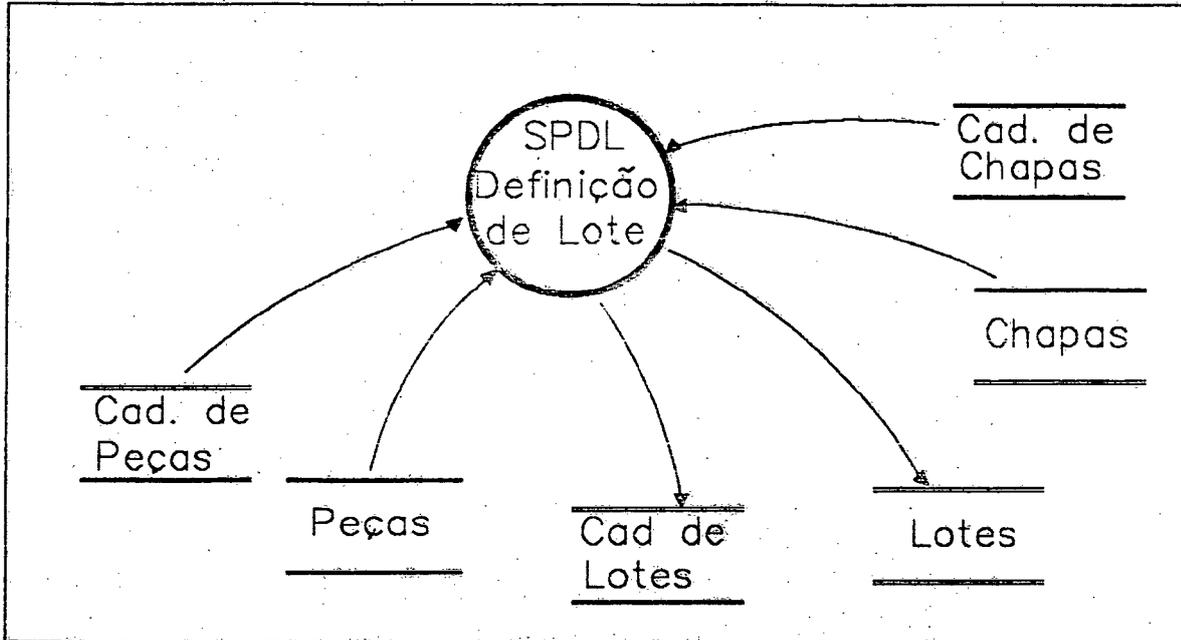


Figura 4.7 - Esquema Funcional do módulo SPDL. *Entrada:* CAD. PECAS, PECAS e interações com o usuário (Ordem de Produção). *Processo:* edição de um Lote. *Saída:* Lote. *Arquivos:* CAD. LOTES - Cadastro de Lotes, LOTES - relação das peças, CAD. CHAPAS - Cadastro de Chapas e CHAPAS - dimensões da chapa.

| | | |
|------|---------------|---|
| SPDL | Inicialização | Recupera Chapa Definição de Parâmetros |
| | Edição | Inclusão Alteração Exclusão, Paginação |
| | Finalização | Grava CAD.LOTES Grava LOTE |

Figura 4.8 - Módulo SPDL mostrando seus principais grupos funcionais.

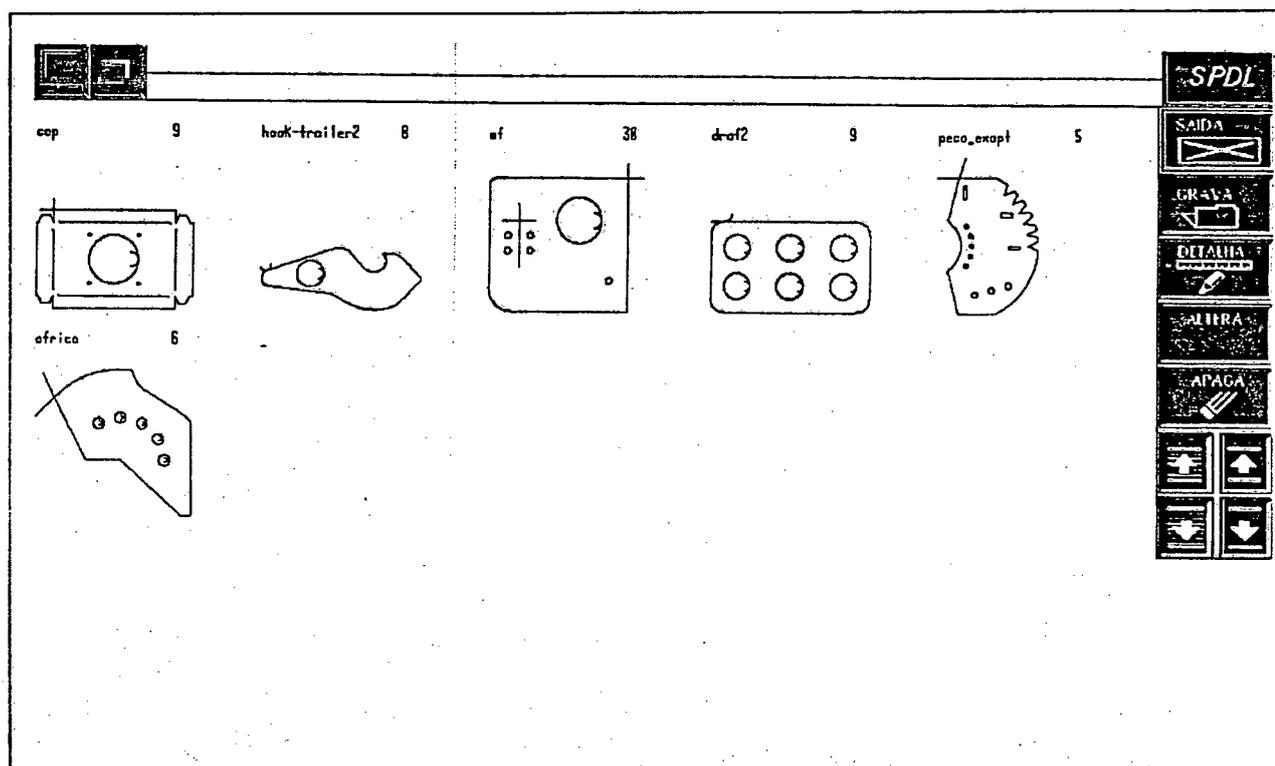


Figura 4.9 - Ambiente principal de edição do SPDL.

Conforme citado no final da seção anterior, com a atribuição de um código para as peças, de forma a representarem suas características, o SPDL poderá, futuramente, utilizar-se de conceitos de Tecnologia de Grupo (GT). Tal recurso possibilitará o desdobramento de uma Ordem de Produção em Lotes com características comuns, tais como: mesmo tipo de chapa, de processo de corte, de processo de marcação, mesma tolerância dimensional, etc.

Outro benefício desta abordagem refere-se ao aumento da consistência e confiabilidade dos Lotes. Com a utilização da Tecnologia de Grupo poder-se-á relacionar produtos ao invés de componentes, cabendo ao sistema verificar tais componentes. Com

isto, possíveis falhas de quantidades de peças e até mesmo ausência de algum componente, poderão ser evitadas.

Ainda, pela Tecnologia de Grupo, a pesquisa para utilização de chapas e sobras será otimizada, uma vez que os requisitos de corte serão comuns em cada Lote.

4.2.3 - MODULO SPEN (ENCAIXE)

Cabe a este módulo, tendo como elemento ativador o Lote previamente descrito, gerar os nestings. Estes nestings representam a disposição das peças sobre uma área retangular representativa da chapa, de modo a ocuparem o menor espaço possível. Esta atividade se reflete em um maior aproveitamento da matéria-prima e conseqüentemente em uma redução no custo do produto. Verifique a figura 4.10. Os nestings são obtidos de maneira confortável e rápida, através da interação do usuário com os recursos gráficos oferecidos. Como resultado final, este módulo gera as matrizes de transformações geométricas¹ que, quando aplicadas sobre a peça descrita no Lote, resulta na sua relativa disposição sobre a chapa. Tais matrizes são armazenadas no arquivo ENCAIXE e catalogadas no cadastro CAD. ENCAIXES.

¹ - Estas matrizes representam uma das técnicas da C.G. e reduzem enormemente a memória necessária e tempo de processamento das peças sobre o nesting. Verifique a secção 4.1.

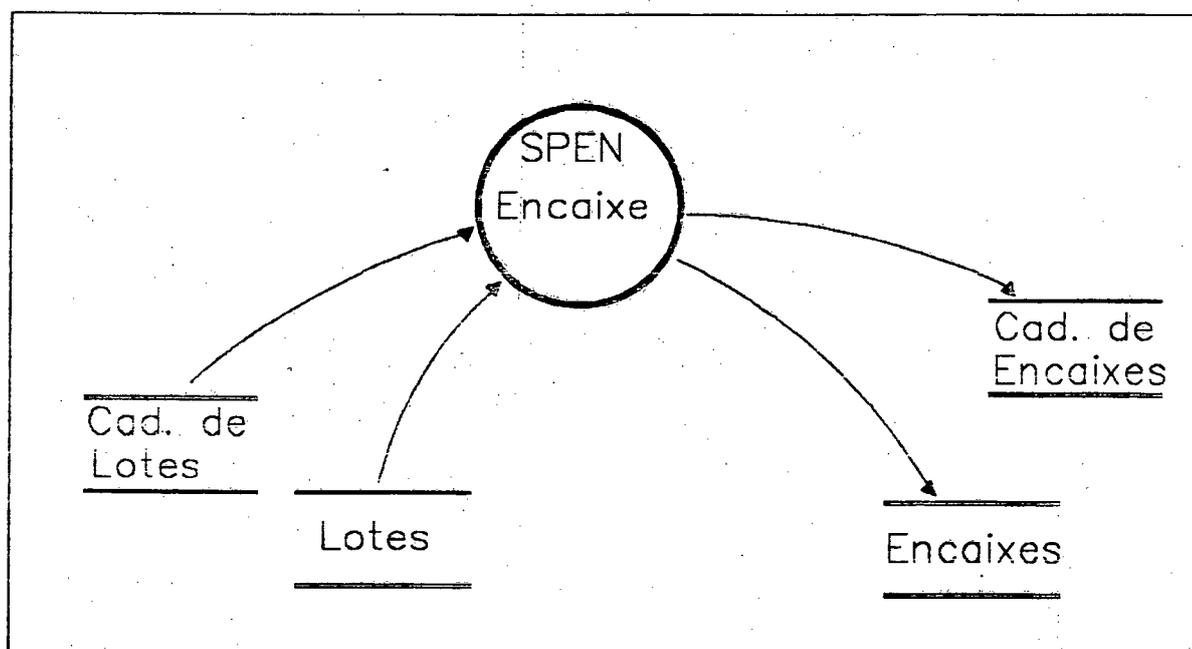


Figura 4.10 - Esquema funcional do módulo SPEN. *Entrada*: Lote e interações com o usuário. *Processo*: encaixe ("nesting"). *Saída*: Encaixe. *Arquivos*: CAD. ENCAIXE - Cadastro de Encaixes e ENCAIXES - matrizes de transformações geométricas orientando a disposição das peças sobre a chapa.

Para melhor descrever os recursos oferecidos pelo SPEN, pode-se observar os seus grupos funcionais pela figura 4.11.

A maior preocupação na confecção deste módulo foi a construção de um ambiente amigável e flexível ao usuário. Este ambiente pode ser observado pela figura 4.12. Na parte superior da tela está o Lote definido na fase anterior (SPDL). Ainda na parte superior, no canto direito, estão os ícones que ativam as diversas funções de interação. A faixa central da tela é

reservada para o processo de nesting propriamente dito. Abaixo desta faixa estão as Informações Adicionais que auxiliarão durante o processo. Uma descrição mais detalhada e a execução dos recursos disponíveis no SPEN podem ser encontrados no anexo 3.3.

| | | |
|------|---------------------|--|
| SPEN | Inicialização | Recupera Lote Definição de Parâmetros |
| | Movimentação | Translação Rotação Tombamento |
| | Visualização | Janela Deslocamento Com Distância entre peças Sem Distância entre peças |
| | Agrupamento | Translação de blocos Rotação de blocos Cópia de blocos Eliminação de blocos |
| | Recursos Adicionais | Sobreposição entre peças Área do encaixe Perímetro do encaixe Aproveitamento do encaixe Sucata |
| | Finalização | Grava CAD.ENCAIXE Grava ENCAIXE |

Figura 4.11 - Módulo SPEN mostrando seus principais grupos funcionais.

Atualmente o SPEN não dispõe de um submódulo para realização do nesting automático, por razões já expostas no capítulo 2. Contudo, as perspectivas do SPEN convergem para o desenvolvimento de tal recurso, com o objetivo de oferecer ao

usuário mais comodidade na confecção dos nestings e, ao mesmo tempo, agregar ao SAPRO um forte atributo de qualidade que garanta a competitividade com os sistemas estrangeiros.

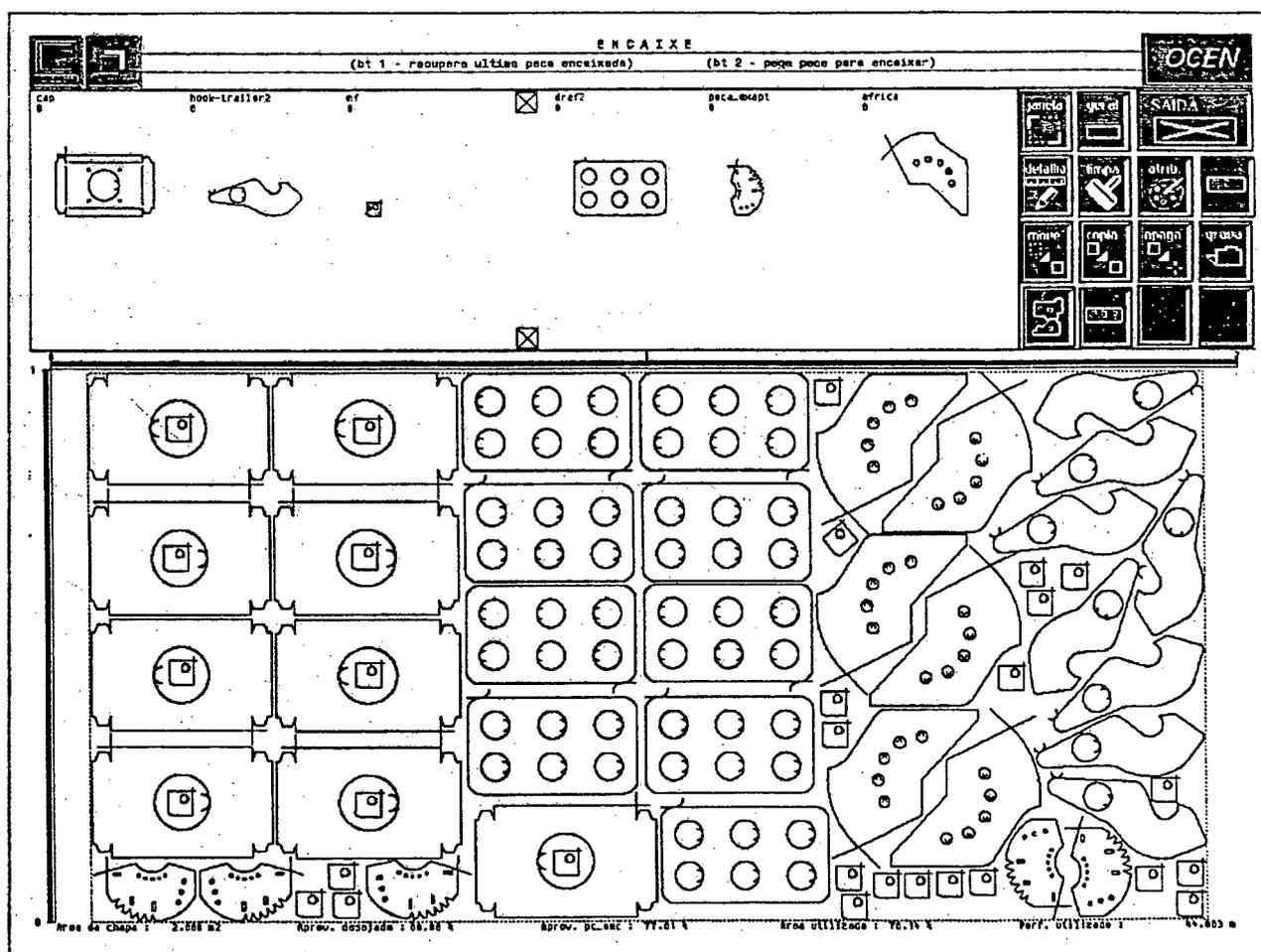


Figura 4.12 - Ambiente principal de trabalho do SPEN.

4.1.5 - MODULO SPSC (DEFINIÇÃO DA SEQUENCIA DE CORTE)

O SPSC pode também ser classificado como um Sistema Gráfico Interativo, que se destina a gerar automaticamente as seqüências de corte e marcação das peças. Isto se dá mediante o fornecimento do nesting preparado pelo SPEN. O SPSC ainda oferece um ambiente para edição das seqüências, se necessário, e executa simulações gráficas. Uma vez concluída a geração das seqüências, elas são armazenadas apropriadamente nos arquivos SEQ. CORTE e CAD. SEQ. CORTE. Veja figura 4.13.

Explorando um pouco mais os processos do SPSC, tem-se os seus grupos funcionais mostrados pela figura 4.14.

A forma de apresentação do ambiente SPSC é similar à do SPEN. Verifique a figura 4.15. Na parte central é exibido o nesting, na parte superior à direita estão os ícones que controlam o processo interativo. Uma descrição mais detalhada e a execução dos recursos disponíveis no SPSC podem ser encontrados no anexo 3.4.

Conceitualmente o SPSC sofreu grande influência dos sistemas tipo APT, mais especificamente no que se refere ao CLDATA (anexo 1.1.2). Pretende-se utilizar o formato² do CLDATA como padrão do arquivo SEQ. CORTE. Desta forma, o usuário terá mais um meio de comunicação com outros sistemas.

² - Sintaxe e semântica

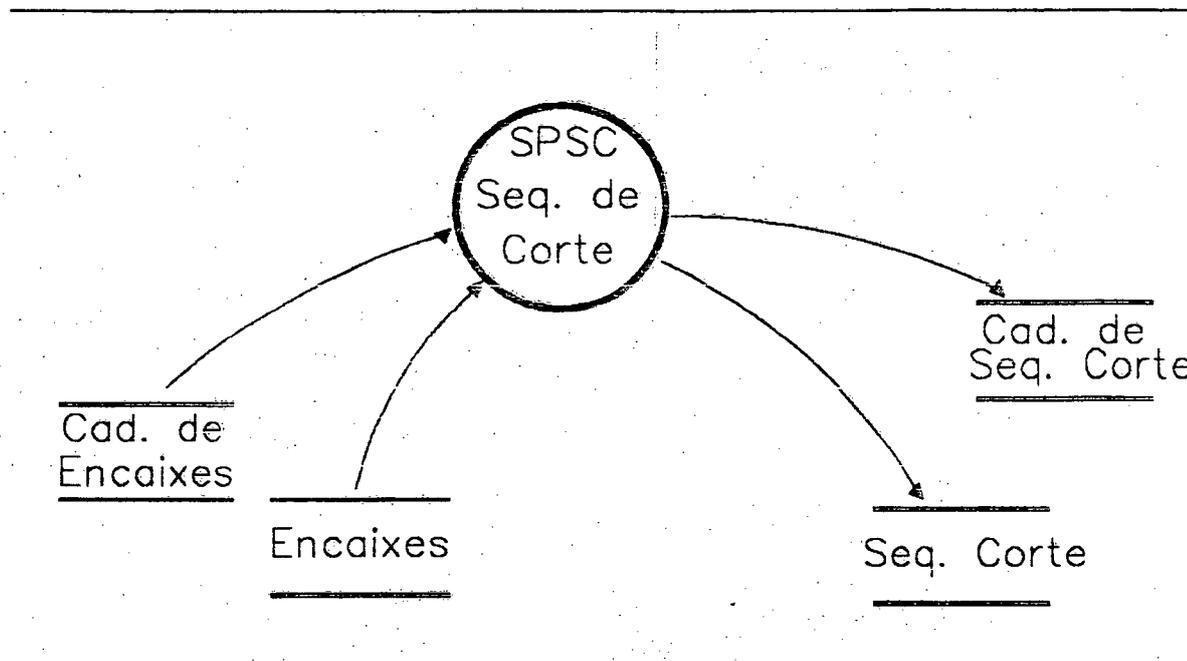


Figura 4.13 - Esquema Funcional do módulo SPSC. *Entrada:* nesting e interação com o usuário. *Processo:* sequencialização das peças para o corte. *Saída:* lista ordenada das matrizes de transformação das peças. *Arquivos:* CAD. SEQ. CORTE - Cadastro da Sequência de Corte e SEQ. CORTE - Sequência de Corte.

| | | |
|------|------------------------------------|--|
| SPSC | Inicialização | Recupera Encaixe Definição de Parâmetros |
| | Geração Automática de Sequência | Corte Marcação |
| | Geração Interativa de Sequência | Criação Exclusão |
| | Simulação | |
| | Visualização | Janela Deslocamento |
| | Finalização | Grava CAD.SEQUÊNCIA Grava SEQUÊNCIA |

Figura 4.14 - Módulo SPSC mostrando seus principais grupos funcionais.

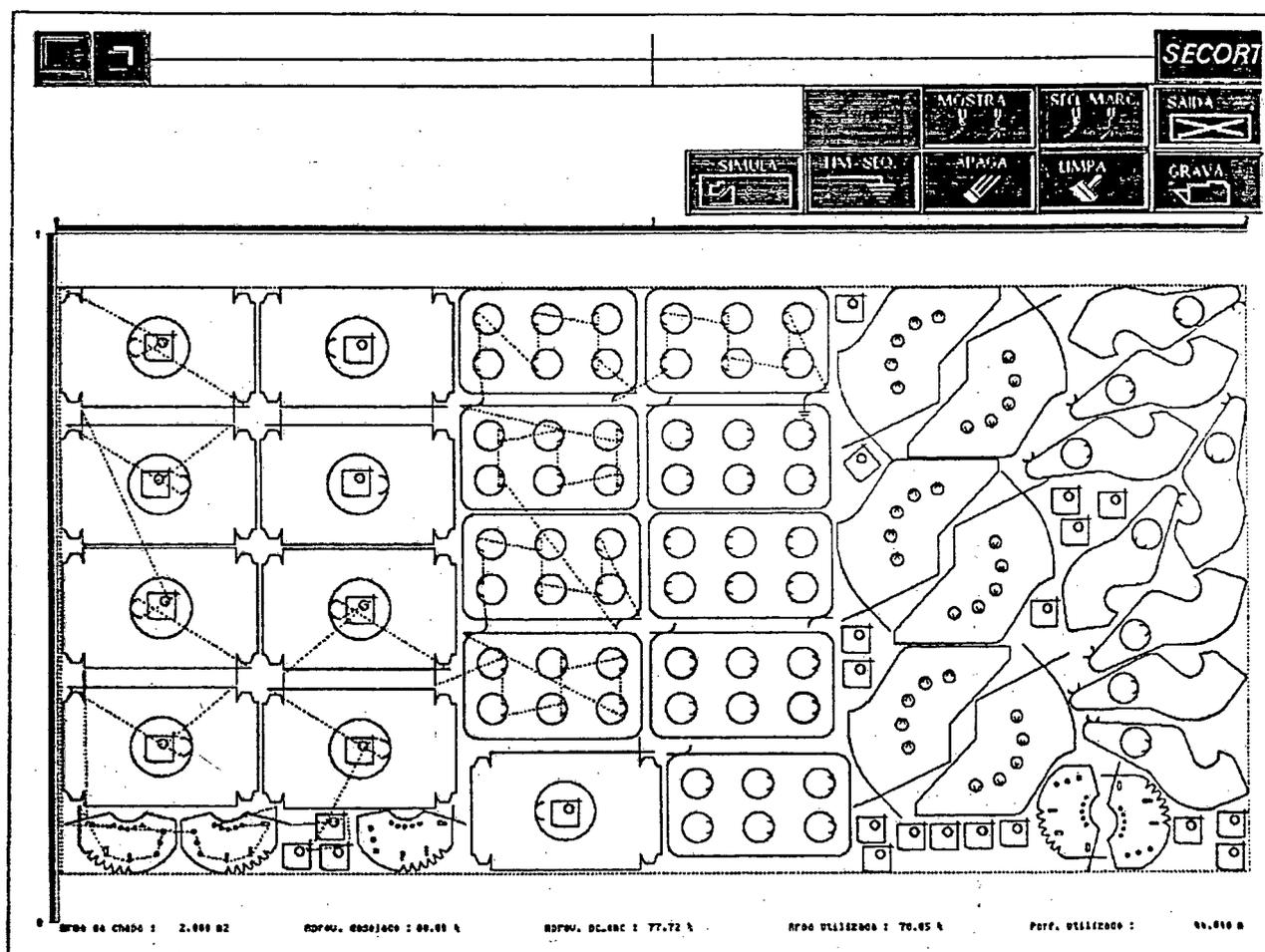


Figura 4.15 - Tela principal do SPSC mostrando o nesting do Lote selecionado.

4.1.6 - MÓDULO SPNC (PROGRAMAÇÃO NC)

Neste módulo conclui-se funcionalmente todo o processo a que se destina o SAPRO com a geração do programa NC (anexo 1.1.1), como mostrado pela figura 4.16. Uma vez obtida a Sequência de Corte, o usuário deve fornecer alguns parâmetros

tecnológicos referentes ao processo de corte, tais como: velocidade de avanço da ferramenta, velocidade de corte, tempo de pré-aquecimento, distância entre as ferramentas, etc. Com o conhecimento destes dados o SPNC pode gerar, de forma automática, o Programa NC correspondente. Alternativamente o usuário poderá requerer uma simulação conjunta com a geração do Programa para depuração visual do processo de corte. Finalmente o Programa NC é devidamente cadastrado e armazenado. Verifique a figura 4.16.

Em análise mais detalhada dos grupos funcionais do SPNC, verificam-se os processos descritos na figura 4.17.

O ambiente principal de trabalho do SPNC pode ser observado pela figura 4.18. À direita está o menu de inicialização. Na porção esquerda, está reservada a área para geração do código NC. No topo, abaixo dos ícones, é reservada uma área de simulação. Uma descrição mais detalhada e a execução dos recursos disponíveis no SPNC podem ser encontrada no anexo 3.5.

Conceitualmente, o SPNC compreende um conjunto de pós-processadores (anexo 1.1.2), responsáveis pela geração dos Programas NC referentes aos seguintes processos: Oxi-corte, Plasma, Marcação Pneumática e Marcação por Óxido de Zinco. Os Programas NC gerados por tais pós-processadores seguem as convenções usuais, com exceção de algumas instruções desenvolvidas especificamente para o controle das máquinas Autocut.

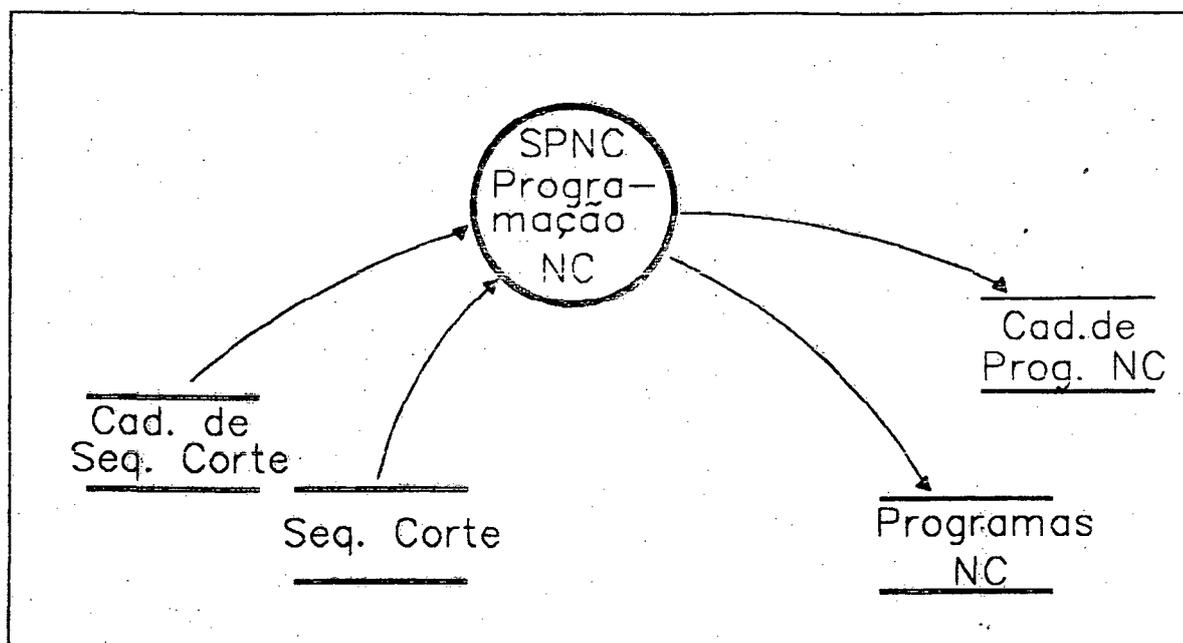


Figura 4.16 - Esquema funcional do módulo SPNC. *Entrada:* Sequência de corte das peças e informações tecnológicas. *Processo:* geração do Programa NC. *Saída:* Programa NC. *Arquivos:* CAD. PROG. NC - Cadastro de Programas NC e PROG. NC - Instruções de trajetória da ferramenta e dados tecnológicos.

| | | |
|------|---|--|
| SPNC | Inicialização | Recuperação da Sequência Definição de Parâmetros |
| | Edição das Informações Tecnológicas | |
| | Geração do Programa NC | Pós-Processador Corte OC Pós-Processador Corte Plasma Pós-Processador Marcação Pneumat. Pós-processador Marcação Pó |
| | Simulação | |
| | Finalização | Grava CAD.PROG.NC Grava PROGRAMA NC |

Figura 4.17 - Esquema do SPNC mostrando seus principais grupo funcionais.

SPNC

LIMPA PRG. MÁTICO SAIDA

FUNÇ. ION. LUCUTA DIR. ZINCO PULSADO NÃO SIMULA GRAVA

:4368. M61
 :4371. KERF R 0.000 R0
 :4374. G00 X64.746 Y1224.921
 :4377. KERF R 10.000 RL-
 :4380. M60
 :4383. CYC CALL 83 PIERCE POINT
 X64.746 Y1224.921
 TPOPRES0
 :4382. G02 X54.746 Y1214.921
 I-10.000 J0.000
 :4398. G03 X54.746 Y1214.921
 I0.000 J25.400
 :4404. G02 X44.746 Y1224.921
 I0.000 J10.000 M05
 :4410. M61
 :4413. KERF R 0.000 R0
 :4416. CYC CALL 2 M02
 :
 :#

Ordem de Produção Data Preparação Numero de Peças enc.
 Comentário Responsável pelo encaixe

Identificação Tempo
 Material Perim. de Corte
 Esp. Automatico

V. Max. > Tpo-pré > Kerf >
 V. Corte > Xoffset > Dir. >
 V. Marc. > Yoffset > Prog. >

Figura 4.18 - Ambiente principal do SPNC.

Vale ressaltar que a abordagem modular dos processadores, possibilita uma fácil adequação do SAPRO para atender novas aplicações.

4.2.6 - MÓDULO SPSP (SUPORTE OPERACIONAL)

Visando isolar o usuário de tarefas que exijam conhecimento prévio do Sistema Operacional do equipamento utilizado, este módulo contém funções básicas de manipulação dos arquivos gerados durante os processos descritos, facilitando consideravelmente a manutenção dos mesmos. As operações que podem ser realizadas ocorrem de forma gráfica interativa e consistem na eliminação, "back up" e visualização dos arquivos. Este módulo cumpre também a importante função de comunicação e transferência de informações entre dispositivos periféricos e, principalmente, a transferência do Programa NC para a máquina de corte. Veja figura 4.19.

Mais explicitamente, os grupos funcionais que compõem o SPSP são os mostrados pela figura 4.19.

Para promover a manutenção do sistema, o SPSP cria um ambiente gráfico interativo como o mostrado pela figura 4.20. Várias funções de acesso à base de dados do SAPRO podem ser acionadas pelos ícones dispostos do lado direito da tela. Uma descrição mais detalhada e a execução dos recursos disponíveis no SPSP podem ser encontrada no anexo 3.6

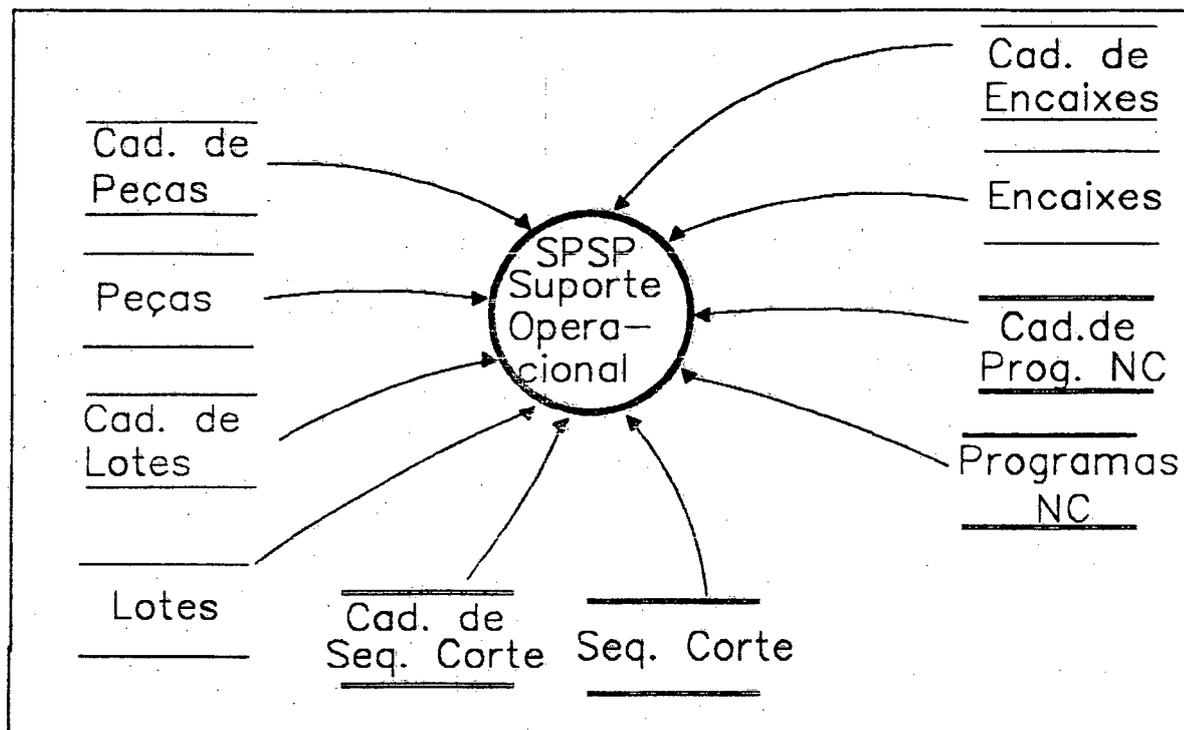


Figura 4.19 - Esquema funcional do módulo SPSP. *Entrada:* informações cadastrais de todos os elementos e interações com o usuário. *Processo:* apoio operacional. *Saída:* operações de manutenção. *Arquivos:* eventualmente são gerados arquivos temporários para transferência das informações.

| | | |
|------|------------------------|--|
| SPSP | Visualização | Recupera Cadastros Recupera Arquivos Paginação |
| | Manutenção de Arquivos | Exclusão "back-up" Recuperação |
| | Configuração | Definição de Parâmetros |
| | Transferência | Riscagem Impressão Tranf. Autocut |

Figura 4.19 - Esquema geral do SPSP mostrando seus principais grupos funcionais.

| PEÇAS | | | | | | SUPOR |
|----------------|----------|------------|----------|--------|---------|------------|
| IDENTIFICACAO | DATA | COMENTARIO | TEMPO | STATUS | UNIDADE | |
| Hook-Trailer1 | 01/07/91 | Lock | 00:16:01 | 0 | 1 | SAIDA |
| africa | 02/07/91 | etc | 01:10:33 | 1 | 1 | PRIMITIVAS |
| arcos | 03/07/91 | ensaio | 00:22:36 | 0 | 1 | |
| arredondamento | 03/07/91 | ensaio | 00:27:10 | 0 | 1 | |
| auto | 26/06/91 | XXX | 01:21:52 | 0 | 1 | |
| cap | 01/07/91 | DraftCAD | 00:26:52 | 1 | 1 | |
| caroc | 03/07/91 | BBC/SP | 00:04:17 | 0 | 1 | |
| draft2 | 01/07/91 | DraftCAD | 00:16:16 | 1 | 1 | |
| draft2 | 01/07/91 | DraftCAD | 00:00:17 | 0 | 1 | |
| draft21 | 01/07/91 | DraftCAD | 00:06:41 | 0 | 1 | |
| grade | 03/07/91 | ensaio | 00:03:09 | 0 | 1 | |
| hook-trailer2 | 01/07/91 | Lock | 00:20:15 | 1 | 1 | |
| letras | 03/07/91 | ensaio | 00:01:17 | 0 | 1 | |
| sf | 01/07/91 | etc | 00:21:22 | 1 | 1 | |
| peco_except | 02/07/91 | BBC/SP | 01:00:27 | 1 | 1 | |
| patas | 03/07/91 | ensaio | 00:00:25 | 0 | 1 | |
| patas | 03/07/91 | ensaio | 00:07:20 | 0 | 1 | |

Figura 4.20 - Ambiente principal do SPSP mostrando o Cadastro de Peças.

4.2.7 - MODULO SPES (ESTATISTICAS)

A função principal deste módulo é gerar valores estatísticos úteis para cálculos financeiros e/ou outros de interesse da empresa. Os resultados podem ser obtidos de forma gráfica ou através de relatórios baseados em diversas informações

obtidas durante os vários processos, como mostrado na figura 4.21.

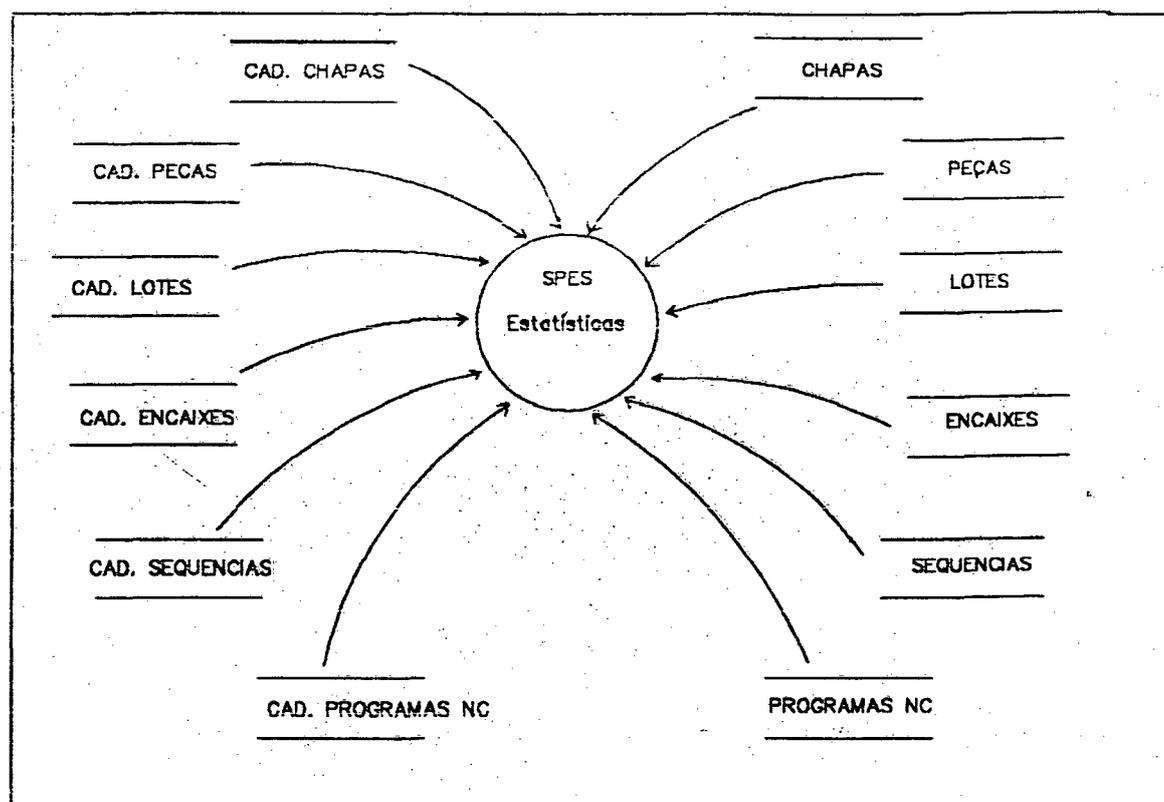


Figura 4.21 - Esquema funcional do módulo SPES. *Entrada:* amostras colhidas dos diversos processos. *Processo:* geração de valores estatísticos. *Saída:* gráficos ou textos demonstrativos. *Arquivos:* eventualmente são gerados arquivos temporários para retenção dos valores estatísticos.

Para iniciar a geração de estatísticas, o usuário fornece uma data na qual o sistema deverá se basear para colher os dados. As possibilidades de geração são as seguintes:

- . Perdas no Nesting;
- . Tempo de Execução das Tarefas;
- . Aproveitamento no Encaixe.

Uma vez executadas estas opções, o sistema gera os gráficos correspondentes na área de visualização. Verifique o exemplo mostrado na figura 4.22.

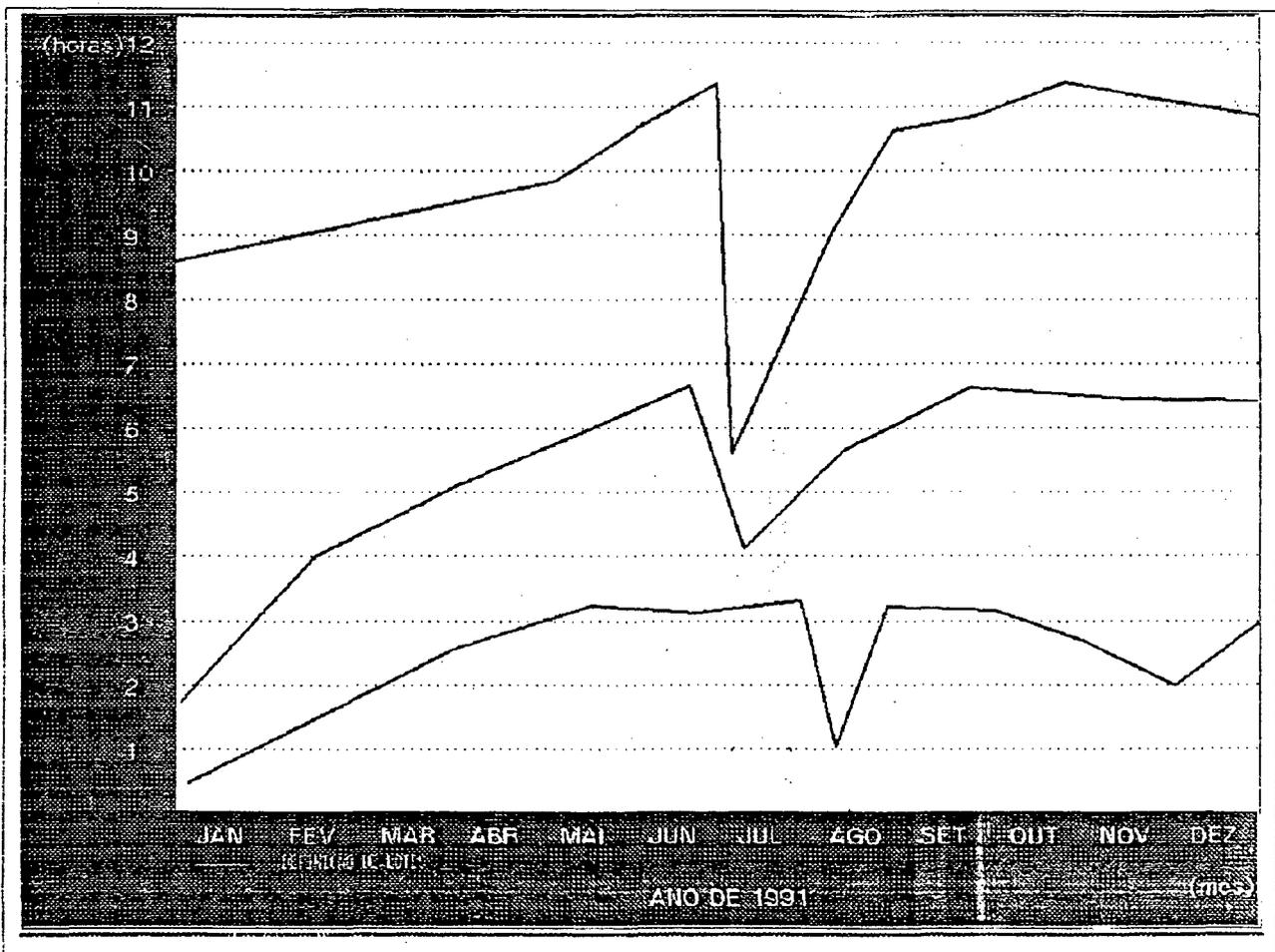


Figura 4.22 - Exemplos de estatísticas.

4.1.9 - MÓDULO SPCE (CONTROLE DE ESTOQUES)

Este módulo cumpre a tarefa de gerenciar o estoque de chapas, que serão referenciadas no módulo SPDL e utilizadas no módulo SPEN. A medida que estas chapas forem utilizadas, o sistema atualiza automaticamente o estoque. Verifique a figura 4.23 para observar os aspectos globais do SPCE.

A execução deste módulo não precisa necessariamente ser realizada em nenhuma ordem específica. Geralmente o SPCE é acionado em função de novas aquisições de matéria-prima (chapas) pela empresa usuária do sistema. O ambiente de trabalho do SPCE também possui a característica de utilizar menus e ícones para manter o processo de interação com o usuário. Verifique a figura 4.24.

Através do menu mostrado na figura 4.24, pode-se definir novas entradas de chapas no estoque ou consultar estoques remanescentes. Verifique pela figura 4.25 uma listagem de chapas, num determinado instante obtida pela utilização do ícone de Visualização do Cadastro.

Vale ressaltar que a atualização do Cadastro de Chapas, mais especificamente ao que se refere à utilização de uma chapa, é realizada pelos demais módulos. Por exemplo, quando o usuário selecionar uma chapa pelo módulo SPDL, o sistema automaticamente bloqueará no Cadastro de Chapas a requisição da mesma chapa para

outro lote. Se o usuário continuar a executar os demais módulos, ao chegar no SPSP, com a transferência do Programa NC para a Autocut, o sistema deduzirá que é definitiva a decisão de utilização da chapa e promoverá sua retirada do Cadatro.

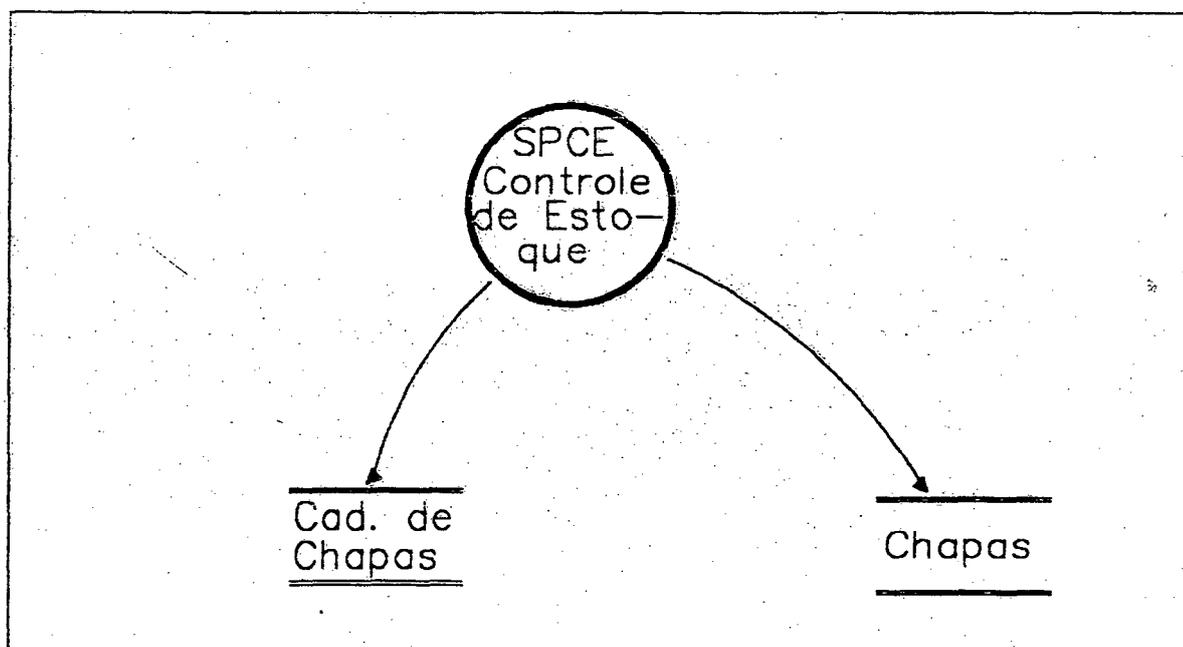


Figura 4.23 - Esquema funcional do módulo SPCE. *Entrada:* documento contendo informações da chapa a ser cadastrada. *Processo:* cadastramento e manutenção do controle de estoques. *Saída:* informações geométricas e atributos das chapas. *Arquivos:* CAD. CHAPAS - Cadastro de Chapas e CHAPAS - informações referentes às chapas.

| CONTROLE DE CHAPAS | | | | | | | | | | SPDC |
|--------------------|-------|-----------|-------------|----------|-----------|----------|----------|------------|---------|------|
| Cadastro Chapas | | | | | | | | | | |
| IDENTIFICACAO | AREA | PERIMETRO | COMPRIMENTO | LARGURA | ESPESSURA | DATA | MATERIAL | COMENTARIO | UNIDADE | |
| co_000 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_001 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_002 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_003 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_004 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_005 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_006 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_007 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_008 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |
| co_009 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 | |

Figura 4.24 - Tela principal do SPCE.

| IDENTIFICACAO | AREA | PERIMETRO | COMPRIMENTO | LARGURA | ESPESSURA | DATA | MATERIAL | COMENTARIO | UNIDADE |
|---------------|-------|-----------|-------------|----------|-----------|----------|----------|------------|---------|
| co_000 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_001 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_002 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_003 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_004 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_005 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_006 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_007 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_008 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |
| co_009 | 2.000 | 6.000 | 2000.000 | 1000.000 | 5.000 | 17/05/91 | aco | teste | 1 |

Figura 4.25 - Listagem do Cadastro de Chapas através de um dos recursos do SPCE.

4.2 - PROJETO DE ARQUIVOS

Toda vez que um dos módulos do SAPRO realiza uma operação de leitura ou gravação dos seus arquivos, eles a fazem através de um Sistema próprio de Gerenciamento de Arquivos (SGA). Pode-se entender o SGA como uma interface para acessar os diversos arquivos de trabalho localizados em dispositivos de armazenamento não temporários, tais como winchester, disketes e outros que venham a ser acoplados. O SGA também possibilita acesso a estruturas de informações armazenadas em memória temporária (memória real). Verifique a figura 4.26.

A necessidade de desenvolvimento de um recurso próprio para gerenciar os arquivos do SAPRO deve-se principalmente ao tempo de resposta. O sistema disponível existente na base operacional (Interpro 32) denominado STDIO (Stand Input Output) não atende todas as necessidades do SAPRO. A principal delas, a flexibilidade que as estruturas deveriam ter, pode ser facilmente exemplificada se imaginar-se o processo de desenho de uma peça no SPDL, onde operações de inclusão e eliminação entre elementos são comuns. Se a cada operação desta não possuímos uma estrutura que reflita rapidamente a situação exigida pelo usuário, haverá detrimento da qualidade interativa do sistema, devido ao aumento de tempo de resposta. Este mesmo problema pode ser visualizado nos demais módulos uma vez que o conceito de interatividade domina todo o SAPRO.

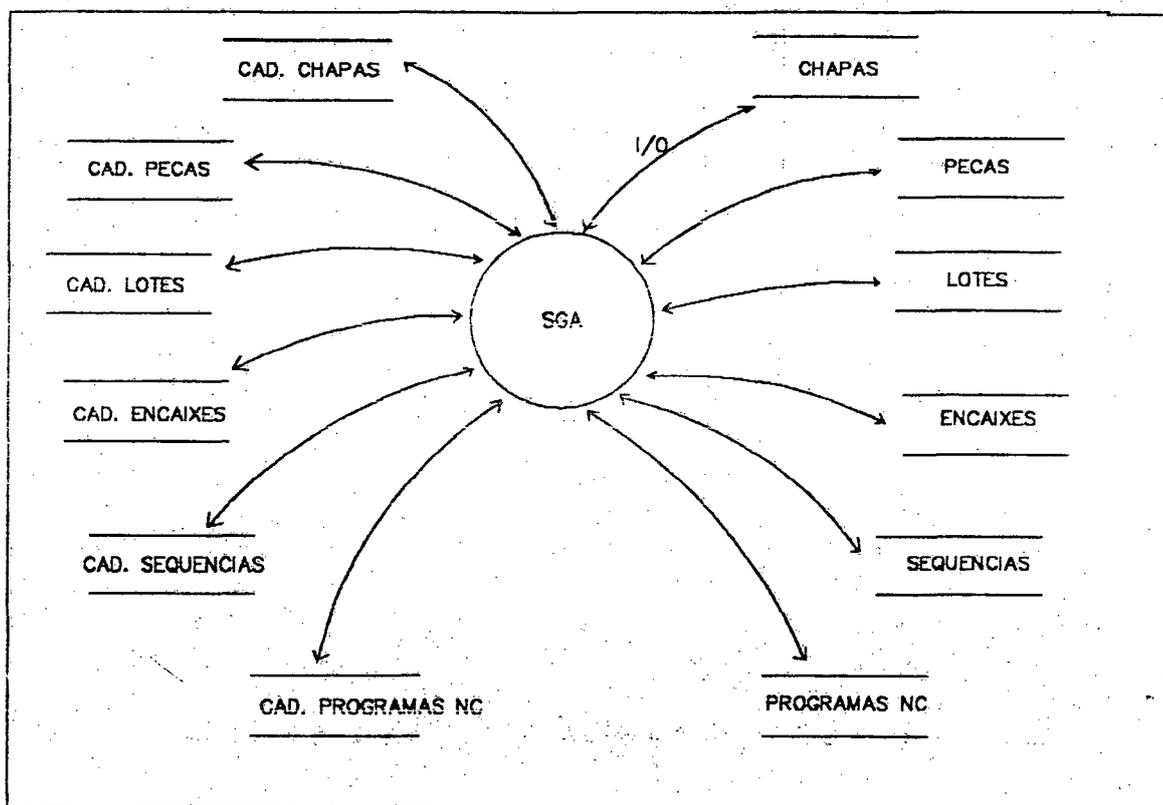


Figura 4.26 - Sistema Gerenciador de Arquivos.

As principais características conceituais do SGA podem ser verificadas no anexo 1.3.

Computacionalmente o SGA nada mais é que um conjunto de programas que possibilitam a leitura e gravação através de métodos próprios de acesso visando otimizar o tempo de resposta. Não compete ao escopo deste trabalho entender este conjunto de programas em específico.

5. CONCLUSÃO

Pode-se avaliar as contribuições do presente trabalho sobre dois aspectos : ACADEMICO e INDUSTRIAL.

Do ponto de vista ACADEMICO, este projeto contribuiu principalmente no desenvolvimento de Recursos Humanos, mais especificamente, na formação de pesquisadores para concepção e desenvolvimento de sistemas CAD/CAM. Participaram deste projeto um total de 12 estudantes de graduação, por um período de um ano cada. Para manutenção desta equipe, tal projeto trouxe recursos financeiros da Indústria, sendo complementados pelo CNPq. Através deste projeto viabilizou-se a aquisição do equipamento Interpro 32 e a montagem de infra-estrutura para um laboratório de Computação Gráfica no Grucon. Estes recursos foram obtidos

principalmente através da Finep.

Analisando agora as contribuições ao meio INDUSTRIAL, pode-se afirmar, que o SAPRO representa o primeiro sistema CAD/CAM nacional na sua especialidade. Os benefícios esperados com a utilização do SAPRO nas indústrias usuárias de máquinas para corte termo-químico de chapas, podem ser resumidamente assim relacionados:

- 1 - Redução de aproximadamente 75% no tempo de preparação¹ do Programa NC. Redução de aproximadamente 44% no tempo de fabricação². A composição destes 2 índices, possibilita um considerável aumento da produtividade;
- 2 - Definição de novos padrões organizacionais mais seguros e eficientes para empresa. Consequência natural de qualquer sistema informatizado;
- 3 - Maior racionalização dos recursos disponíveis (matéria-prima e máquina ferramenta), refletindo em maior economia de produção e conseqüentemente no barateamento do produto e, principalmente, aumentando o poder de competitividade da empresa;

¹ - Entende-se por tempo de preparação desde a concepção do projeto técnico-mecânico, a definição do encaixes das peças, até a efetiva geração do programa NC.

² - Considerando-se desde a existência do Programa NC até a retirada das peças cortadas, pela utilização de uma máquina CNC.

- 4 - Maiores possibilidades de integração com novas tecnologias, tais como: CAPP, GT, CAE, Inteligência Artificial, Robótica, e outras, que contribuem para automatizar todo o processo de fabricação rumo ao CIM;

5.1 - AVALIAÇÃO WHITE MARTINS

Para reforçar este estudo, transcreve-se na seqüência as conclusões mais relevantes de uma avaliação realizada pela White Martins [BAT89]. Nesta avaliação confronta-se a produção de uma empresa que utiliza um sistema convencional óptico-pantográfico, com a utilização do SAPRO e Autocut. Acredita-se que tais resultados venham a comprovar não só os aspectos acadêmicos como também os de aplicações prática deste trabalho.

Os resultados referentes às máquinas de corte pantográficas com copiador óptico-pantográfico, podem ser verificados pela figura 5.1.

Os resultados obtidos em relação às máquinas de corte equipadas com CNC e o SAPRO, estão apresentados na figura 5.2

| | | |
|---|----------------------|---------|
| A | Tempo de Preparacao: | 121 min |
| B | Tempo de Corte: | 98 min |
| C | Tempo total: | 219 min |

CICLO APURADO: 45% (T. Corte / T. Preparacao)

Figura 5.1 - Ficha de Resultados/Parâmetros/Tempos referentes à máquina de corte pantográfica com copiador óptico.

| | | |
|---|----------------------|---------|
| A | Tempo de Preparacao: | 12 min |
| B | Tempo de Corte: | 112 min |
| C | Tempo Total: | 124 min |

CICLO APURADO: 90% (T. Corte / T. Preparacao)

Figura 5.2 - Ficha de Resultados/Parâmetros/Tempos referentes às máquinas com CNC e SAPRO.

Conclusões:

- . No caso óptico-pantográfico foram utilizados 5,8 m² de uma chapa de 6,0 m². No caso CNC e SAPRO foram utilizados 5,28 m², resultando num ganho de 8% de área.
- . Além do ganho de produtividade, a qualidade do corte e a precisão dimensional, tenderá a melhorar, uma vez que os gabaritos de poliéster são susceptíveis a variações dimensionais. Este problema inexistente no caso de um arquivo armazenado em computador.
- . A utilização de máquinas de corte CNC permite a execução de marcações e identificações nas peças através de dispositivos específicos adaptados na máquina. Desta forma, reduz-se ainda mais o tempo de execução de uma peça, além de garantir informações precisas para trabalhos posteriores.
- . Os programas preparados antecipadamente garantem a plena utilização da máquina, com todos os seus movimentos preestabelecidos. O operador passa a desempenhar uma supervisão do processo, só intervindo em casos extremos.
- . No que diz respeito à operação de corte termoquímico, a utilização de máquinas de corte equipadas com CNC e sistemas CAD/CAM, possibilita ganhos significativos de produtividade. Mesmo em casos em que as peças são

extremamente repetitivas estes ganhos se confirmam. Adicionalmente, nos casos de lotes com formas bastante diversificadas, estes ganhos serão ainda maiores.

- . Embora o estudo já comprove a vantagem de sistemas como o mostrado, a análise mais detalhada do processo como um todo irá identificar ganhos ainda maiores, decorrentes de economia de material de escritório e horas de planejamento, além de maior capacitação da empresa para utilizar técnicas mais modernas de fabricação.

5.2 - TRABALHOS FUTUROS

1 - Integrar o SAPRO ao ciclo produtivo de uma indústria e realizar testes exaustivos para avaliar as expectativas citadas;

2 - Desenvolvimento de um módulo para comunicação com outros sistemas CAD/CAM via padrões gráficos. Um protótipo está sendo desenvolvido utilizando-se o padrão DXF (Autocad) [RAK86];

3 - Desenvolvimento de um módulo para execução automática do encaixe. Um protótipo já foi apresentado [LET89].

4 - Customização do SAPRO para atender novas atividades: corte de vidro, corte de papel, corte de tecidos em setores de estofaria de automóveis, etc.

BIBLIOGRAFIA

- [AUT01] "AutoCAD" - Material Promocional. Digicon, Brasil.
- [BAR80] BARON, Robert J., SHAPIRO, Linda G., - "Data Structures and their Implementations" - Van Nostrand Reinhold Ltd. 1980.
- [BAT89] BATISTA, Marcio B., OLIVEIRA, Mauro L. D., - "Análise dos Ganhos de Produtividade e Qualidade nos Processos de Corte Termo-Químico de Chapas Metálicas, através da Utilização de Sistemas Automatizados" - XV Encontro Nacional de Tecnologia de Soldagem. São Paulo, 21 de novembro de 1989.
- [BEE84] BEEBY, William D., Integrating Engineering and Manufacturing. Advances in CAD/CAM Case Studies. Editado por Peter C. C. Wang, Kluwer Academic Publishers Group, Hingham, 1984.
- [BOE85] BOEHS, Lorival, "Centro de Informações de Usinagens CINFUS: Importância, Estórico de Desenvolvimento e Plano de Atividades" - Anais do 5º Seminário de Comando Numérico do Brasil. 1985.
- [BOH86] BOHSE, Michael E., - "Integrating CAD and MRP Systems. Computer-Aided Design, Engineering, and Drafting" - Auerbach Publishers Inc, 1986.
- [BR083] BROSILOW, Rosalie., - "Thermal Cutting Joins a CAD/CAM Network" - Welding Design & Fabrication, dezembro de 1983.
- [BUR01] "Burny CNC Division" - Material Promocional. Burny, Cleveland, USA.
- [CAM01] "Command System Camsco" - Material Promocional. Camsco, Texas, USA.
- [CHA85] CHANG, Tien-Chien, WYSK, Richard A., - "An Introduction to Automated Process Planning Systems" - Prentice-Hall, 1985.
- [CLA84] CLANCY, John J., - "Directions for Engineering Data Exchange for Computer Aided Design and Manufacturing. Advances in CAD/CAM Case Studies" - Editado por Peter C. C. Wang, Kluwer Academic Publishers Group, Hingham, 1984.
- [CLI01] "CLIPPER Hardware Setup and Maintenance Guide DSA025120", Intergraph Corporation, July 1989.
- [CNC01] "CNC-250/350 Manual de Operação Versão 1.2" - MCS Engenharia, Brasil.

- [CNC84] "Comando Numérico CNC. Técnica Operacional. Curso Básico" - Editora Pedagógica e Universitária Ltda, 1984.
- [COS90] COSTA, Carlos A., RABELO, Ricardo J., - "Desenvolvimento de um Sistema de Codificação e Classificação baseado em Tecnologia de Grupo" - Anais do X Seminário de Comando Numérico do Brasil, 1990.
- [CUN87] CUNHA, Gilberto J., - "Computação Grafica e suas Aplicações em CAD, Introdução e Padronização" - Editora Atlas S.A., 1987.
- [CUT88] "Um Software para Diminuir as Perdas com o Corte de Chapas" - Máquinas e Metais, junho de 1988.M
- [DAT81] DATE, C.J., - "Introdução a Sistemas de Bancos de Dados" - Editora Campus. 1981.
- [ENV01] "Environ V C Programmer's Reference Manual DIXD8070" - Intergraph Corporation.
- [ENV02] "Learning to Program with Environ V DIXD5990" - Intergraph Corporation. .
- [EXA01] "Linguagem EXAPT" - Material Instrucional da Disciplina Programação Assistida por Computador, GRUCON/EMC/UFSC.
- [EXA82] "EXAPT Parts Programming Reference Manual" - EXAPT-Verein, Aachen - Alemanha, Outubro 1982.
- [FAR87] FARRENY, Henry, GHALLAB, Malik, - "Éléments D'Intelligence Artificielle" - Hermes Publishing. 1987.
- [FER84] FERREIRA, A. C., - "Introdução ao CN, Programação Manual, Programação Assistida e DNC - Princípios Básicos" - 4º Seminário de Comando Numérico do Brasil. Sobracon 84.
- [FOL82] FOLEY, James D., e DAM, Andries Van, - "Fundamentals of Interactive Computer Graphics" - Addison-Wesley Publishing Company. 1982.
- [FOR01] "Drafix CAD Ultra" - Material Promocional, Foresight Corp. Kansas, USA.
- [GIG86] GIGUERE, Marshall E., KENNICOTT, Philip R., - "Transferring Annotated Design Data with IGES: General Electric Company Case Study" - Auerbach Publishers Inc, 1986.
- [GIL78] GILOI, Wolfgang K., - "Interactive Computer Graphics Data Structures, Algorithms, Languages+ - Prentice-Hall, Inc. 1978.

- [HAR83] HARRINGTON, Steve. - "Computer Graphics. A Programming Approach" - McGraw-Hill, 1983.
- [HAT84] HATVANY, Jozsef, - "CAD Input and Interface Techniques. Computer-Aided Design, Engineering, and Drafting" - Auerbach Publishers Inc, 1984.
- [HYE87] HYER, Nancy Lea, - "Capabilities of Group Technology" - Society of Manufacturing Engineers. 1987.
- [HIL78] HILLYARD, R. C., BRAID, I. C., - "Analysis of Dimensions and Tolerances in Computer-Aided Mechanical Design" - IPC Business Press. 1978.
- [HIR01] HIRSCHBERG, H., - "Data Carriers for Flame-Cutting Machines" - Messer Griesheim GMBH, s/data.
- [HIR89] HIRSH, Bernd E, - "Comunicação no Ambiente de Manufatura: Aspectos Intra e Interorganizacional" - Anais da V Jornada Internacional de Automatização Industrial do Brasil, 1989.
- [INT01] "Interpro 32 - Operator's Guide DIXD7020" - Intergraph Corporation.
- [INT02] "IBM PC Emulation User's Guide DIXD7090" - Intergraph Corporation.
- [INT03] "VT220 Terminal Emulation User's Guide DIXD7100" - Intergraph Corporation.
- [INT04] "Interpro 32 User's Guide DIXD4400 and FDSP07107" - Intergraph Corporation.
- [KAW83] KAWAGOE, Kyoji, MANAGAKI, Masao, - "Parametric Object Model and its Applications to Mechanical Product Design" - Computer Applications in Production and Engineering. North-Holland, 1983.
- [KER78] KERNIGHAN, BRIAN W.. RITCHIE, DENNIS M. C, - "C - A linguagem de programação" - Editora Campus Ltda. Rio de Janeiro (RJ), 1978.
- [KER84] KERNIGHAN, Brian, PIKE, Rob, - "The Unix Programming Environment" - Prentice-Hall Inc, 1984.
- [KOR86] KOREN, Yoram, - "Computer Control of Manufacturing Systems" - MacGraw-Hill International Editions, 1986.
- [KRA87] KRATZ, HERR. - "Exapt for Sheet-metal Programming - Stand Alone and within the CIM System network" - Bilderliste. KHD-Humbolt-Wedag Company, 1987.

- [KUV88] KUVIN, BRAD F., - "Computerized PAC Boosts Ductwork Production" - Welding Design & Fabrication, Maio de 1988.
- [LAN01] "Lantek Informatica Tecnica" - Material Promocional. Gipuzkoa, Espanha.
- [LAU88] "Expanding Options for Thermal Cutting" - Laurel Machine & Foundry. Welding Design & Fabrication, fevereiro de 1988.
- [LET89] ROSS, Maria Leticia, - "Estudo da Distribuição Automática de Geometrias Planas Aplicando Conceitos de Inteligência Artificial" - Dissertação de Mestrado / UFSC, 1989.
- [LIN01] "Linde" - Material Promocional. Union Carbide.
- [LTE01] "L-TEC Welding and Cutting Systems" - Material Promocional. Indianapolis, USA.
- [MAC86] MACHADO, Aryoldo, - "Comando Numérico Aplicado às Máquinas-Ferramentas" - Icone Editora, 1986.
- [MEN01] "Menubuilder DIXD5630" - Intergraph Corporation.
- [MER88] "Merz Metal and Machine: Software for Specialized Parts Fabrication" - Welding Design & Fabrication, fevereiro de 1988.
- [MES01] "Omnimat Sicomat. Cutting, Marking and Drawing" - Material Promocional. Messer Griesheim GMBH, Frankfurt, Alemanha, Publicação Nº 10.6002e.
- [MTC01] "Microcomputer Technology Consultants Ltd" - Material Promocional. New York, USA.
- [NEW79] NEWMAN, Willian M., SPROULL, Robert F., - "Principles of Interactive Computer Graphics" - McGraw-Hill. 1979.
- [NIP01] "Altus 500/500m Programming Station" - Material Promocional. Tanaka, Nippon Sanso K.K., Japão.
- [OPE86] "Operation Manual for SUAG-Programming Station" - BIBA, Alemanha, 1986.
- [PA084] PAO, Y.C., - "Elements of Computer-Aided Design and Manufacturing" - John Wiley & Sons Inc, 1984.
- [PER86] PERSIANO, Ronaldo C.; OLIVEIRA, Antonio A. F., - "Introdução a Computação Grafica" - V Escola de Computação, 1986.

- [PLO01] "Traçador Gráfico TDD-21R" - Manual de Instalação, Operação, Interfaceamento e Programação. Digicon S.A., 1986.
- [PRI01] "Fabricated Metals, Design for Manufacturing Solutions" - Material Promocional. Prime Computer Inc. Massachusetts, USA.
- [PRO01] Procasso User's Guide DIXD7080. Intergraph Corporation.
- [QUE16] QUEIROZ, Abelardo A., - "Um programa com EDITE" - Boletim Sobracon nº 16.
- [QUE83] QUEIROZ, Abelardo A., - "MDI Data Preparation for Numerically Controlled Milling Machines" - Tese de Doutorado submetido à Loughborough University of Technology, Inglaterra, dezembro 1983.
- [QUE85] QUEIROZ, Abelardo A., - "Um sistema de Programação do Tipo "APT" sem Linguagem" - 5º Seminário de Comando Numérico do Brasil, Sobracon, 1985.
- [QUE86] QUEIROZ, Abelardo A., STEMMER, Caspar E., - "Cenário da Programação CN - Da programação Manual ao CAD/CAM" - Simpósio CAD/CAM, Sobracon, 1986.
- [RAK86] RAKER, Daniel, RICE, Harbert, - "Inside AutoCAD. A Teaching Guide to the AutoCAD Microcomputer Design and Drafting Program" - New Riders Publishing, 1986.
- [RIC88] RICH, Elaine, - "Inteligência Artificial" - Editora McGraw-Hill, Ltda, 1988.
- [ROZ89] ROZENFELD, Henrique, - "Desenvolvimento de uma Linguagem Universal para Programação de Máquinas CNC" - 9º Seminário de Comando Numérico e Automatização Industrial, 1989.
- [SAR86] SARAIVA, José C., - "Sistema de Programação Assistida - Progmax" - Simpósio sobre CAD/CAM, Sobracon, 1986.
- [SHO01] "Shop Data System Inc" - Material Promocional. Texas, USA.
- [SIM86] SIMMONS, G. L., - "Introdução a Inteligência Artificial" - Clássica Editora. 1986.
- [SPI89] SPINOSA, Luiz Marcio, - "Aplicações da Computação Gráfica nos Setores de Calçados, Vestuário e Têxtil" - I Seminário sobre Computação Gráfica na Indústria do Vestuário, Calçados e Têxtil, 1989.

- [TEI85] TEICHOLZ, Eric, - "CAD/CAM Handbook" - MacGraw-Hill Designing with Systems Series, 1985.
- [TRE85] TREMBLAY, Jean-Paul, SORENSON, Paul G., - "The Theory and Practice of Compiler Writing" - McGraw-Hill Inc, 1985.
- [UNI01] "Unix System V - Screen Editor Tutorial (vi) 307-100 6/84" - Intergraph Corporation.
- [UNI02] "Unix System V - Release 2.0. Support Tools Guide" - AT&T Technologies, 1984.
- [UNI03] "Unix System V - Release 2.0. User Reference Manual" - National Semiconductor Corporation. 307-615, Issue 1.
- [UNI04] "Unix System V - Release 2.0. Administrator Reference Manual 307-616" - National Semiconductor Corporation, Issue 1.
- [UNI05] "Unix System V - Release 2.0. Programmer Reference Manual 307-617" - National Semiconductor Corporation, Issue 1.
- [UNI06] "Unix System V - Release 2.0 Programming Guide 307-103" - AT&T Bell Laboratories, Issue 2.
- [UNI07] "Unix System V User Guide 307-100" - AT&T Bell Laboratories, Issue 3.
- [UNI90] "Planning and Programming the Introduction of CAD/CAM Systems, A Reference Guide for Developing Countries. General Studies Series" - UNIDO - United Nations Industrial Development Organization, Vienna 1990.
- [WEI84] WEYMUELLER, CARL R., - "Tough Nickel Alloys Yield to Plasma Cutting" - Welding Design & Fabrication, December, 1984.
- [WEL80] WELLER, D. L., CARLSON, E. D., GIDDINGS, G. M., PALERMO, F. P., WILLIAMS, R., ZILLES, S. N., - "Software Architecture for Graphical Interaction" - IBM System Journal, 1980.
- [WHI01] "Autocut" - Material Promocional. White Martins, Fábrica de Equipamentos de Soldagem.
- [WOR01] "Workstation Technical Summary" - Intergraph Corporation. 1986.

ANEXOS

ANEXO 1 - REFERÊNCIAS CONCEITUAIS

Neste anexo são abordadas as principais referências teóricas que subsidiaram o desenvolvimento do SAPRO. Inicialmente são abordados os sistemas CAM e depois os sistemas CAD. Esta sequência de apresentação favorece ao entendimento do enfoque que foi dado na concepção do SAPRO, que partiu do "chão de fábrica" para processos anteriores de preparação. Cada uma destas seções apresenta um exemplo das tecnologias consideradas. Estes exemplos também se constituíram em importantes fontes conceituais para o desenvolvimento do SAPRO. Numa seção final são apresentados alguns conceitos referentes às Bases de Dados para sistemas CAD/CAM.

1.1 - CAM (COMPUTER AIDED MANUFACTURING)

Um sistema CAM, conceitualmente, compreende um ou mais computadores com o objetivo de auxiliar nas tarefas de organização, scheduling, produção e controle da manufatura de um produto [UNI90].

A aplicação mais típica dos sistemas CAM é na geração de programas NC (Numerical Control) para condução do processo de fabricação em máquinas CNC [TEI85]. Neste contexto pode também estar inserida a tecnologia DNC (Direct Numerical Control) que, entre outras coisas, promove a transferência e o gerenciamento dos programas NC entre as máquinas CNC [UNI90]. Este ambiente no qual estão inseridos os sistemas CAM será melhor detalhado na seqüência.

Os sistemas CAM correspondem a uma evolução natural da tecnologia NC [KOR86]. Observando a hierarquia da fabricação, pode-se situar o NC como a interface entre a engenharia de fabricação e a máquina ferramenta. O termo NC vem sendo utilizado desde a década de 1940 e pode-se dizer, simplificadaamente, que se refere a um dispositivo eletrônico programável para gerenciar uma determinada máquina.

1.1.1 - PROGRAMAÇÃO NC

A Programação NC é a informação básica de um sistema NC. O objetivo final da Programação NC é obter uma seqüência de instruções, de acordo com as Normas DIN 66024, DIN 66025 e ISO 1056/57 [SAR86] [FER84]. Posteriormente estas instruções são decodificadas por uma unidade de controle que, por sua vez envia os pulsos necessários à máquina NC, que executa os movimentos mecânicos especificados na Programação [MAC86] [CNC84].

O trabalho de preparação de Programas NC pode ser dividido basicamente em 5 partes [FER84]:

- 1 - Interpretação dos desenhos, definição das operações e ferramentas necessárias, bem como da fixação da peça;
- 2 - Cálculo dos pontos do trajeto da ferramenta;
- 3 - Codificação do Programa;
- 4 - Digitação;
- 5 - Verificação e testes ("try-out").

Eventualmente estas atividades podem ser auxiliadas por recursos diversos.

1.1.2- APT/EXAPT

A tecnologia NC foi concebida para atender à indústria aeronáutica na solução de problemas de usinagem de peças complexas. Este intuito tornou-se realidade com a criação da Linguagem APT, em 1955, por uma equipe de engenheiros e matemáticos, sendo mais tarde normalizada pela DIN 66246 e/ou ISO 4342 [ROZ89]. Apesar destes 35 anos de existência, a Linguagem APT ainda continua sendo a mais consagrada para a fabricação de peças com geometria complexa, notadamente em máquinas NC com acionamento de 3 a 5 eixos [QUE86].

O APT pode estruturalmente ser dividido em duas partes: Processador e Pós-processador. O Processador pode ser considerado como um tipo de Tradutor¹ que processa e diagnostica uma sintaxe e uma semântica com aproximadamente 300 palavras. Se o resultado do Processador estiver correto é calculada a trajetória que a ferramenta deverá ter durante o processo de usinagem. Esta trajetória é armazenada num arquivo denominado CLDATA ou CLFile (Cutter Location Data) normalizado pela DIN 66215/9 e/ou ISO 4343 [ROZ89]. O Pós-processador, também considerado um tipo de Tradutor, toma o CLDATA e gera o Programa NC correspondente à máquina que será utilizada.

¹ - Por definição, um Tradutor converte um programa fonte em programa objeto. Entende-se por conversão a geração de uma sintaxe e semântica nova partindo-se de outra sintaxe e semântica anterior [TRE85].

Na tentativa de acompanhar os constantes avanços tecnológicos ou para explorar melhor os processos específicos de usinagem, uma série de derivações surgiram do APT. Como exemplo deste fato podem ser citados o NELAPT (National Engineering Laboratory - Inglês), o ADAPT (Adaptation of APT - Americano), IFAPT (Francês) e principalmente o EXAPT (Extension of APT - Alemão). O EXAPT será tomado para melhor exemplificar estas características comuns aos processadores APT.

O sistema modular EXAPT desenvolvido na Alemanha, entre os anos 60/70, tem como objetivo fornecer recursos computacionais para a programação de máquinas NC, abrangendo um conjunto diversificado de processos tais como: furação, torneamento, fresamento, eletro-erosão, estampagem, e corte por combustão localizada (oxi-corte, plasma, etc). O EXAPT pode ser considerado também como uma interface lógica ("software") que se localiza entre a máquina NC e o programador, fornecendo-lhe recursos para programação em alto nível [EXA82].

O processamento realizado internamente no computador é o seguinte: Inicialmente, da mesma forma que o APT, o programa da peça é processado e os resultados armazenados no CLDATA. O formato deste arquivo é normalmente padronizado e independente da máquina-ferramenta que será utilizada. Esta característica do EXAPT lhe confere a classificação de Processador Universal [EXA82]. Explorando melhor seus conceitos, o processador EXAPT consiste numa série de recursos que promovem um ambiente de

programação mais adequado comparando-se à Programação Manual.

Destes recursos podem ser citados [EXA82]:

- . funções matemáticas (trigonométricas, cálculo de ângulos, raiz quadrada, exponenciação, arredondamentos, logaritmos, etc);
- . tecnologia básica (dados das ferramentas, ângulo de contato, declarações de trabalho, declarações de movimento e avanços, velocidade de corte, rotação da árvore, tempo de retardamento, fluido de corte, etc);
- . definições geométricas (sistemas de coordenadas, transformação de coordenadas, definição de planos, pontos, retas, circunferências, etc);
- . declarações de movimentação das ferramentas (ponto inicial, posicionamentos, etc).

Uma etapa complementar, para a efetiva geração do programa NC, é realizada pelo pós-processador. Cabe a este elemento a customização do programa armazenado no CLDATA, gerando o programa NC específico à máquina em questão, ou seja; o pós-processador recebe e interpreta o CLDATA de uma peça e gera os comandos na linguagem específica da máquina-ferramenta a ser programada. Pode-se perceber claramente, pelas características apresentadas, que geralmente cada máquina-ferramenta possui um Pós-processador

personalizado². Os Pós-processadores são geralmente confeccionados por software houses especializadas.

1.2 - CAD (COMPUTER AIDED DESIGN)

Conceitualmente um sistema CAD incorpora um ou mais computadores para auxiliar nas tarefas de cálculos e ações envolvidas no processo de projeto de um produto [UNI90]

Muitas são as justificativas para utilização de um sistema CAD para desenho e projeto de peças mecânicas. Algumas destas vantagens já foram apresentadas pela figura 1.1, outras podem ser encontradas em [TEI85]. A consagração dos sistemas CAD é tão forte que, podemos considerar que devido ao contínuo avanço tecnológico e ao também contínuo decréscimo dos custos do hardware e do software de tais sistemas, eles já estão sendo considerados padrões técnicos de desenho e projeto, como antecipado por [TEI85].

Um sistema CAD para a indústria mecânica consiste na combinação de programas e arquivos de dados que interagem entre si, criando um ambiente como o mostrado pela figura 1.1. Cada

² - Entende-se por personalizado, um pós-processador desenvolvido para atender as necessidades específicas de um determinado usuário de máquina-ferramenta.

conjunto executa uma tarefa especializada requerida pelo processo de projeto de uma peça. Este ambiente ainda não corresponde à real disponibilidade comercial das fornecedoras de sistemas CAD de uma forma integrada e definitiva [TEI85]. Contudo este ambiente caracteriza as reais necessidades dos sistemas CAD para projetos de peças ou componentes mecânicos.

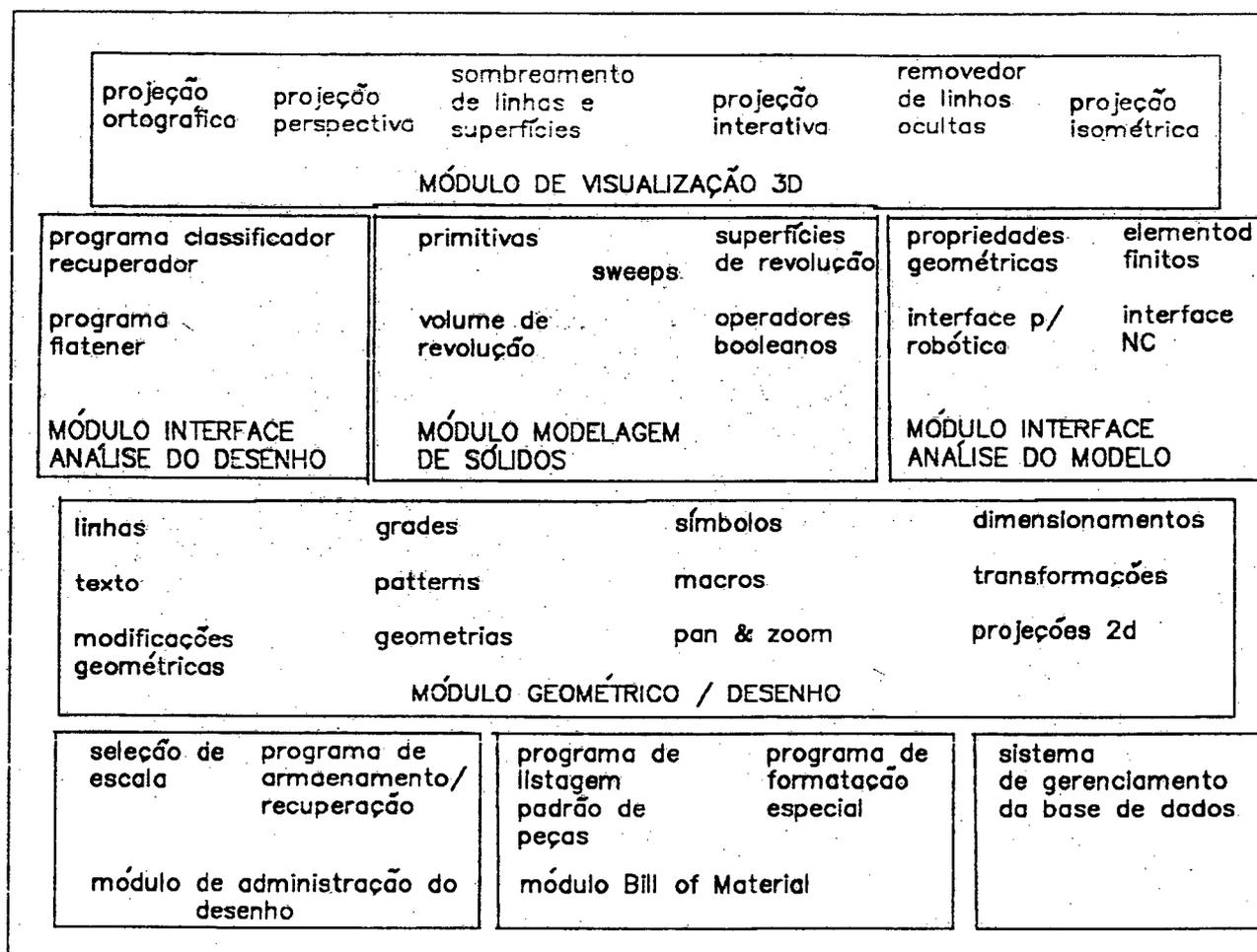


Figura 1.1 - Diagrama de blocos de um software CAD para a indústria mecânica. (Adaptado [TEI82]).

1.2.1 - INTERAPT

Apesar do Interapt ter sido projetado para ser utilizado pelo operador da máquina como uma ferramenta de auxílio a programação NC, ele possui uma forte interface gráfica que sustenta o processo interativo com o usuário. Esta característica gráfica, faz com que seja referenciado neste contexto como um exemplo de sistema CAD.

A exigência do perfeito domínio da sintaxe e da semântica do APT e seus derivados, aliado ao alto investimento em recursos computacionais, incentivaram novas soluções visando aplicações mais específicas e baratas [QUE85]. O Interapt (INTERativo APT) corresponde a uma destas soluções³. O Interapt pode ser classificado como um Sistema de Programação Gráfico Interativo aplicado a sistemas MDI [QUE83]. O Interapt é composto pelos módulos mostrados na Figura 1.2, e descrito no texto que se segue:

³ - O Interapt teve sua concepção decorrente de uma Tese de Doutorado concluída em 1983 na Loughborough University of Technology [QUE83] e corresponde atualmente ao esforço de um dos grupos de pesquisa do GRUCON.

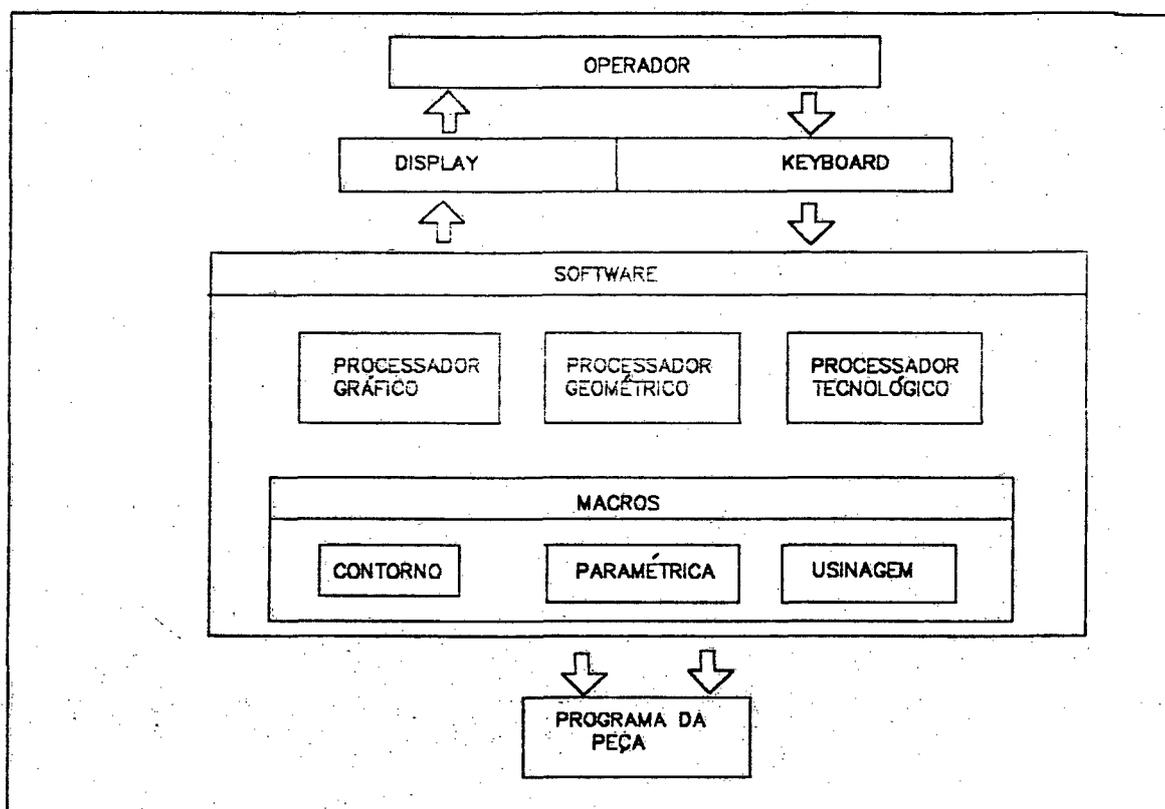


Figura 1.2 - Organização do Sistema Interapt.

a) Macros

Pode-se definir uma macro como um conjunto de instruções ou dados padronizados na linguagem de programação. Para utilização destas macros o sistema interage com o operador através de uma interface gráfica, liberando-o de tarefas repetitivas, reduzindo o tempo de programação e o volume de erros humanos [QUE85]. O sistema possui dois tipos de macros : tipo APT e paramétrica. A diferença básica entre estes dois grupos é a forma de definição geométrica em 2D.

b) Processador Gráfico

Toda vez que a definição geométrica de uma peça é completada, ou que um dado é atualizado, este módulo é ativado para gerar os devidos gráficos. Esta tarefa cumpre o objetivo de criar um ambiente gráfico propício para suportar a interação com o operador.

c) Processador Tecnológico

Tem como objetivo inicial selecionar condições ótimas de corte para determinados tipos de materiais de peças e ferramentas. O processador tecnológico é apoiado por uma Base de Dados⁴ de ferramentas combinado com materiais das peças.

d) Processador Geométrico

O Processador Geométrico possui três funções: assistir a entrada de dados, calcular a geometria da peça, bem como a trajetória da ferramenta e, finalmente gerar o programa da peça em meio adequado. A entrada dos dados é feita de forma conversacional utilizando-se um série de recursos gráficos. Aqui existe uma estreita ligação da forma como a geometria é projetada no Interapt e o sistema APT. Basicamente o Interapt possui os recursos do APT para programação 2 1/2 D.

⁴ - Este módulo tem grande influência do esforço de outro grupo de pesquisadores do Grucon, o CINFUS (Centro de Informações de Usinagem) [BOE85].

O Processador geométrico pode ser dividido ainda em dois outros processadores: tipo APT e Paramétrico. Sendo o primeiro de maior relevância no presente trabalho, será o mais explorado.

Processador tipo APT

O Processador tipo APT consiste em duas partes: Definição de Elementos Geométricos e Definição de Contorno.

Pelo primeiro, define-se a forma geométrica de uma peça a partir de pontos, retas, arcos e outros elementos. Cada elemento deste constitui um conjunto de procedimentos para transformar informações geométricas gerais de um elemento em sua forma canônica. A forma canônica é uma forma mais adequada de representação dos elementos para o processamento computacional. Os procedimentos de transformação para as formas canônicas são baseados na aplicação de algumas formulações matemáticas e quando necessário envolve uma interação com o usuário.

Pela Definição de Contorno, obtém-se um perfil contínuo. Este perfil é composto pelos elementos definidos na etapa anterior. Geralmente o contorno representa a forma do perfil acabado da peça. Esta atividade tem as mesmas características do CONTOUR no Exapt e Nelapt. Ainda por este processo podem ser definidas as equidistantes que são contornos paralelos ao definido inicialmente. Estas equidistantes representam as trajetórias do centro de cada ferramenta que será utilizada para usinagem da peça.

1.3 - BASE DE DADOS

O ciclo de vida da maioria dos produtos inclui as seguintes fases [GIG86]:

- . Projeto conceitual : corresponde ao desenvolvimento das especificações do produto.
- . Análise : são analisadas as características físicas e funcionais do projeto/produto e feitas as devidas modificações.
- . Detalhamento do projeto : as especificações do produto são finalizadas.
- . Construção ou Fabricação : confecção do produto.
- . Operação : o produto é colocado em operação junto a um usuário final.
- . Manutenção.

Cada uma destas fases promove uma atualização numa Base de Dados⁵, tornando-se essencial a composição de um adequado sistema gerenciador de manipulação desta Base. As informações contidas na Base de Dados devem ser coletadas e estruturadas, durante o ciclo

⁵ - Por definição, uma Base de Dados é um conjunto de dados organizados por uma estrutura lógica e física, de forma a representarem informações sobre determinado universo de conhecimento. Para maiores detalhes verifique [DAT81].

de vida do produto, de forma a construir um modelo completo e preciso, sendo refinado a cada fase [GIG86] [CLA84]. Uma atenção especial deve ser dada a forma de estruturação das informações na Base de Dados, uma vez que isto reflete diretamente na qualidade do sistema CAD/CAM, tornando-o mais potente ou comprometendo seu desempenho [BAR80][GIL78].

Algumas características adicionais sobre esta Base devem ser consideradas. Um Sistema de Codificação e Classificação integrado ao sistema gerenciador, viabiliza a criação de códigos para os produtos, facilitando o armazenamento e recuperação dos componentes na Base de Dados [COS90].

Outro conceito relacionado com um Sistema de Codificação e Classificação é a Tecnologia de Grupo. Por esta tecnologia os componentes são organizados de forma a constituírem famílias (grupos) que possuem características comuns, tais como: processo de fabricação, tipo de material, complexidades geométricas e outras [HYE87]. Muitos processos são agilizados e até mesmo viabilizados por estas considerações. Exemplo disto são os Sistemas MRP (Material Requirements Planning) [BOH86] e os Sistemas CAPP (Computer Aided Process Planning) [CHA85].

Uma Base de Dados que possua estas características principais é elemento fundamental para a integração das fases de produção, bem como gerenciamento e comercialização do produto, na forma como preconizada pelo CIM (Computer Integrated

Manufacturing) [HIR89] [BEE84] [BRI86] [KOR86].

ANEXO 2 - RECURSOS DISPONÍVEIS

Neste anexo, são apresentados os recursos necessários para a efetiva utilização do SAPRO, bem como os que auxiliaram no seu desenvolvimento. Este capítulo não tem o objetivo de detalhar estes elementos, apenas visa relacioná-los para uma melhor concepção do ambiente no qual está inserido o SAPRO.

Na primeira seção são tratados os elementos que compõem o código fonte do SAPRO. Na segunda seção são apresentados os que auxiliaram no seu desenvolvimento, denominados por Software de Apoio. Numa seção subsequente, são apresentados o equipamento no qual reside e se executa o SAPRO, a Interpro, bem como o equipamento que realiza efetivamente o corte das chapas, a máquina Autocut.

2.1 - SOFTWARE SAPRO

A composição do Código Executável do SAPRO representa a união de um conjunto de programas em Linguagem C, da biblioteca gráfica Environ V e das bibliotecas de I/O e Math. Em situações mais particulares, podem-se encontrar comandos do System V. Na figura 2.1, tem-se um esquema da organização destes elementos, os quais serão explorados na seqüência. Para que se tenha uma visão de conjunto, estão incluídos, nesta mesma figura, os elementos da próxima seção.

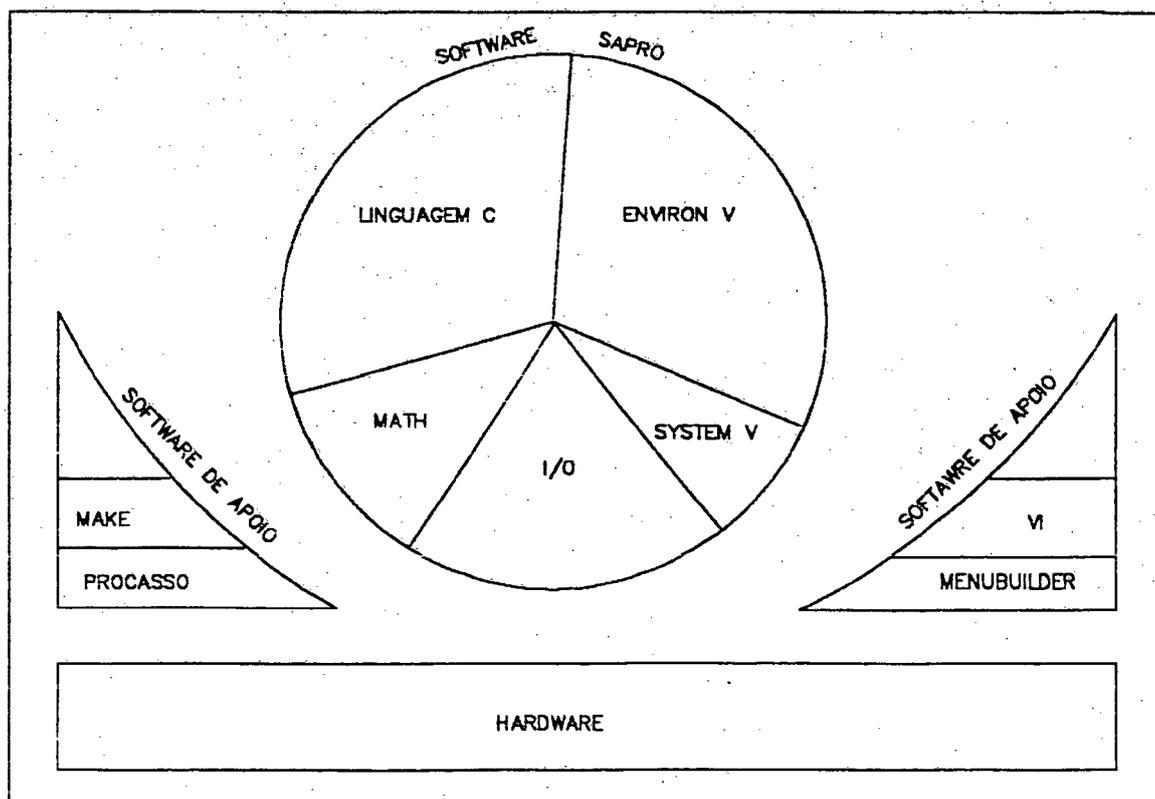


Figura 2.1 - Esquema de organização do software

2.1.1 - SYSTEM V

A Interpro 32C (seção 2.3.1) possui como sistema operacional o System V, considerado um sistema Unix-like [UNI01] [UNI02] [UNI03] [UNI04] [UNI05] [UNI06] [UNI07] [KER84]. Como tal, seu histórico está fortemente ligado à evolução do Unix e apresenta as seguintes características principais:

- . Multitarefa e multiusuário;
- . Processamento em tempo compartilhado (execução concorrente);
- . Destinado a uso geral;
- . Interativo e com sintaxe simples dos comandos;
- . Arquivos com estrutura hierárquica, formato único e muito consistente.

O System V divide-se basicamente em duas partes:

1 - Comandos Kernel - Corresponde ao núcleo do sistema que interage diretamente com a máquina.

2 - Comandos Shell - Envolve o Kernel com o objetivo de interfacear os comandos entre os programas do usuário e o Kernel. Eventualmente estes comandos são utilizados diretamente pelos programas fontes do SAPRO.

2.1.2-LINGUAGEM C

A linguagem "C" foi escolhida dentre outras para o desenvolvimento do SAPRO pelas seguintes razões principais:

- . Apresenta interfaces muito consistentes com o sistema operacional System V e a biblioteca gráfica Environ V (seção 2.1.3);
- . Portabilidade maior que as demais linguagens;
- . Própria para desenvolvimentos de "software" básico, consequentemente melhorando o desempenho do sistema;
- . Gera código executável compacto e rápido em relação a maioria das linguagens compiladas.

A Linguagem "C" surgiu da necessidade de se escrever programas que utilizassem os recursos de máquina de uma forma menos penosa e mais portátil que o assembly. A linguagem "C" possui poucos comandos e um grande número de operadores aritméticos e lógicos, além de ser uma linguagem estruturada e modular [KER78].

A popularidade da Linguagem "C" deve-se exatamente a elegância em conciliar seu poder de programação em baixo nível com um alto grau de portabilidade, promovendo aos programas escritos em "C" uma alta compatibilidade e independência da máquina utilizada.

2.1.3 - ENVIRON V

O Environ V é um Pacote Gráfico desenvolvido pela Intergraph Corporation, para atuar como interface entre o Sistema Operacional System V e os Programas Aplicativos escritos em Linguagem C, para as Estações Gráficas do mesmo fabricante [ENV01] [ENV02]. Apesar do Environ V conceitualmente se aproximar de normas de padronização de pacotes gráficos, ele não obedece a nenhum dos padrões mais conhecidos. A influência do Environ V é tão relevante que se pode afirmar que seus comandos chegam a proporção de 50 a 60% da totalidade dos comandos nos programas fontes do SAPRO.

Os recursos oferecidos pelo ENVIRON V são basicamente os descritos na maioria dos Pacotes Gráficos, ressaltando-se os seguintes:

- . Manipulação de "viewport" ;
- . Manipulação de diversos tipos de "menus";
- . Interface de "menus" com programas em "C";
- . Gerenciamento dos dispositivos gráficos.

O Environ V depende profundamente do System V uma vez que ele controla todos os "drivers" dos dispositivos gráficos ou não gráficos. Outra característica importante que beneficia o Environ V, é o ambiente para a execução concorrente dos processos criados

pelo System V, bastante satisfatório para o controle simultâneo de periféricos. Este controle se faz necessário uma vez que um sistema gráfico interativo envolve grande volume de interrupções para processar as atividades ou para armazenar informações na Base de Dados.

2.1.4 - BIBLIOTECAS I/O E MATH

Em linguagens mais convencionais a maioria das operações de entrada e saída (I/O) e das operações matemáticas, estão incorporadas na sua própria sintaxe. Contudo, pelas características de modularização da linguagem C, estas operações são enclausuradas em bibliotecas específicas denominadas I/O e Math. No caso da biblioteca I/O, esta oferece recursos convencionais para leitura e gravação de arquivos, ressaltando-se a possibilidade de tratamento por programação concorrente. Já a biblioteca Math oferece operadores e funções matemáticas, algumas são consideradas mais convencionais, outras, mais avançadas.

2.2 - SOFTWARE DE APOIO

Como pode ser verificado pela figura 2.1, os elementos

desta seção não fazem parte do código fonte do SAPRO propriamente dito, contudo tiveram papel fundamental para criar um ambiente adequado para o desenvolvimento do mesmo.

2.2.1 - SCREEN EDITOR VI

O VI nada mais é que um programa para edição de textos e foi utilizado largamente para confecção dos programas fontes do SAPRO. O VI possui uma estrutura hierárquica de trabalho, possibilitando sua utilização também como editor de linhas, muito útil para execução dos comandos do System V.

2.2.2 - PROCASSO

O Procasso pode ser caracterizado como um sistema gráfico interativo para criação de desenhos [PRO01]. Os recursos oferecidos pelo procasso são ideais para se construir desenhos que não possuam um rigor matemático. Sua utilização principal ocorreu na criação dos icons, símbolos especiais, edição de tabelas de cores e outros.

2.2.3 - MENUBUILDER

Este utilitário teve como objetivo projetar e editar os menus utilizados pelo SAPRO [MEN01]. O Menubuilder também foi utilizado em algumas oportunidades para visualizar símbolos e ícons construídos por outros sistemas.

Os recursos oferecidos pelo Menubuilder criam um ambiente próprio para: selecionar as cores dos "menus", selecionar textos e símbolos fontes, desenhar linhas, retângulos e polígonos, identificar campos para entradas de dados, criar textos em diferentes fontes e outros. Como resultado da execução do Menubuilder, tem-se a geração de um arquivo com todas as informações sobre o menu criado. Através do Environ V estes menus podem ser manipulados confortavelmente.

2.2.4 - MAKE

No desenvolvimento de um sistema é comum dividir grandes programas em pedaços menores de mais fácil manipulação. Cada um destes pedaços podem receber tratamentos diferenciados quanto a sua preparação. O Make é uma ferramenta computacional para a manutenção, atualização e geração destes grupos de programas. O Make promove um ambiente que facilita a geração de novas versões.

do sistema, que geralmente requerem várias operações num número razoável de arquivos, liberando o usuário das seguintes atividades:

- . Conhecer a dependência entre os programas;
- . Manter a exata seqüência de recompilação de programas recentemente alterados, para se gerar uma nova versão do sistema;
- . Manter os parâmetros de cada programa para maior eficiência na compilação;

Para gerar as novas versões o Make utiliza um arquivo próprio, o Makefile, que mantém uma estrutura de árvore que representa a ligação entre os programas do sistema, bem como as características de compilação de cada um. Através do Makefile, o Make pode executar compilações apenas dos programas alterados e depois unir ("link") com os demais que não foram alterados. Além dos benefícios já apresentados, vale ressaltar que o tempo de compilação é reduzido drasticamente com a utilização do Make.

2.3 - HARDWARE

Esta seção compreende os dispositivos eletrônicos e mecânicos que estabelecem o ambiente físico de execução do SAPRO.

2.3.1 - WORKSTATION INTERPRO 32C

A Interpro 32C é o principal equipamento para execução do SAPRO. Devido as suas característica para processamento gráfico, a Interpro 32C é popularmente classificada como Workstation [WOR01] [INT01] [INT02] [INT03] [INT04]. Verifique a figura 2.2 para melhor compreender o texto que se segue.

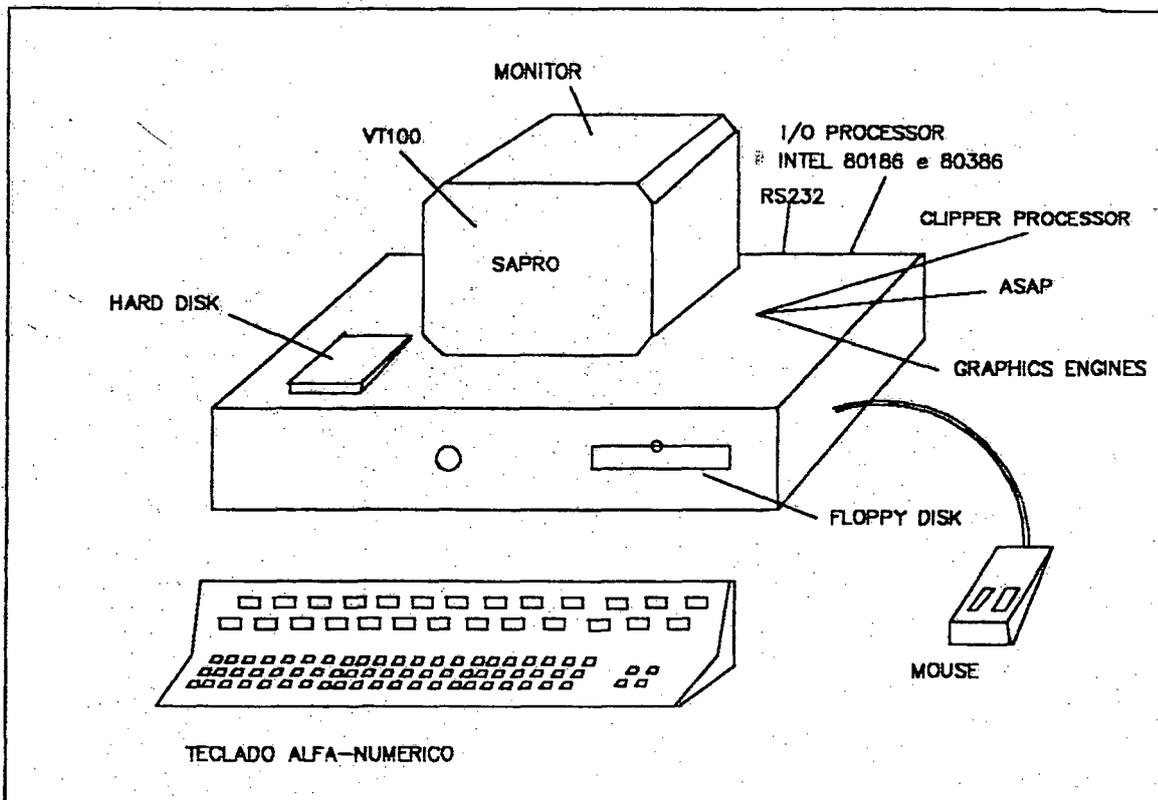


Figura 2.2 - Ambiente de trabalho criado pela Interpro 32C.

Terminal Alfa-numérico

Como dispositivo de console para o SAPRO utiliza-se um

terminal alfanumérico compatível ao VT100.

Application-Specific Acceleration Processor (ASAP).

Mais conhecido por Processador de Ponto flutuante, com capacidade de 8 MB para armazenamento de dados e 1 MB para armazenar comandos de controle. O ASAP é microprogramável e tem como função diminuir o tempo de execução de gráficos e tarefas dos programas aplicativos.

CLIPPER Processor.

Residente na placa de memória do processador principal. O Processador CLIPPER possui três chips: um para comunicação com a CPU (dual-bus), outro para manipulação de instruções, funcionando como uma memória cache, e o terceiro, também atuando como cache, para armazenar dados. Durante as operações do System V, o CLIPPER é o processador central enquanto os processadores 80186 e 80386 funcionam como "slaves" para o processo de I/O [CLI01].

Floppy Disk Drive.

O dispositivo utilizado para acesso aos disketes são de 5,25 polegadas, podendo ler e gravar em alta-densidade (2.400 blocos de dados, 512 bytes por bloco) e baixa-densidade (712 blocos de dados, 512 bytes por bloco). Este dispositivo pode armazenar tanto arquivos gerenciados pelo System V como também pelo PC-DOS.

Graphics Engines.

É composto por um Processador Gráfico e uma memória do tipo frame buffer. O processador executa tarefas tais como: projeção de janelas, corte (clipping) de janelas, geração de vetores, preenchimento de polígonos, geração de textos e movimentação de blocos por operações do tipo raster. A memória (frame buffer) armazena os dados correspondentes a cada pixel da tela.

Hard Disk Drives.

Como disco rígido é utilizado um dispositivo de 156MB. Este dispositivo possui dimensão de 5,25 polegadas.

I/O Processor Board.

Os processadores Intel 80186 e 80386 controlam as operações de entrada e saída e a maioria dos programas de diagnósticos. O 80186 possui ainda uma memória local de 1/2 MB, enquanto o 80386 inclui uma memória de 2 MB.

Como dispositivos de transmissão de dados os processadores podem utilizar uma porta paralela ou porta serial RS232. Esta última é responsável pela interligação com a Autocut para transmissão dos programas NC.

Monitor.

As dimensões do monitor utilizado é de 19 polegadas, com 60-Hz e policromático. A resolução deste monitor é de 1184x884

pixels com uma densidade de 82 pixels por polegada.

Mouse

Utilizado para movimentar o cursor na tela. Possui três "buttons" para entrada de coordenadas com um sistema do tipo "rolling-ball" para movimentação.

Plotter

O SAPRO utiliza atualmente como dispositivo traçador de gráficos o Plotter TDD21R da Digicon S.A. [PLO01]. O TDD21R apresenta as seguintes características principais:

- . Formato da mídia A1 e A2, conforme normas DIN823 (folha solta, papel vegetal ou poliéster);
- . Pena ponta porosa ou nanquim;
- . Interface RS232C;
- . Taxa de transferência de 300 a 9600 BAUD;
- . Resolução 0.025mm, 0.1mm, 0.005" ou 0.001";

2.3.2 - AUTOCUT

A Autocut corresponde a uma família de máquinas para corte

de chapas por processo termo-químico fabricadas pela White Martins Soldagens, com tecnologia nacional. As principais especificações e características destas máquinas podem ser verificadas pela figura 2.3 [AUT01].

| DIMENSAO | AUTOCUT 2.5 | AUTOCUT 3.0P / 4.0P / 5.0P | | |
|----------------------------|------------------|----------------------------|------|------|
| A. Largura útil de corte | 2,5m | 3,0m | 4,0m | 5,0m |
| B. Largura entre trilhos | 3,0m | 4,0m | 5,0m | 6,0m |
| C. Largura total | 3,8m | 4,7m | 5,7m | 6,7m |
| Garagem da máquina | 1,2m | | 2,0m | |
| Comprimento de corte | múltiplo de 2,5m | múltiplo de 2,5m | | |
| D. Altura da máquina | 2,3m | | 2,3m | |
| E. Altura da mesa de corte | 0,7m | | 0,7m | |

Figura 2.3 - Máquinas de corte Autocut. Especificações e Características.

A configuração básica de uma máquina Autocut compreende:

- . Estações para corte Oxicombustível e a Plasma;
- . Dispositivos de marcação a Pó (óxido de zinco) e

Pneumático;

. Dispositivos Opcionais;

. O Comando Numérico Computadorizado (CNC) MCS 350 [CNC01].

Estes elementos serão melhor abordados na seqüência.

Estação de Corte Oxidcombustível e a Plasma

Esta estação possui uma ferramenta adequada para promover a mistura de gases necessária à oxidcombustão, sendo guiada por toda a área de corte através de um suporte motorizado. Também possui uma chama piloto que pode ser ativada manualmente, pelo controle do CNC, ou através da Programação NC.

Durante o processo de corte, é comum a ocorrência de pequenas deformações do material. Com a constante movimentação da estação, pode ocorrer uma colisão da mesma com a chapa ou peças distorcidas. Para solucionar este problema, a estação é equipada de um sensor capacitivo que faz as compensações de altura, acompanhando os eventuais empenos. Este sensor capacitivo também promove uma melhor qualidade de corte pela distância mantida entre a chapa e a ferramenta de corte.

Estação de Corte Plasma

O processo de corte a Plasma é geralmente requisitado pela impossibilidade de corte por Oxidcombustível, em materiais como alumínio e aço inoxidável. A configuração de uma estação para

Plasma é similar à de Oxidcombustão. O suporte motorizado e o sensor capacitivo são como os anteriores. A estação Plasma ainda possui um dispositivo de controle do processo de corte denominado "Plumbing Box".

Dispositivos de marcação a Pó e Pneumático

Algumas atividades posteriores ao corte das chapas como furação, dobramentos, encaixes e soldagens, exigem que as peças sejam marcadas para tais finalidades. Esta tarefa pode ser realizada pelos Marcadores de Pó ou Pneumático (também conhecido por Puncionador Pneumático). Uma das diferenças entre estes dois processos, é que, o primeiro, utilizando óxido de zinco, permite a marcação das peças sem os inconvenientes de ruídos e vibrações apresentados pelo segundo.

Tanto o Marcador a Pó como o Pneumático são montados no mesmo dispositivo das ferramentas de corte, o que lhes possibilita, recursos de posicionamento através do CNC.

Dispositivos Opcionais.

Outros dispositivos ou acessórios podem ser adquiridos e conectados à estrutura da máquina. Pode-se relacionar dentre estes, os seguintes dispositivos principais: sistema de refrigeração a água e a ar, estação para corte retilíneo com chanfro (X, K e Y), acendimento automático e apalpador para corte de chapas finas pelo processo plasma.

O Comando Numérico Computadorizado (CNC) MCS 250/350

Os CNC's 250/350 são comandos numéricos desenvolvidos para diversas aplicações, tais como:

- . Tornos, centros de usinagem e fresadoras;
- . Máquinas de precisão, como retíficas planas ou cilíndricas;
- . Máquinas de ferramentaria, como por exemplo afiadoras de ferramentas.

Estes comandos controlam automaticamente a usinagem de uma peça de acordo com um programa armazenado e são capazes de comandar troca de ferramentas, variar a velocidade da árvore, executar ciclos fixos, subprogramas, subrotinas e funções auxiliares diversas. Estes CNC's são ainda capazes de controlar até cinco eixos, com interpolação linear três a três e circular dois a dois, podendo ainda corrigir comprimento e raio de ferramenta e executar roscas encadeadas, paraxiais ou cônicas.

Os comandos CNC's 250/350 possuem um CLP (Controlador Lógico Programável) integrado, possibilitando o controle de 32 entradas (63 quando usando módulo de expansão) e 24 saídas.

A programação destes CNC's pode ser realizada via entrada manual de dados pelo operador, ou através da recepção de um programa via RS232.

Estes CNC's podem também ser gerenciados por uma central via DNC (Direct Numerical Control), possibilitando controlar remotamente as funções operacionais do comando sem usar o seu teclado. Outra característica destes CNC's refere-se à capacidade de simulação via monitor monocromático adaptado ao comando.

ANEXO 3 - ENSAIOS

Neste anexo mostra-se uma série de ensaios realizados com o sistema SAPRO. A seqüência de apresentação dos resultados obedecerá a mesma seqüência de execução dos Módulos do SAPRO. Esta seqüência de apresentação terá como premissa principal o ponto de vista do usuário final.

Para formação do Lote, a ser ensaiado, foi selecionado um conjunto de peças do tipo de produção a ser atendida pelo SAPRO. Este Lote é composto de 6 peças extraídas das seguintes fontes:

- 1 - Catálogos de sistemas similares estrangeiros [LIN01];
- 2 - Empresas que possuem características para utilização do SAPRO;

3 - Disciplina de Programação Assistida por Computador ministrada no Depto de Engenharia Mecânica da UFSC [EXA01].

Acredita-se, com esta estratégia de formação do Lote, comprovar mais realisticamente as potencialidades oferecidas pelo SAPRO, principalmente no que diz respeito aos seguintes itens:

1 - A comparação com sistemas similares pode mostrar mais facilmente o estágio tecnológico que foi alcançado pelo SAPRO;

2 - A atuação, junto às empresas que apresentam possibilidades de se tornarem usuários do SAPRO, pode melhor comprovar os objetivos finais a que se destina o mesmo;

3 - A utilização do SAPRO pelos pesquisadores ligados ao GRUCON, permite observar a principal diretriz do Laboratório, á saber: a formação de recursos humanos.

3.1 - MODULO SPDF (DESENHO)

Antes de serem apresentados os projetos técnico-mecânicos das peças do Lote, faz-se necessário apresentar resumidamente os recursos disponíveis para esta etapa do ensaio.

Inicialização

Para a função de Inicialização é apresentado ao usuário o

menu mostrado na figura 3.1, para possível seleção de desenho de Peça ou Primitiva.

Uma primitiva corresponde a um elemento geométrico simples ou complexo, que se repete várias vezes em um projeto técnico-mecânico, ou que pode ser usado para construir projetos diferentes mas com características semelhantes. Assim como as ferramentas que serão apresentadas podem ser utilizadas para construir um projeto técnico-mecânico, elas também podem ser usadas com todo o seu potencial para criarem uma primitiva.

The image shows a graphical user interface for a software application. At the top, there is a menu titled 'DESENHO'. Below it, there are several input fields and checkboxes:

- Identificacao:** A text box containing 'edraa' and a checkbox labeled 'Peça' which is checked with an 'X'.
- Comentario:** A text box containing 'BBC/SP' and a checkbox labeled 'Primitiva' which is unchecked.
- Data:** A text box containing '07/07/91' and a checkbox labeled 'Unidade: mm' which is checked with an 'X'.
- Tempo:** A text box containing '0:00:00' and a checkbox labeled 'm' which is unchecked.
- Mensagem:** A text box containing 'peca nova' and a checkbox labeled 'pol' which is unchecked.

At the bottom of the screen, there are two buttons: 'Confirma' and 'Cancela'.

Figura 3.1 - Tela de entrada do SPDF. Por default o sistema

Modelagem Geométrica

Uma vez definido o que vai ser construído pelo SPDF, pode-se executar este segundo grupo de funções que caracterizam as possibilidades de definições geométricas: a principal função do módulo SPDF. Através delas, o usuário poderá manipular elementos geométricos básicos para formarem elementos mais complexos, até obter o projeto técnico-mecânico desejado. Estas possibilidades estão expostas na tabela 3.1, 3.2 e 3.3.

- A ponto dado as coordenadas (x,y)
- B ponto como centro de uma dada circunferencia
- C ponto pertencente a uma circunferência e a uma reta, passando pelo centro da circunferência, formando um ângulo β com o eixo x
- D ponto pertencente a uma reta, dada uma distância
- E ponto como intersecção de duas retas dadas
- F ponto como intersecção ou tangência entre reta e circunferência
- G ponto como intersecção ou tangência entre circunferências

Tabela 3.1 - Possibilidades para criação de pontos.

- A reta vertical passando por um ponto
- B reta horizontal passando por um ponto
- C reta passando por dois pontos
- D reta passando por um ponto e com uma inclinação dada com o eixo x
- E reta paralela a outra reta dada uma distância
- F reta tangente a uma circunferência e formando um ângulo β com o eixo x
- G reta tangente a uma circunferência e passando por um ponto fora dela
- H reta tangente a duas circunferências

Tabela 3.2 - Possibilidades para criação de retas.

- A arco dado centro e raio
- B arco dado um ponto e raio
- C arco tangente a duas retas dado um raio
- D arco passando por um ponto e tangente a uma reta e dado o raio
- E arco tangente a outro arco passando por um ponto dado o raio
- F arco tangente a outro arco e uma reta dado o raio
- G arco tangente a outros dois arcos dado raio
- H arco tangente a uma reta dado o ponto de tangência e outro qualquer

Tabela 3.3 - Possibilidades para criação de Arcos.

Outra ferramenta fundamental para desenho das peças é a criação de cantos. O arredondamento pode ser executado selecionando-se o correspondente ícone. Verifique a figura 3.3.

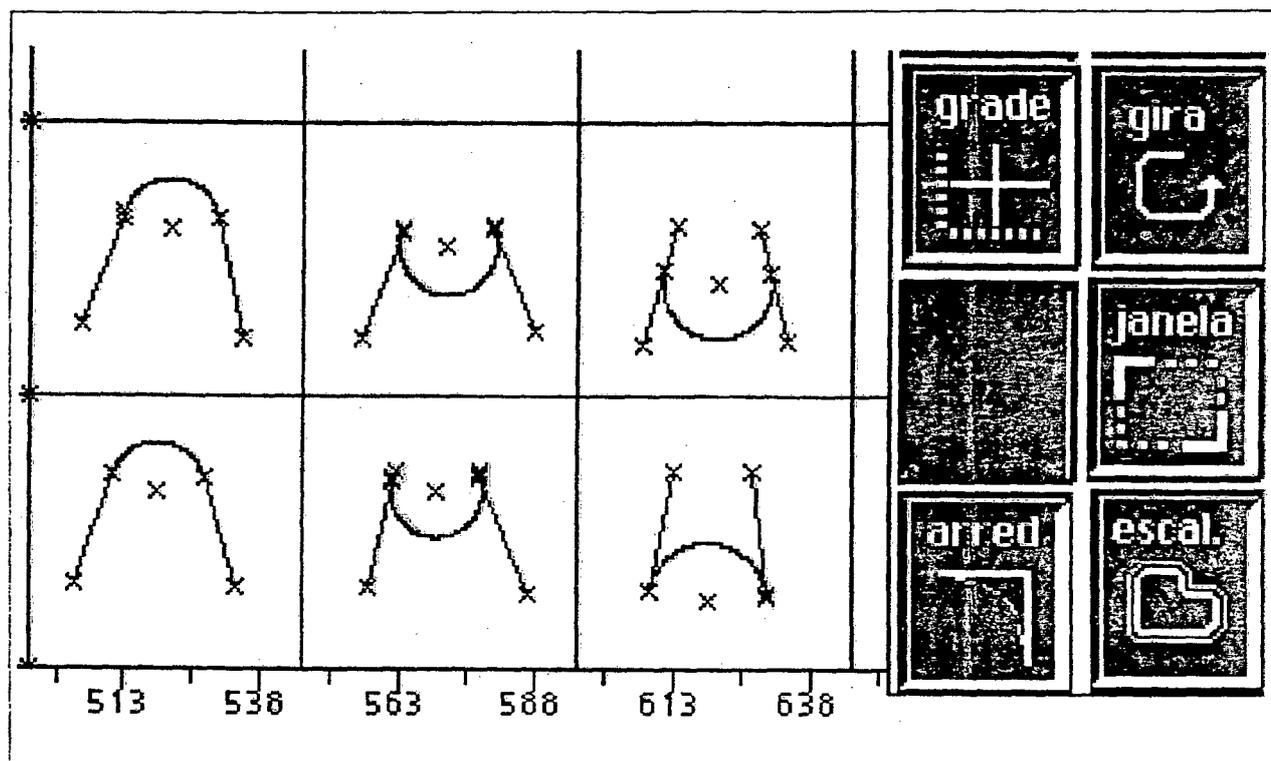


Figura 3.3 - Tela mostrando as possibilidades de arredondamento entre retas.

Manipulação de Primitivas

Este recurso, considerado muito útil para construção de peças que possuem porções geométricas repetidas, pode ser acionado pelo correspondente ícone que gerará um menu de identificação da primitiva. Através do preenchimento dos campos apropriados o usuário poderá definir confortavelmente uma série de transformações geométricas (translação, rotação e escalonamento em x e em y) que serão aplicadas à primitiva. Através do mesmo menu, o usuário define a posição e o número de ocorrência da primitiva. Verifique a sequência das figuras 3.4.

Recursos Adicionais

Para executar o processo de Visualização, o usuário utiliza o ícone apropriado e define facilmente as windows. Este recurso possibilita a visualização do desenho desde da forma mais detalhada possível até a forma mais geral. Verifique a seqüência mostrada pelas figuras 3.5.

Muitas das peças que são desenhadas possuem características de simetria. Através do ícone correspondente, pode-se definir um eixo de reflexão da geometria que deve ser espelhada e obter o resultado mostrado pela seqüência da figura 3.6.

Transformações geométricas de translação e rotação, aplicadas ao projeto técnico-mecânico de forma isolada, podem ser observadas pela figura 3.7. Em vários casos, pode ser observado que uma peça possui geometria similar a outra, apenas diferenciadas pela escala. A figura 3.8 mostra um exemplo do recurso de escaionamento.

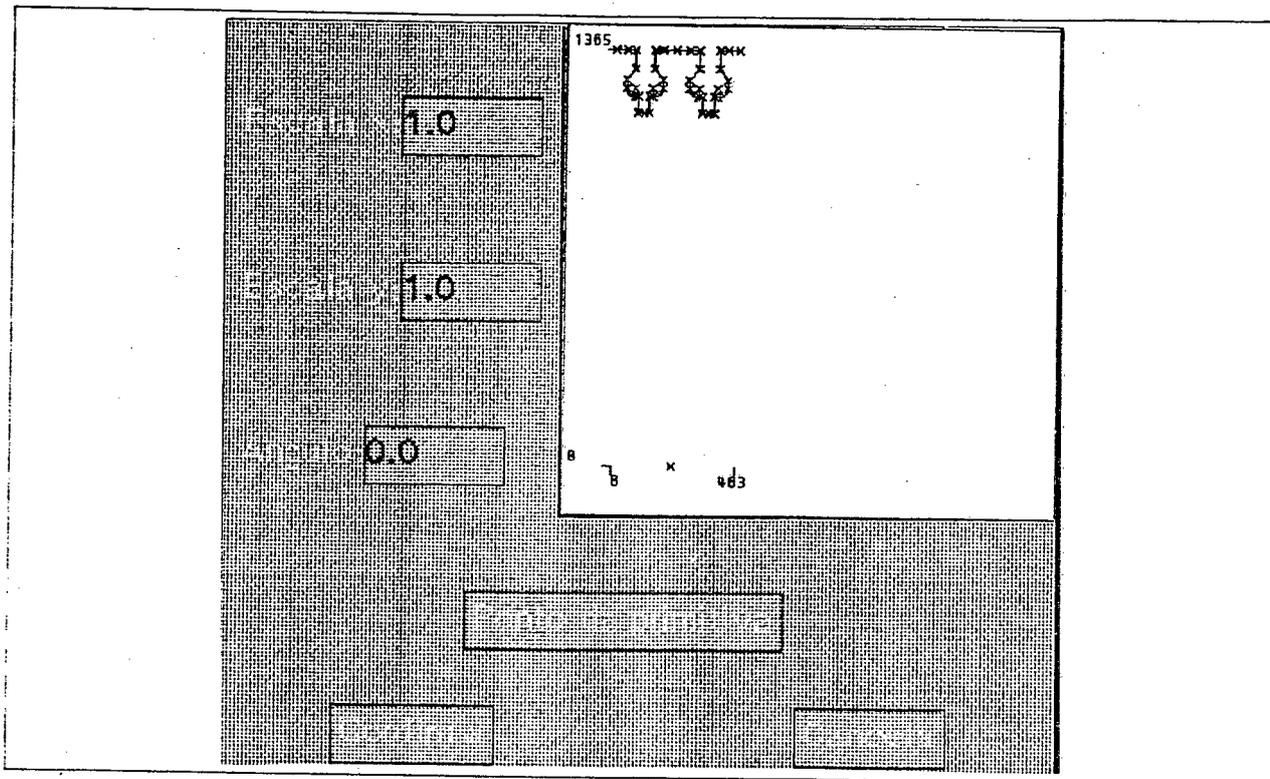


Figura 3.4a - Primitiva.

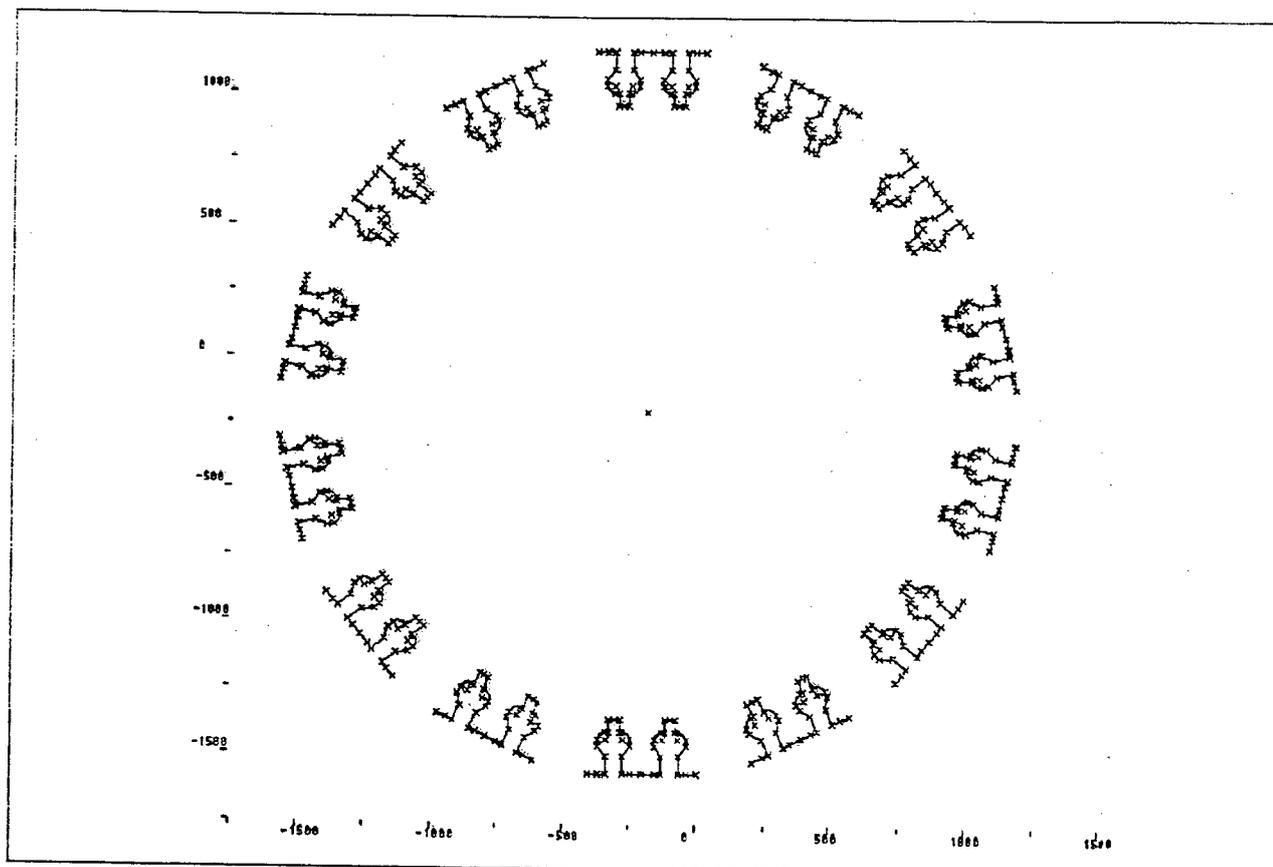


Figura 3.4b - Primitiva posicionada 14 vezes.

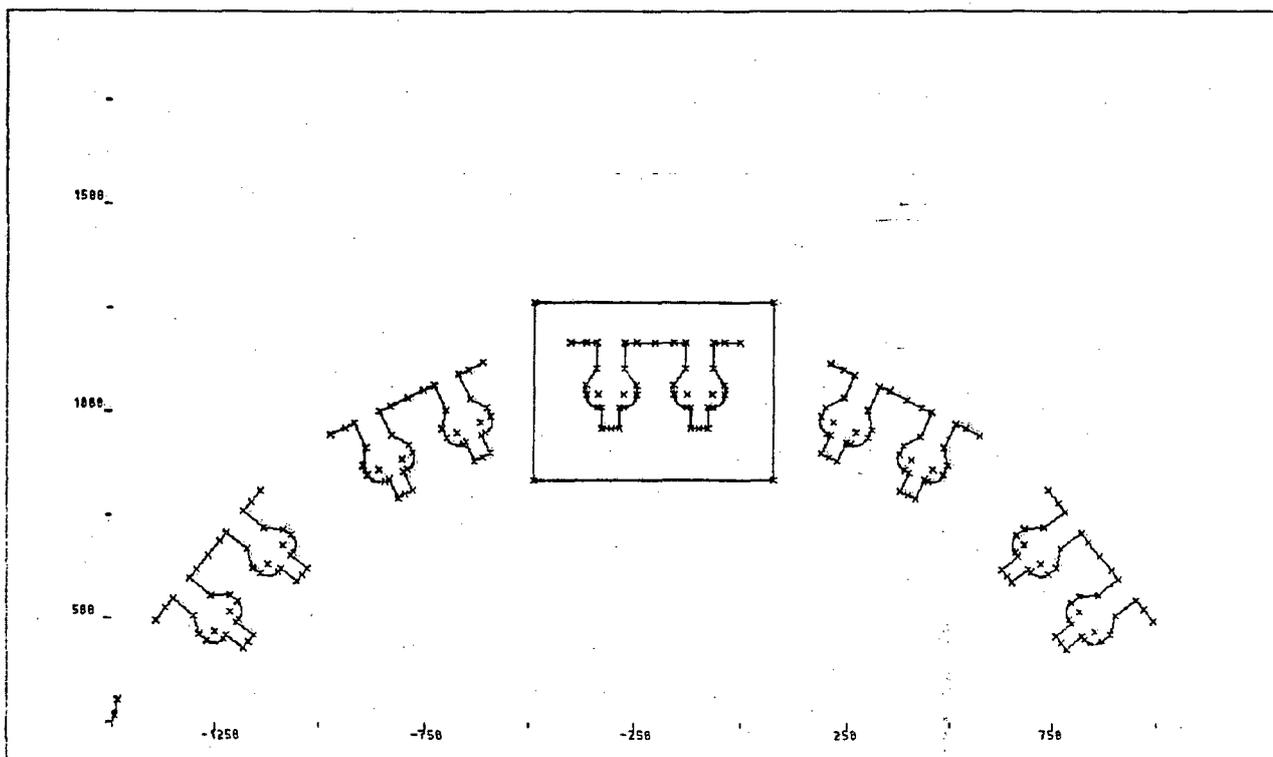


Figura 3.5a - Exemplo de redefinição da window.

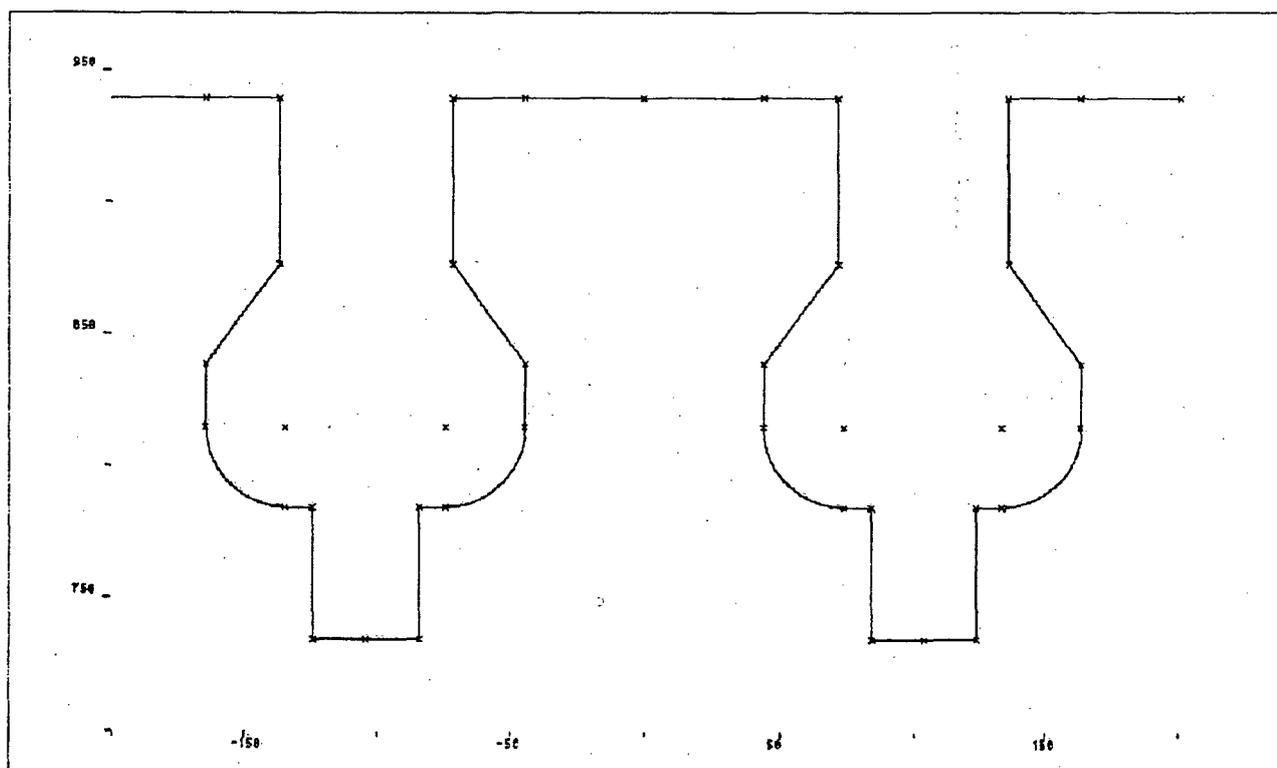


Figura 3.5b - Exemplo de zoom in.

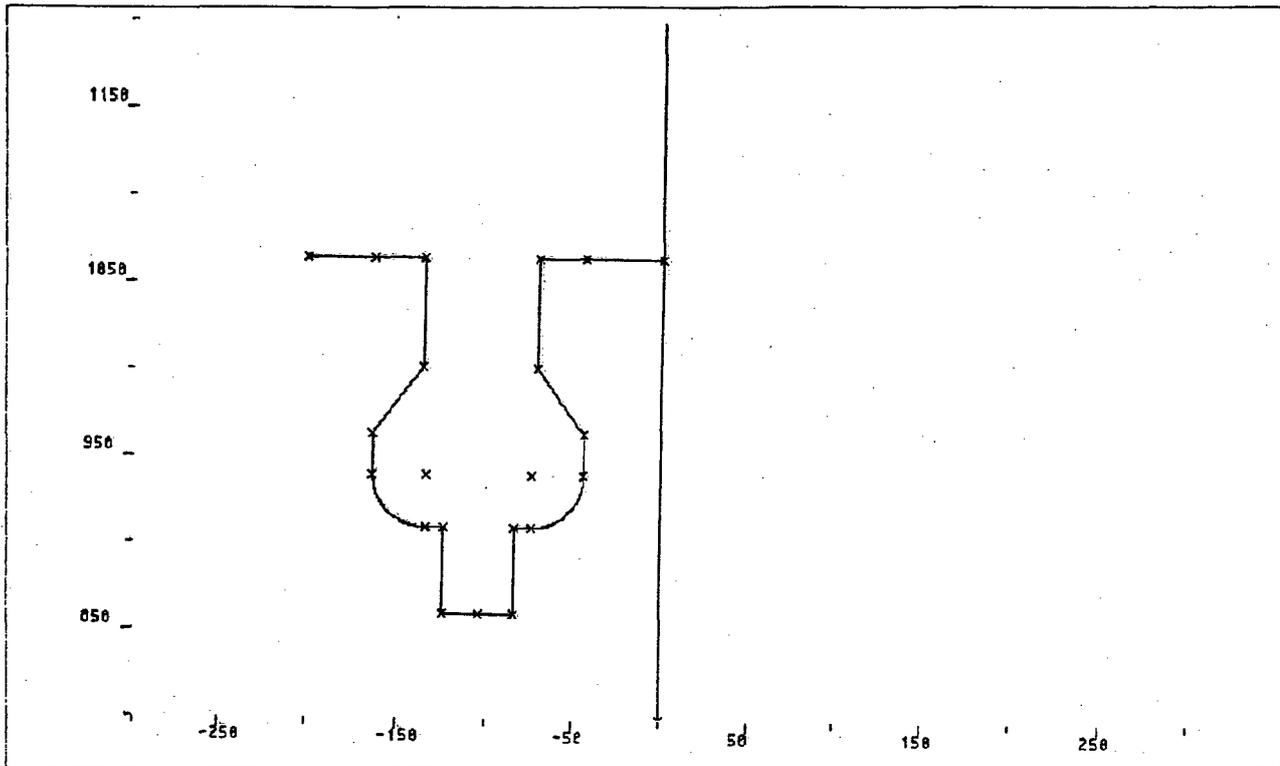


Figura 3.6a - Geometria à ser espelhada.

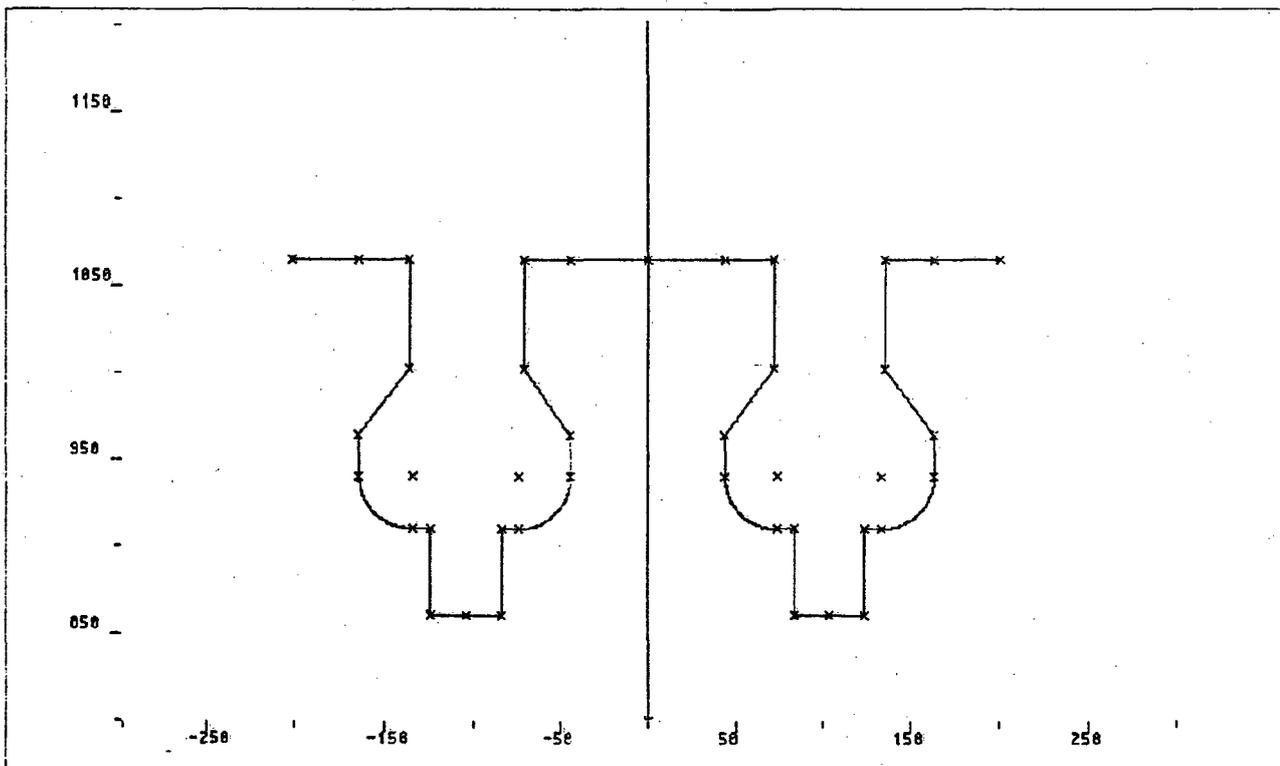


Figura 3.6b - Exemplo da utilização do recurso de simetria.

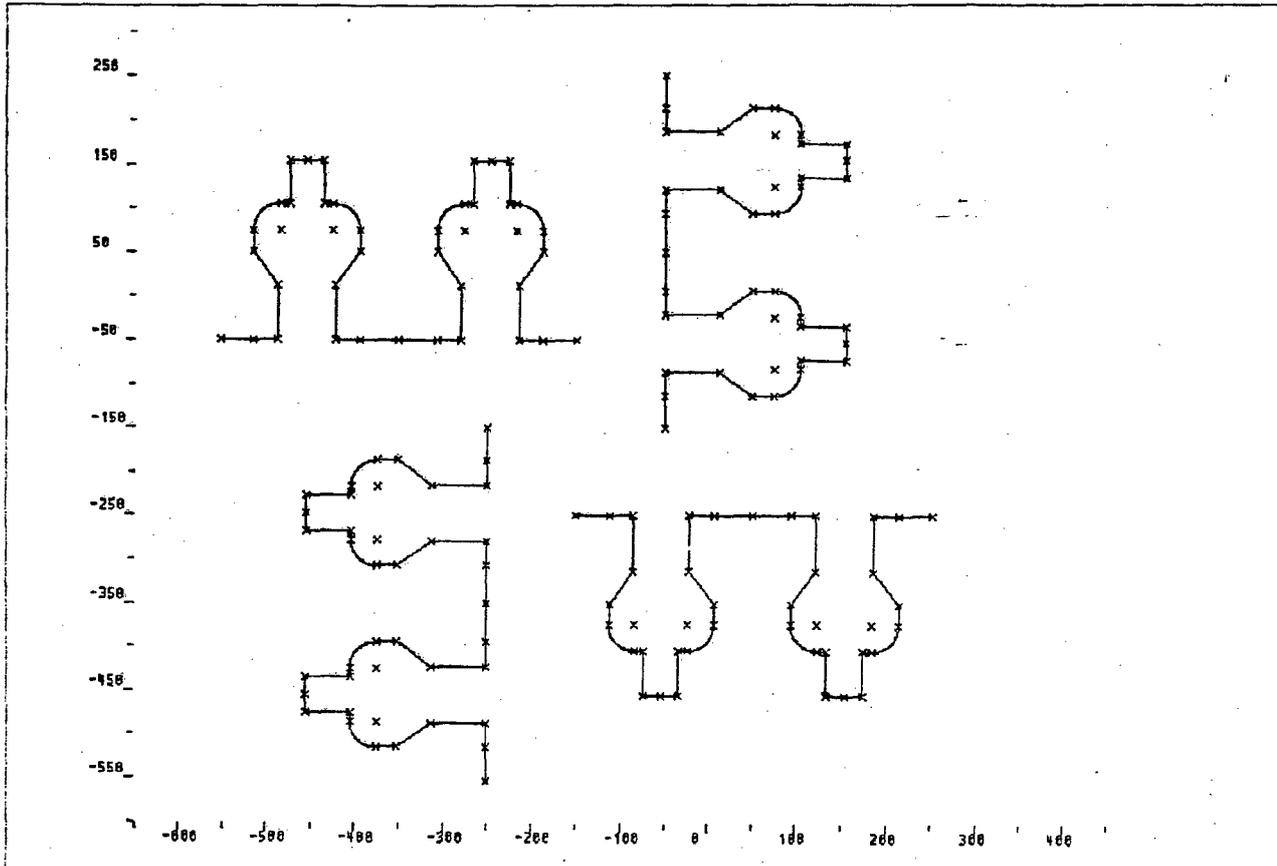


Figura 3.7 - Exemplos de aplicação de translação e rotação.

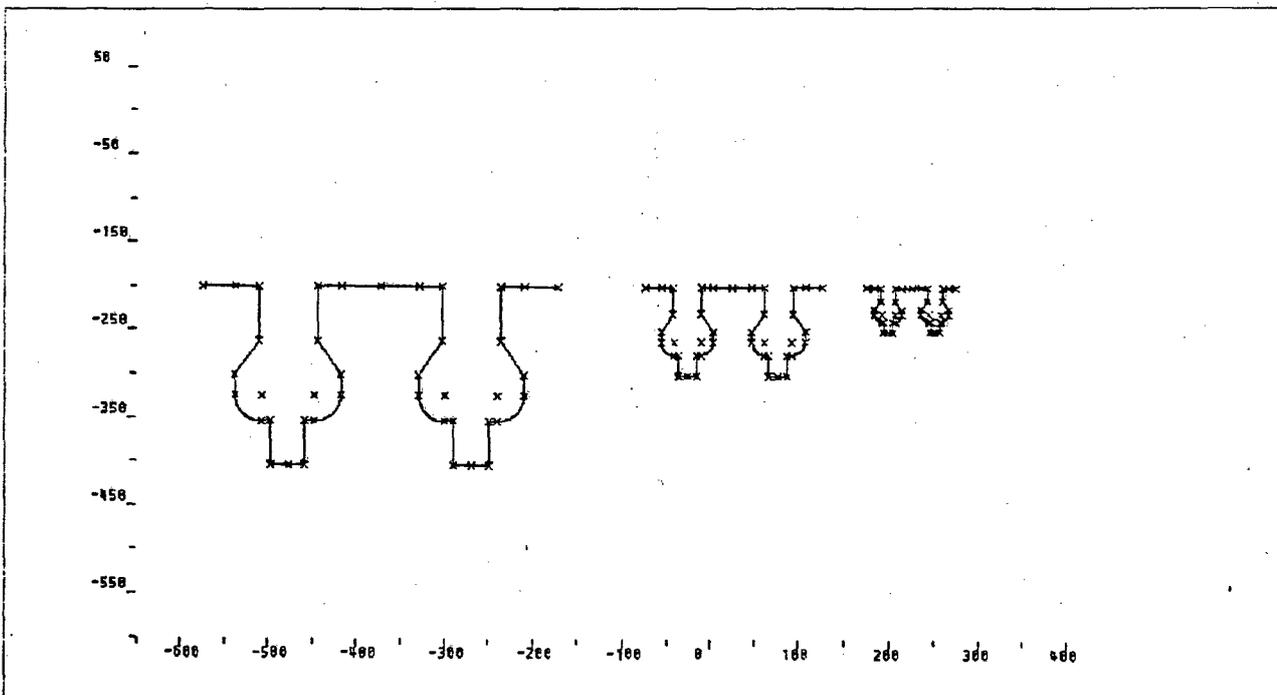


Figura 3.8 - Exemplo de transformação de escalonamento.

O recurso de quadriculação promove a geração da conhecida "grade". Este elemento permite ao usuário definir as coordenadas dos elementos geométricos de forma mais flexível sem perder o rigor numérico dos valores. Para evitar um excesso de informações visuais, o SPDF não exibe a grade propriamente dita, como acontece com a maioria dos sistemas similares. No SPDF o cursor é expandido de forma a indicar nos eixos x e y o valor das coordenadas. Verifique a sequência da figura 3.9.

Para se obter informações referentes a cada elemento geométrico do desenho, utilizam-se os recursos de Detalhamento como mostrado pela figura 3.10.

Várias informações mantidas como defaults pelo sistema podem ser alteradas através do ícone de atributos. Dentre as mais importantes cita-se o tempo de pré-aquecimento, que pode ser alterado a qualquer instante do processo de desenho. Verifique a figura 3.11. Os valores informados nos campos "Raio do Arco" e "Tamanho da Reta", identificam o comprimento necessário para o tempo de pré-aquecimento.

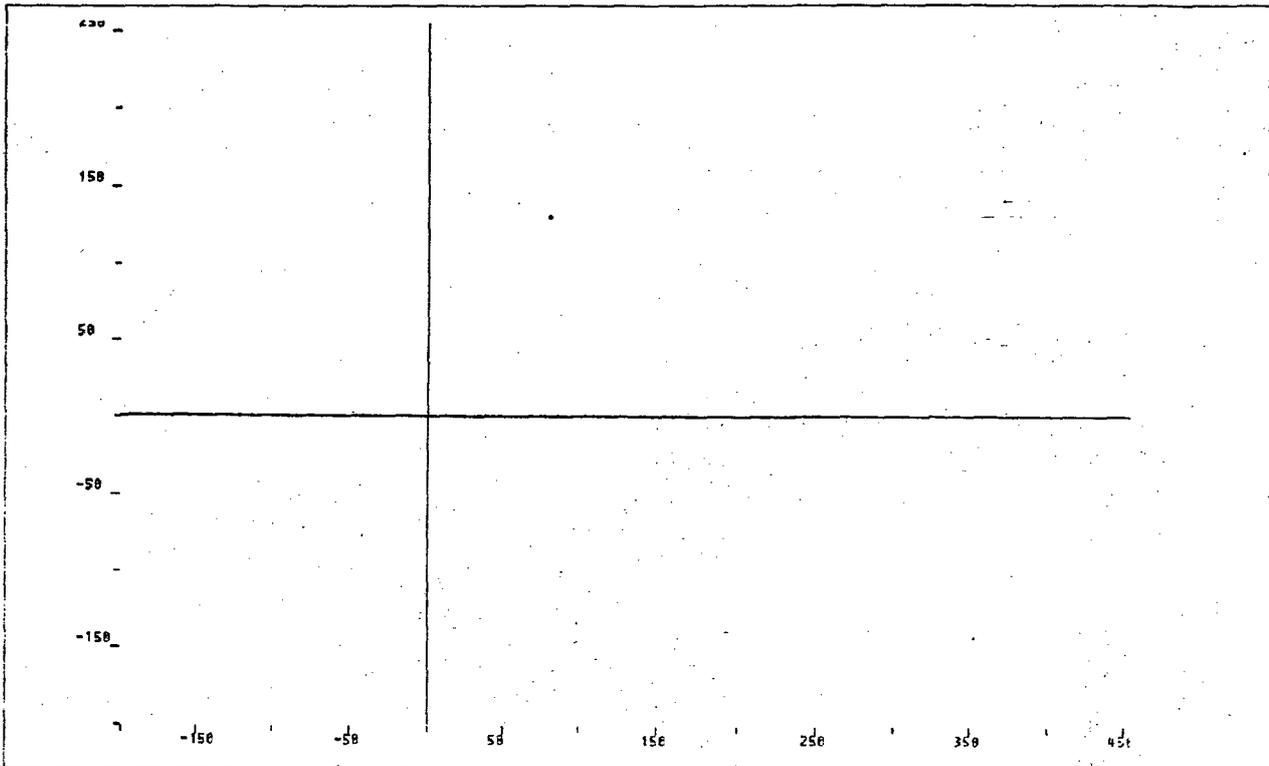


Figura 3.9a - Definição de grade com precisão de 100x100.

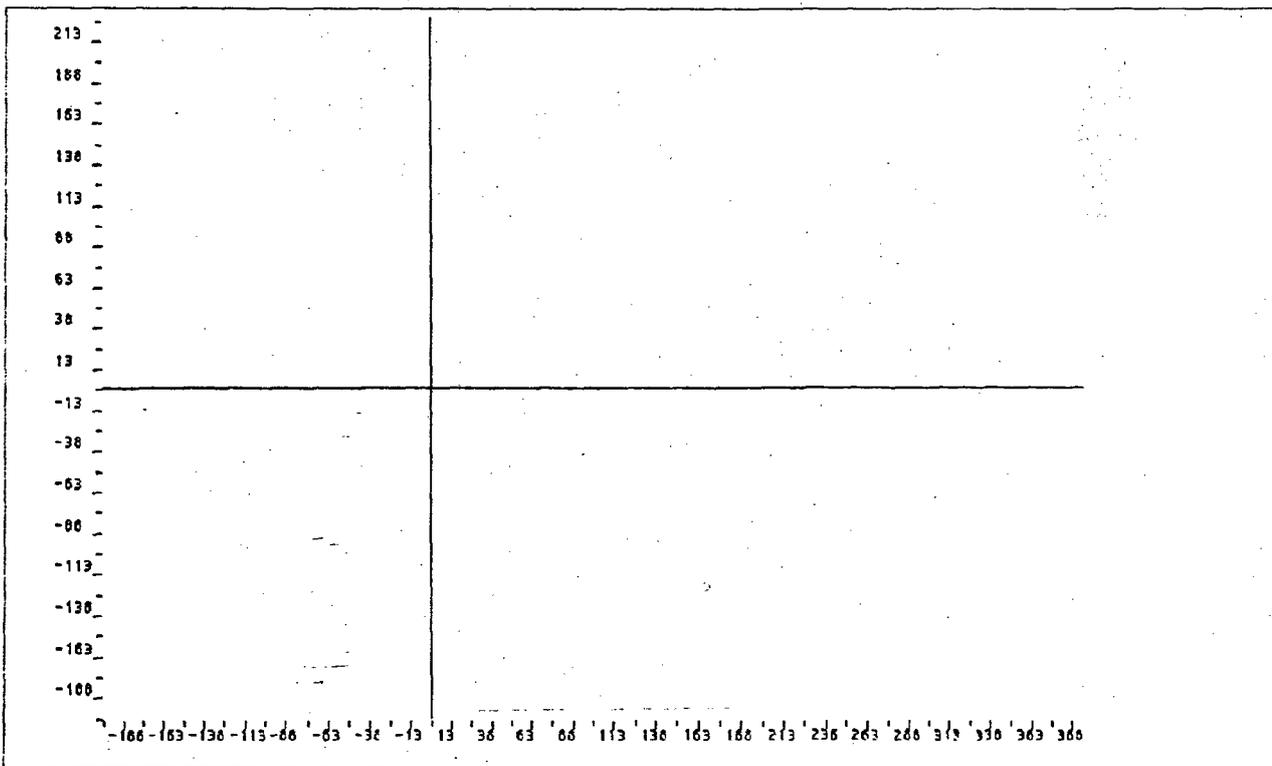


Figura 3.9b - Definição de grade com precisão de 13x13.

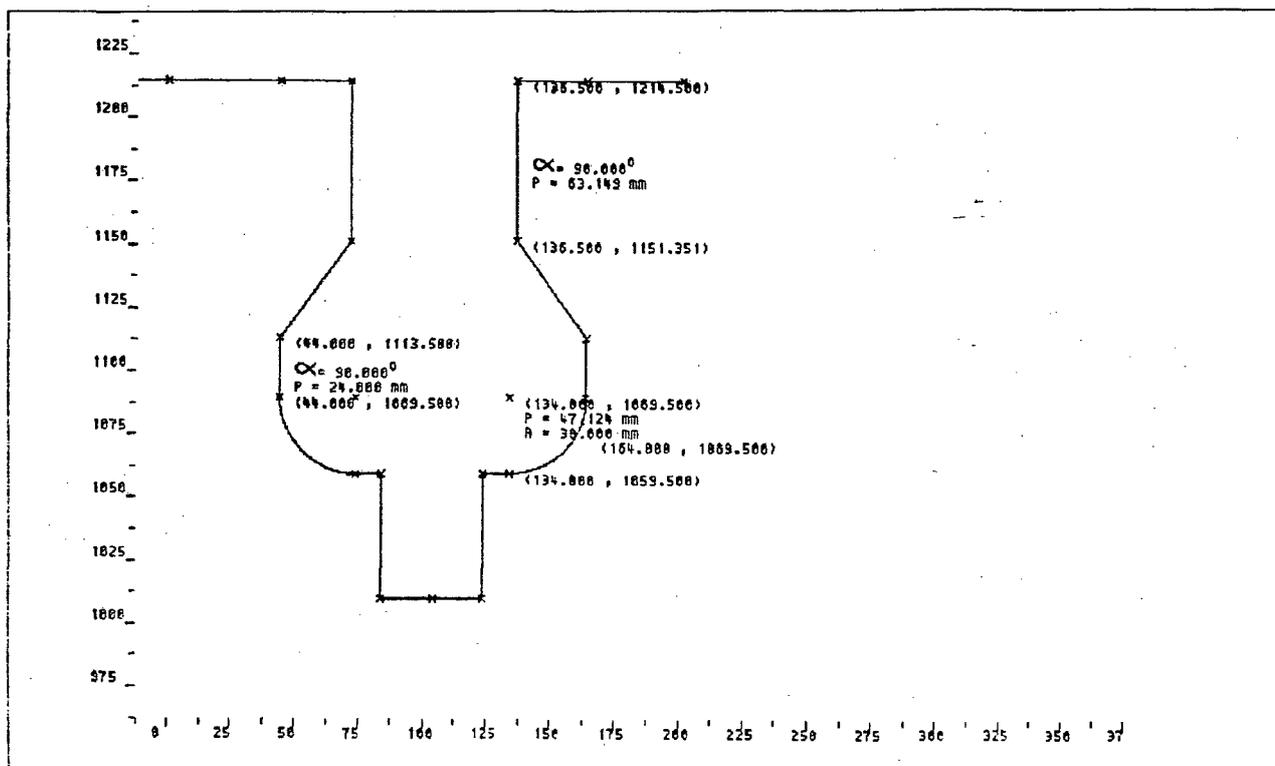


Figura 3.10 - Exemplo de detalhamento da geometria da peça.

Informações Tecnológicas

Neste grupo de funções está fortemente caracterizada a potencialidade do SPDL na resolução de problemas específicos. Através deste recurso pode-se definir condições tecnológicas específicas ao processo de corte de chapas. Esta é uma das propriedades do SPDF que lhe atribui maior vantagem sobre a maioria dos Sistemas CAD/CAM que possuem características para resolução de problemas mais genéricos.

Considerando-se principalmente a espessura da chapa que será utilizada para corte da peça, a suavidade requerida para início do corte, o processo de corte envolvido (combustão ou plasma), o calibre da ferramenta, o tempo de pré-aquecimento e a mistura dos gases, pode-se requisitar a forma de entrada da

ferramenta na peça (arco ou reta) e o perímetro que deve ser executado antes da ferramenta alcançar o contorno da peça (comprimento da reta ou arco). Da mesma forma são definidas as entradas e as saídas das ferramentas de marcação. Verifique a figura 3.12.

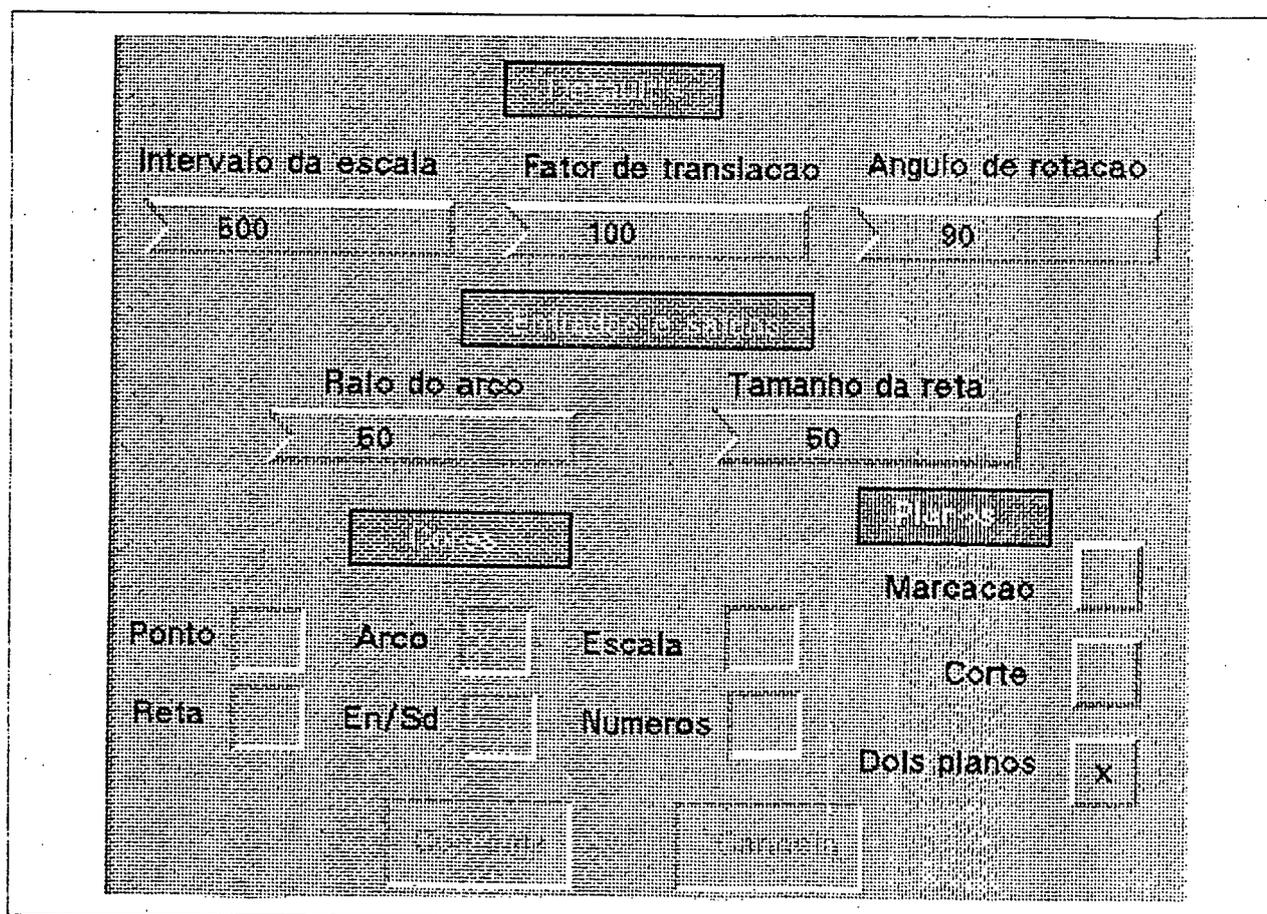


Figura 3.11 - Exemplos de atributos que especificam os valores defaults durante o processo de desenho.

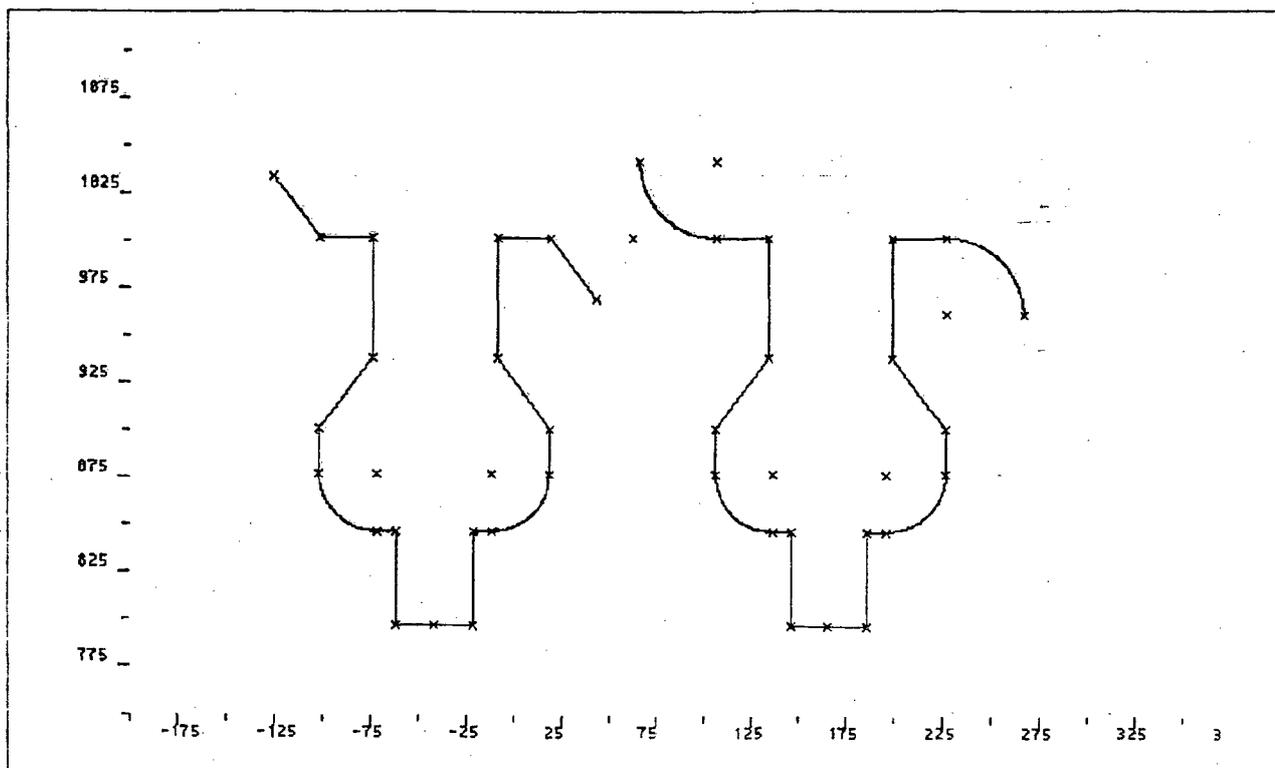


Figura 3.12 - Exemplos de entradas e saídas da ferramenta de corte. Exemplos de entradas e saídas da ferramenta de marcação.

Para completar as Informações Tecnológicas o usuário pode verificar a consistência de seu desenho, evitando possíveis problemas durante o efetivo corte das peças, através do ícone apropriado. Inicialmente o usuário indica em qual entrada a ferramenta iniciará seu corte. O sistema automaticamente percorre as geometrias, identificando os possíveis trajetos da ferramenta. A cada geometria pertencente ao caminho, o sistema verifica se suas definições de intersecção e tangenciamento estão corretas, evitando desta forma possíveis descontinuidades que podem causar a interrupção do processo de corte. Sem a execução desta função o sistema não libera a peça para os demais módulos. Verifique a seqüência mostrada na figura 3.13.

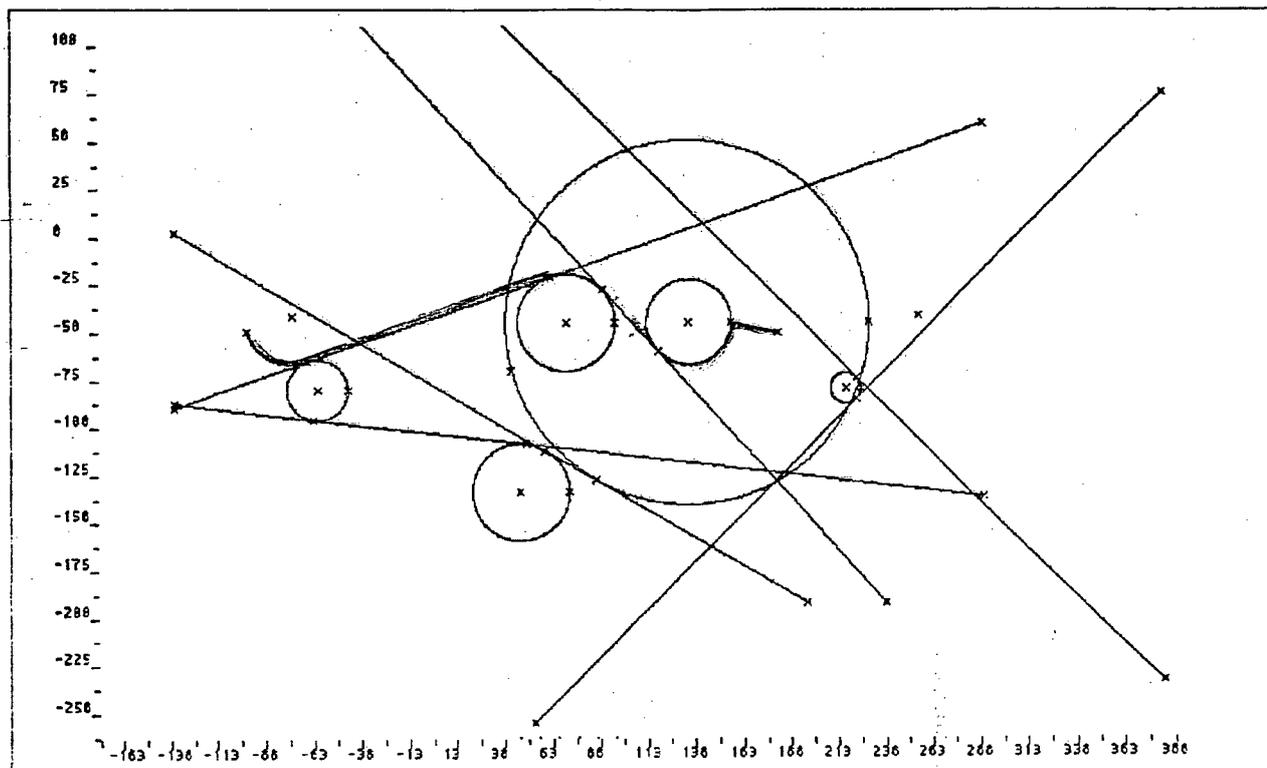


Figura 3.13 - Exemplo da verificação de consistência de uma peça.

Finalização

Para finalizar o processo de desenho e, conseqüentemente, promover a inserção da Peça no Cadastro de Peças, o usuário utiliza o mesmo menu mostrado na figura 3.1.

O Lote

Conhecidos os principais recursos do módulo SPDF, pode-se apresentar o Lote que será tratado nos demais módulos. Verifique a seqüência mostrada pela figura 3.14.

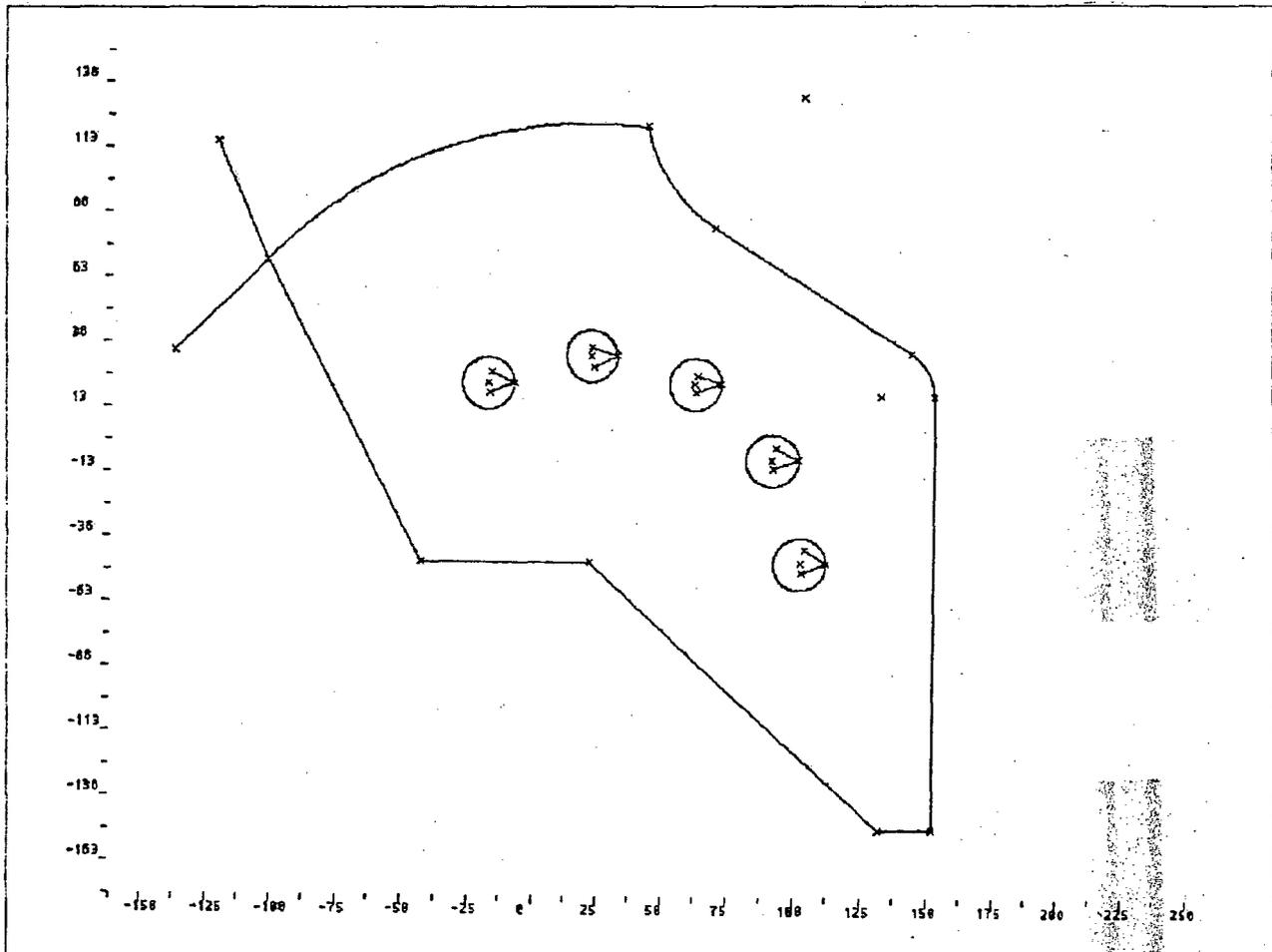


Figura 3.14a - Pode-se verificar que esta peça foi construída utilizando-se recursos básicos de desenho. A grande maioria de peças que devem ser tratadas pelo SAPRO, possui esta simplicidade geométrica.

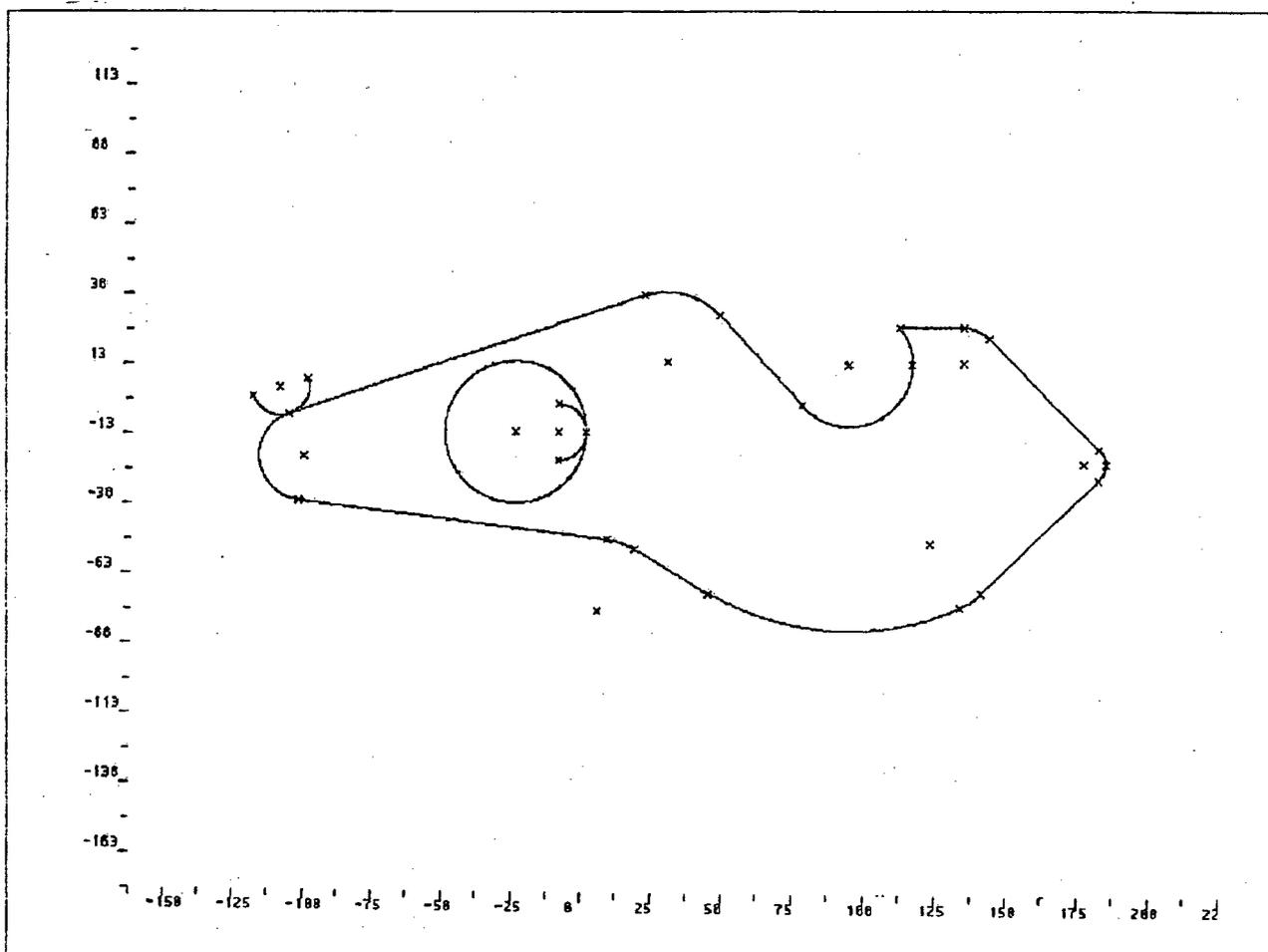


Figura 3.14b- Esta segunda peça visa comprovar um segundo grupo que requisita maior suavidade na sua construção. Vale ressaltar que esta peça também possui a característica de ser vazada. Pode-se verificar que foram utilizadas principalmente entradas e saídas de ferramentas em arcos.

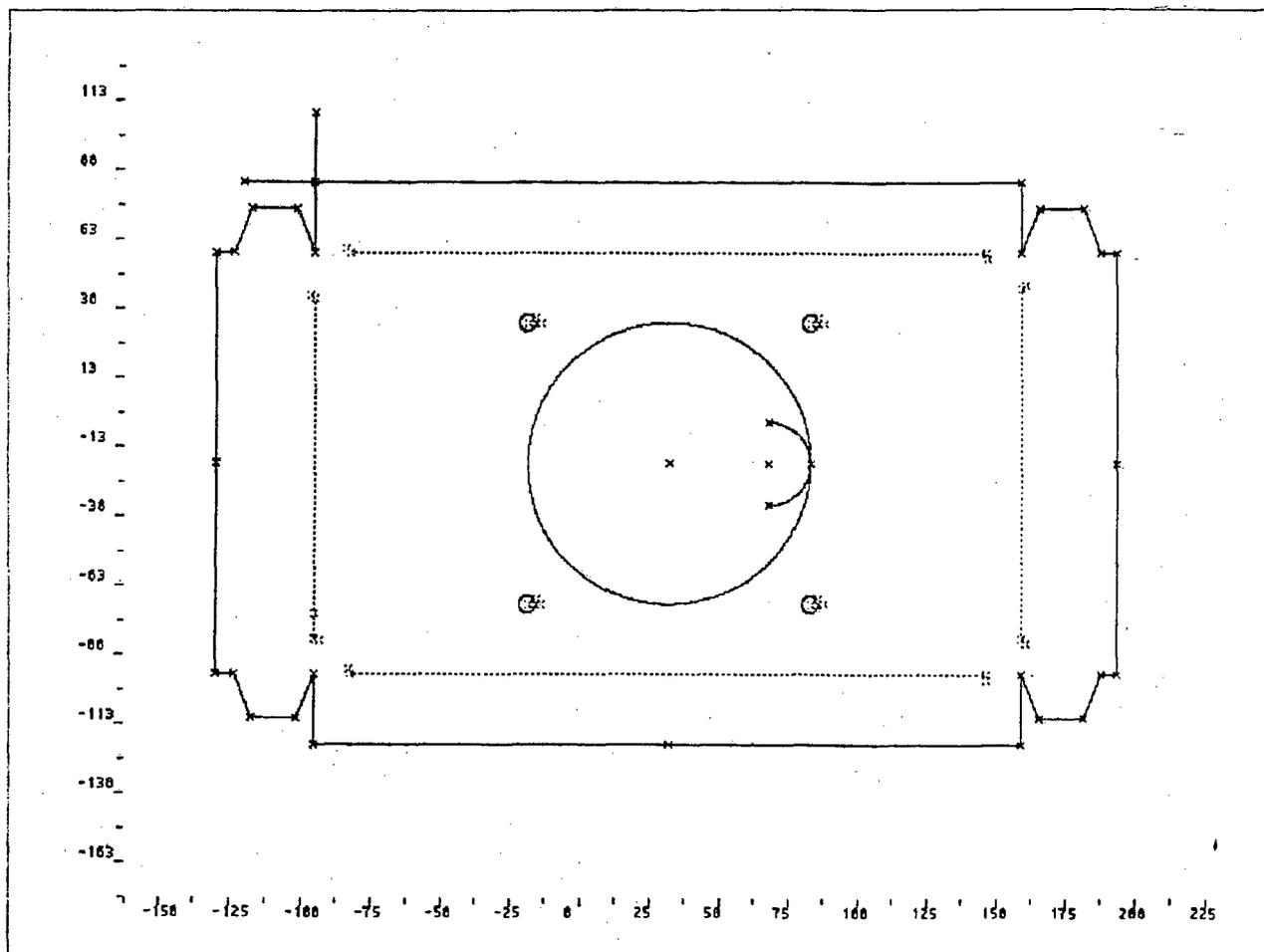


Figura 3.14c - Esta terceira peça tem como principal propósito comprovar a potencialidade de marcação que o sistema oferece. Neste caso, a marcação especifica um dobramento e a posição de furos, que serão realizados em outra máquina.

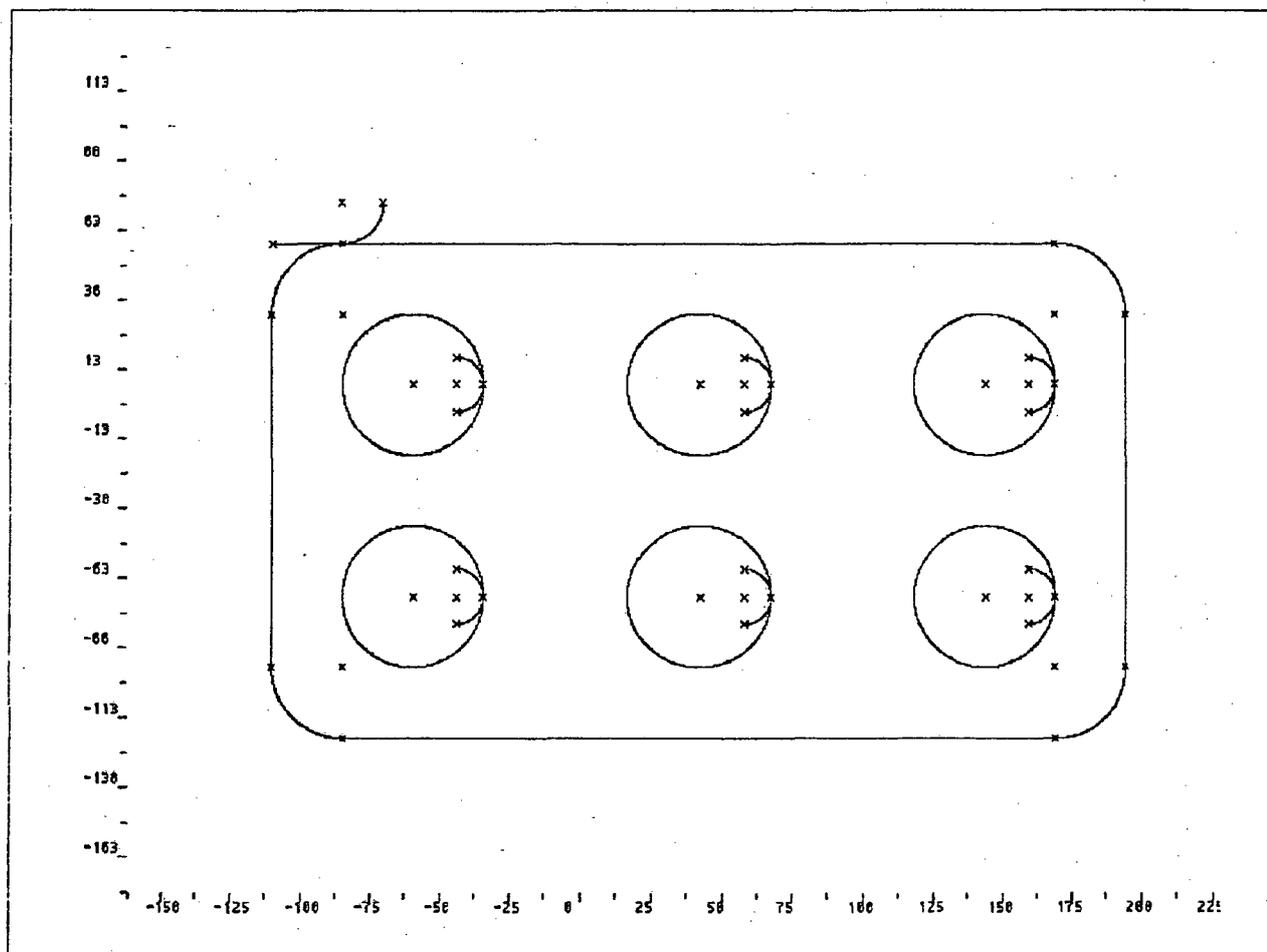


Figura 3.14d - Esta peça foi selecionada para facilitar a obtenção de melhor aproveitamento no encaixe. Este artifício é frequentemente utilizado no processo produtivo.

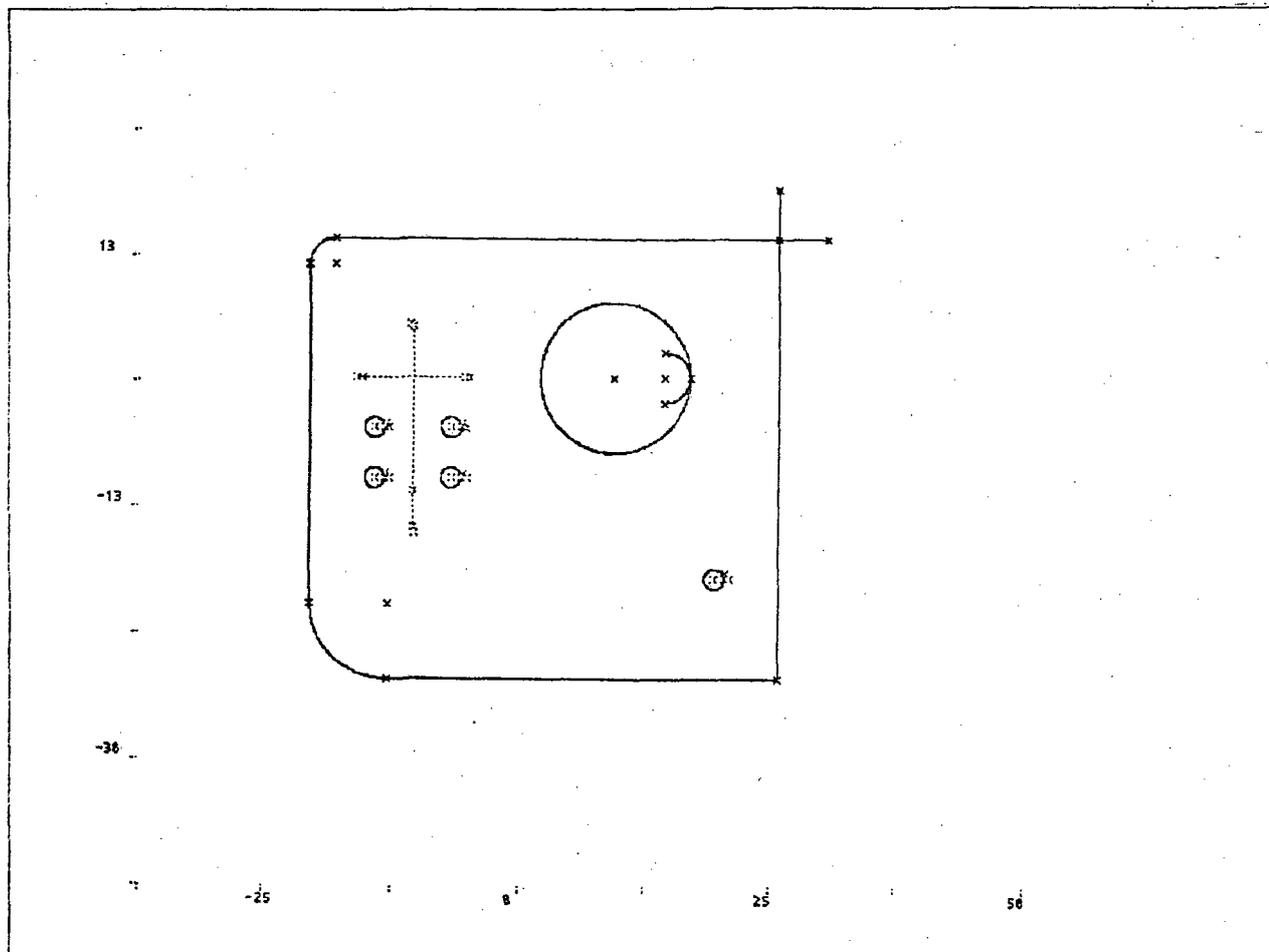


Figura 3.14e - Esta peça demonstra a potencialidade de um sistema CAD/CAM no tratamento da mesma, independentemente das suas dimensões.

3.2 - MÓDULO SPDL (DEFINIÇÃO DE LOTES)

Inicialização

Inicialmente é apresentado ao usuário o menu mostrado na figura 3.15. Através deste menu o usuário informa, entre outras coisas, qual a chapa que será utilizada para corte e qual o aproveitamento a ser atingido.

| DEFINIÇÃO DE LOTES | | | |
|-----------------------------|----------|-----------------------------------|----------|
| Ordem de Produção | op100 | Área da chapa | 2.000 |
| Responsável pela preparação | Marcio | Área total das peças do lote | 0 |
| Aproveitamento desejado | 80% | Perímetro total das peças do lote | 0 |
| Comentário | ensato | Dimensões da chapa | |
| Identificação da chapa | ca 001 | X | 2000.000 |
| Data | 12/07/91 | Y | 1000.000 |
| Tempo | 00:05:07 | Z | 5.000 |
| | | Numero de peças do lote | 0 |
| Mensagem | | | |
| Confirma | | Cancelar | |

Figura 3.15 - Tela de inicialização do módulo SPDL.

Edição do Lote

Após o usuário preencher o menu mostrado anteriormente, é apresentado o ambiente de edição do módulo. Neste ambiente estão ativas as funções convencionais de paginação, inserção, alteração e eliminação de peças. Por simplificação, tais recursos não serão mostrados em detalhes. A quantidade estabelecida para estas peças foi definida de forma a permitir, mais uma vez, um exemplo comprobatório da capacidade do sistema.

Finalização

Após a devida definição do Lote, o usuário pode utilizar o ícone apropriado para promover seu armazenamento, permitindo desta forma a atuação do próximo módulo.

3.3 - MODULO SPEN (ENCAIXE)

Inicialização

Para inicializar a secção de Encaixe o usuário deve preencher os dados apresentados pelo menu mostrado pela figura 3.16. Através deste menu o usuário indica principalmente qual o lote que será trabalhado e a distância mínima entre as peças.

| ENCAIXE | | | |
|-------------------------------|----------|---------|----------|
| Ordem de Produção | op100 | | |
| Responsavel pela preparacao | Marcio | | |
| Comentario | ensaio | | |
| Distancia entre as pecas (mm) | 5 | | |
| Data | 12/07/91 | Tempo | 01:11:06 |
| Mensagem | | | |
| Confirma | | Cancela | |

Figura 3.16 - Menu de Inicialização do módulo SPEN.

Movimentação e Agrupamento

O trabalho de encaixe consiste basicamente na seguinte seqüência de operações: o usuário seleciona uma peça que está na área do lote, movimenta a peça selecionada para a área de encaixe e fixa a peça quando localizada a posição desejada. Além da movimentação da peça, o usuário também pode promover a rotação ou tombamento, facilitando encontrar uma posição de fixação mais facilmente. A cada peça encaixada o sistema atualiza o lote na parte superior da tela. Este e outros recursos podem ser verificados na seqüência mostrada pela figura 3.17.

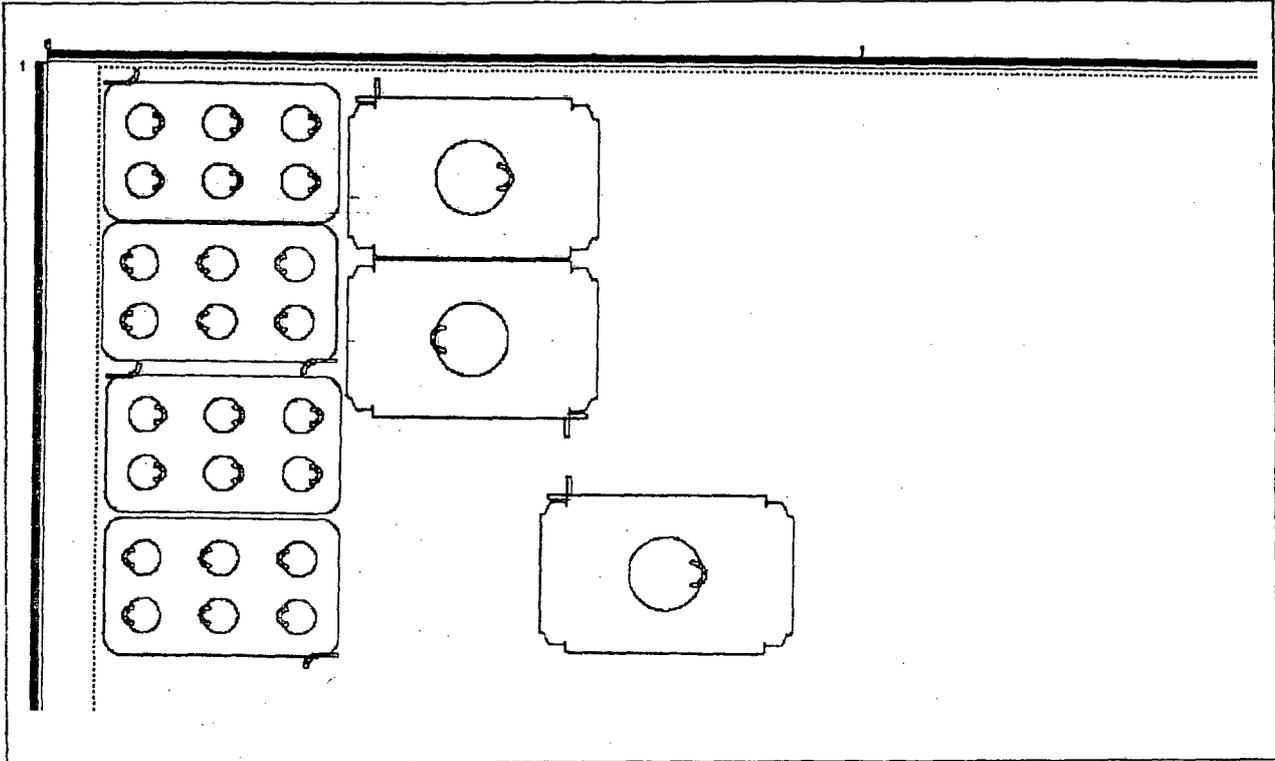


Figura 3.17a - Exemplo de peças encaixadas.

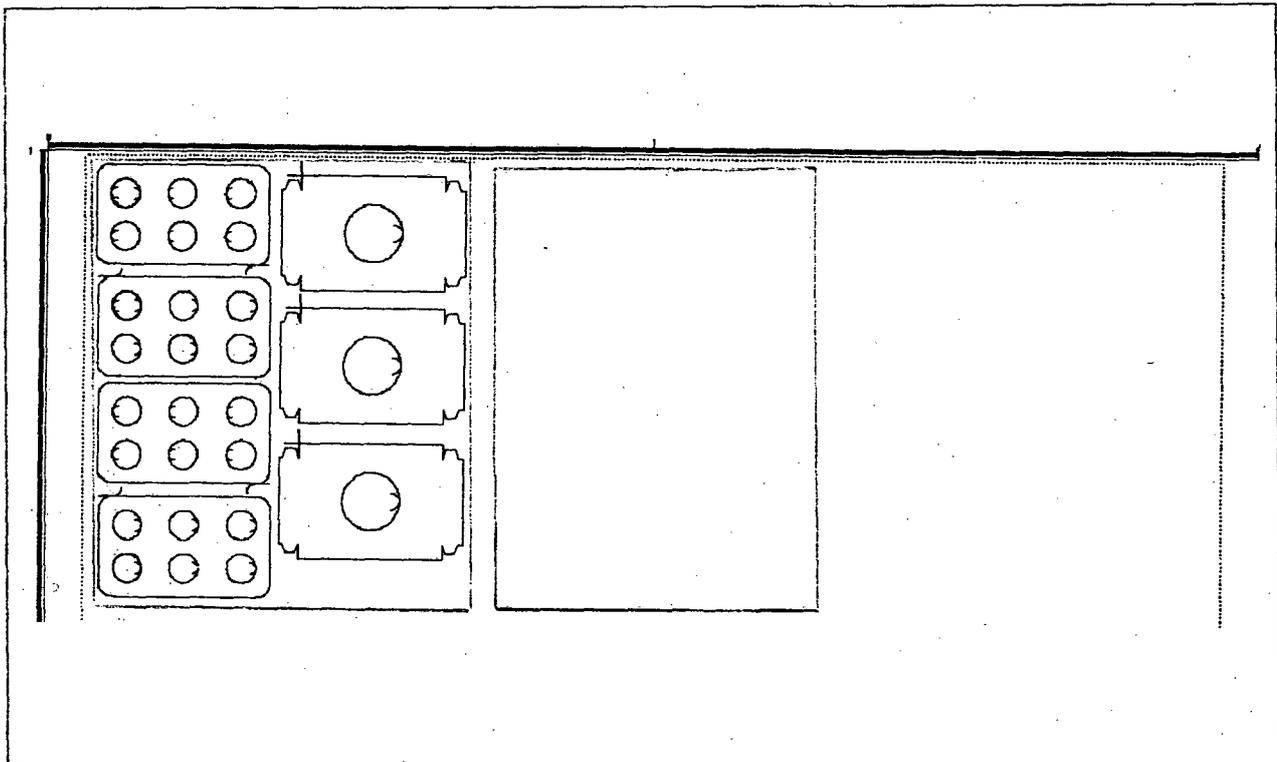


Figura 3.17b - Exemplo de formação de um bloco de peças.

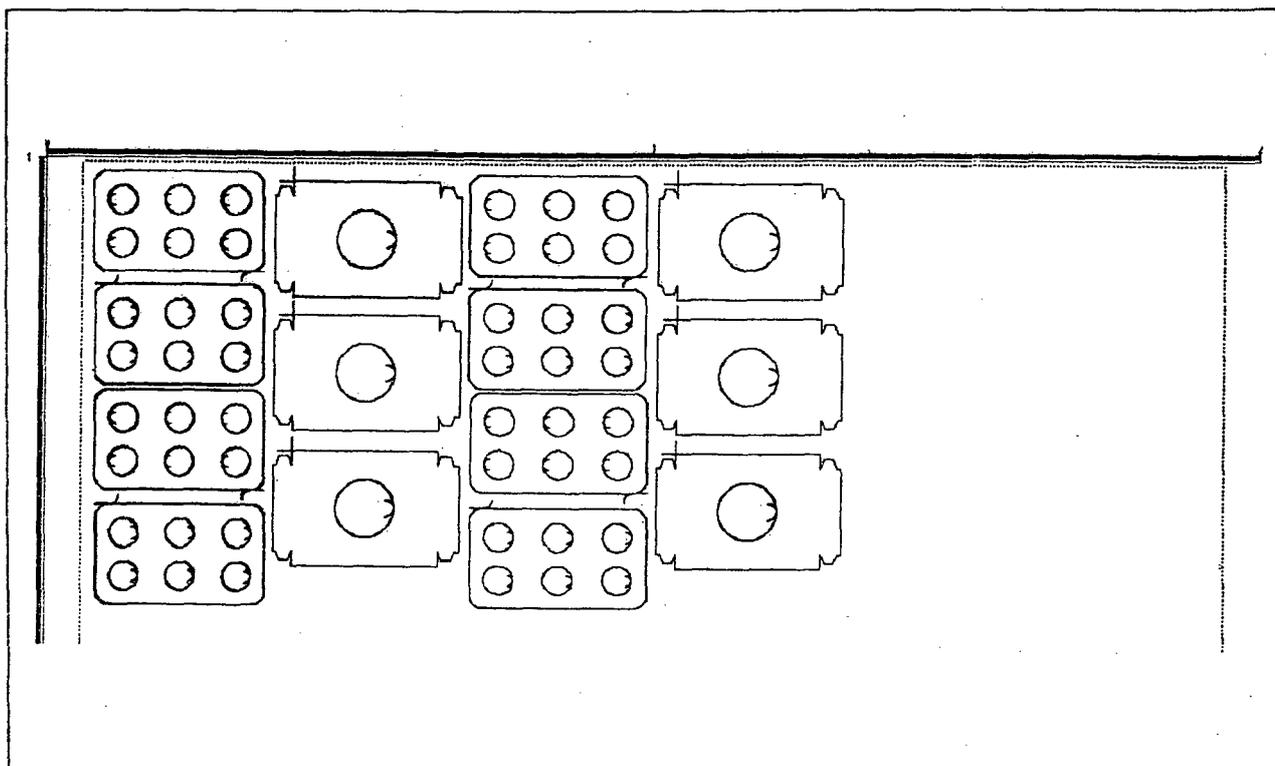


Figura 3.17c- Cópia automática do bloco definido anteriormente. Vale ressaltar que, no último bloco fixado, algumas peças não aparecem devido a sua quantidade total já ter sido atingida na fixação dos blocos anteriores.

Visualização

O SPEN possui um conjunto completo de recursos de visualização que podem ser acionados pelos ícones correspondentes. Na figura 3.18, é mostrada uma seqüência de aproximação do observador para constatar algum detalhe. Vale observar que, pela proximidade obtida, pode-se verificar que existem dois contornos da peça. O contorno mais interno representa a geometria real da peça. O contorno mais externo representa a distância mínima entre as peças, definida no início da secção.

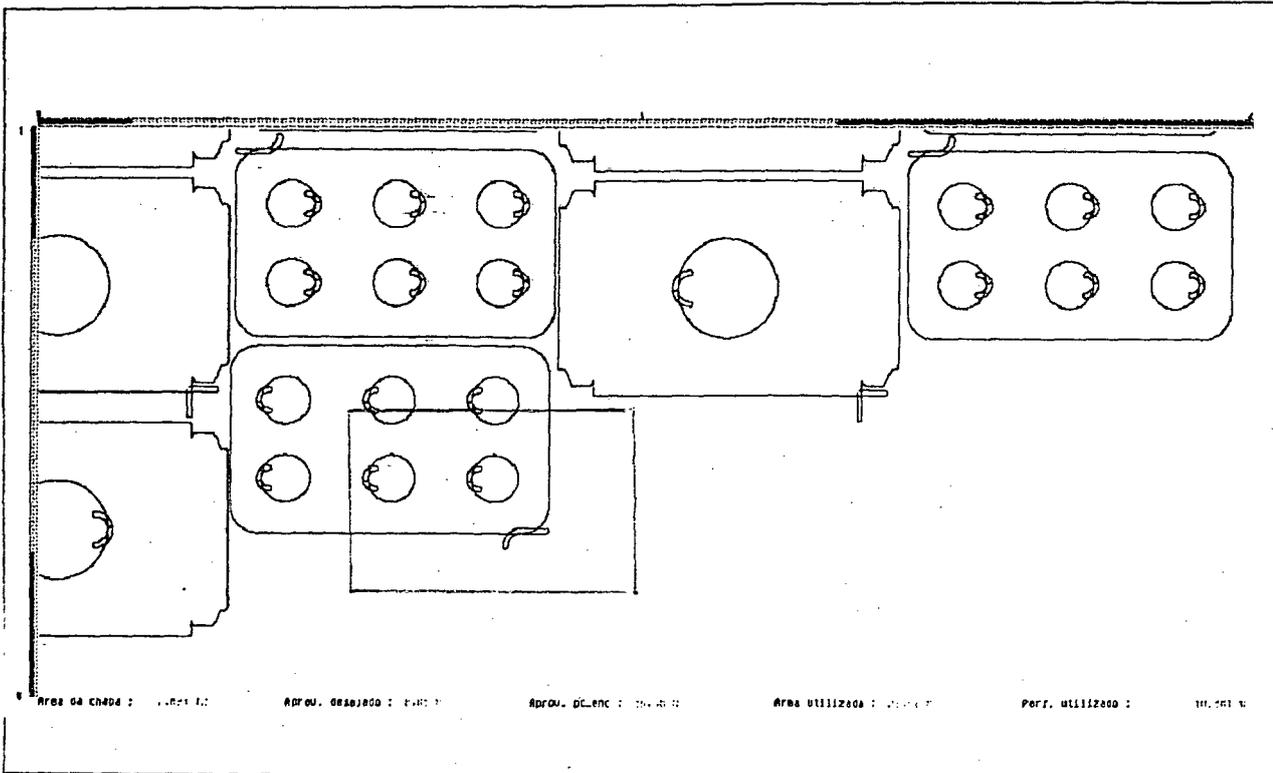


Figura 3:18a - Definição de uma window.

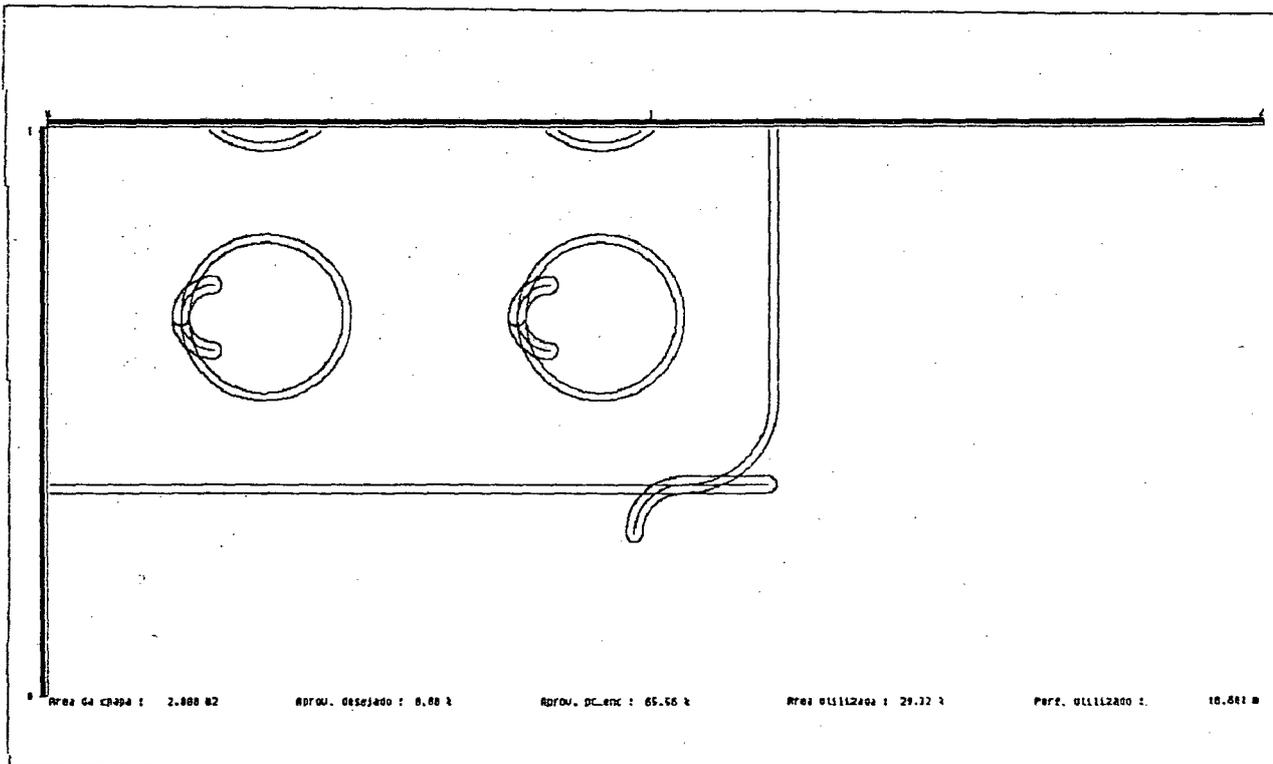


Figura 3.18b - Resultado obtido pela definição da window.

Informações Adicionais

Durante todo o processo de encaixe, os cálculos de área utilizada, perímetro utilizado, aproveitamento obtido e outros, são exibidos na porção baixa da tela.

Finalização

Além dos recursos mostrados existem outros que serão omitidos a título de simplificação. No final da seção do SPEN o usuário armazena o encaixe realizado, para sua posterior utilização no módulo SPSC. Vale ressaltar que esta seção estará concluída somente após obtido o aproveitamento desejado que foi estabelecido quando executado o SPDL.

3.4 - MÓDULO SPSC (DEFINIÇÃO DE SEQUÊNCIA DE CORTE)

Inicialização

Inicialmente o usuário é solicitado a informar qual o encaixe que deve ser trabalhado, através do menu mostrado pela figura 3.19.

| SEQUÊNCIA DE CORTE | |
|---|--|
| Ordem de Produção | op100 |
| Responsável pelo encaixe | Marcio |
| Data do Encaixe | 12/07/91 |
| Mensagem | |
| <input type="text"/> | |
| <input type="button" value="Confirma"/> | <input type="button" value="Cancela"/> |

Figura 3.19 - Tela de inicialização do módulo SPSC.

Geração Automática e Interativa da Seqüência

A geração da seqüência de corte pode ser feita de forma automática ou interativa. Quando realizada a geração automática, o sistema gera a seqüência visando unicamente minimizar a trajetória da ferramenta. O processo de interação, consiste basicamente na indicação da seqüência de peças. O sistema automaticamente identifica a entrada da ferramenta na peça, seu contorno e a saída. O sistema também está preparado para resolver casos onde existir mais de uma entrada e saída de ferramenta. Verifique a figura 3.20, que se referem ao encaixe ensaiado.

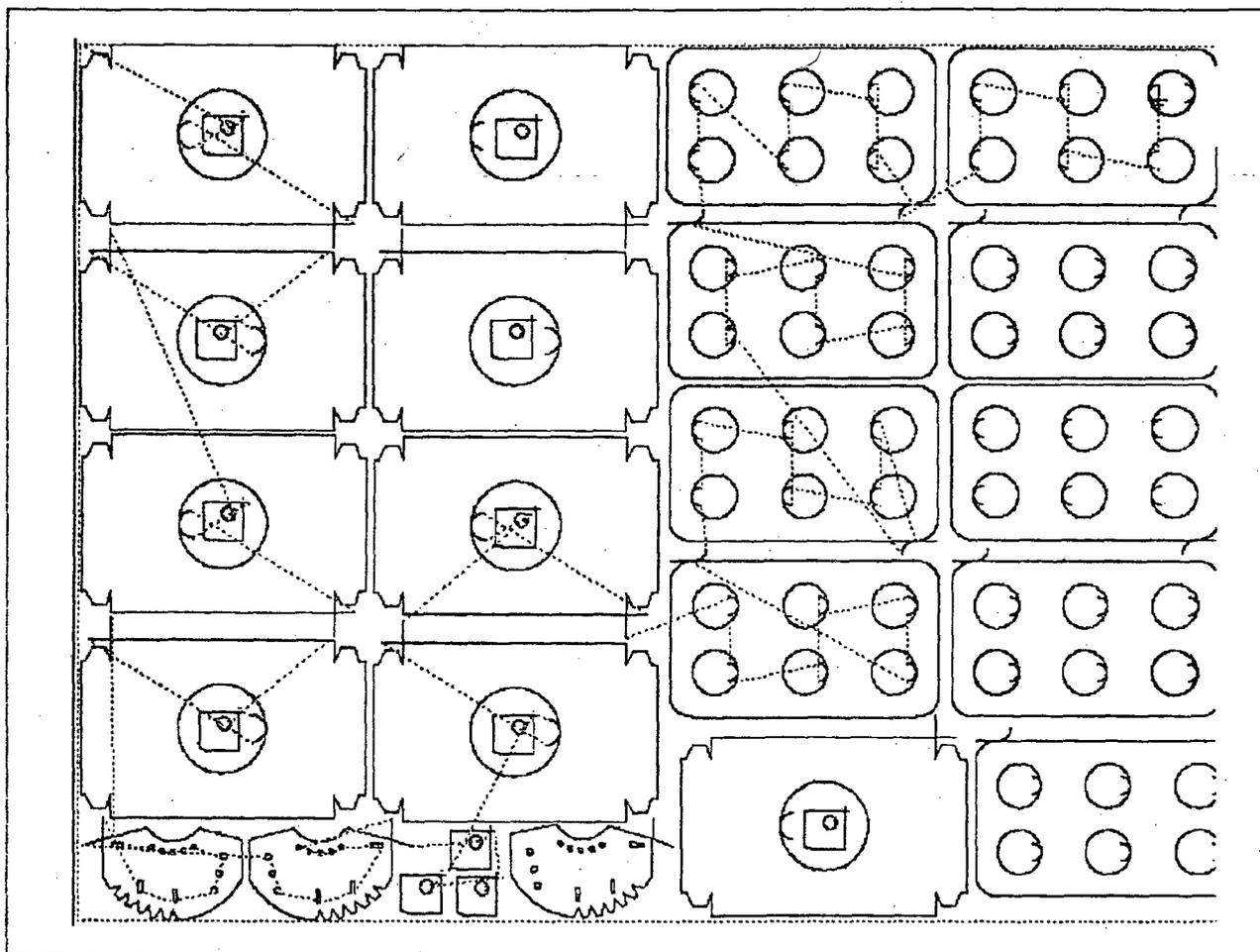


Figura 3.20 - Sequência de marcação gerada automaticamente.

Simulação

Para melhor verificar se a sequência definida atende corretamente aos requisitos de deformação da chapa, durante o corte, o usuário pode requisitar uma simulação a qualquer momento do processo do SPSC. Verifique a figura 3.21. O usuário pode utilizar os recursos de Visualização de forma conjunta, que ocorre de forma similar ao SPEN.

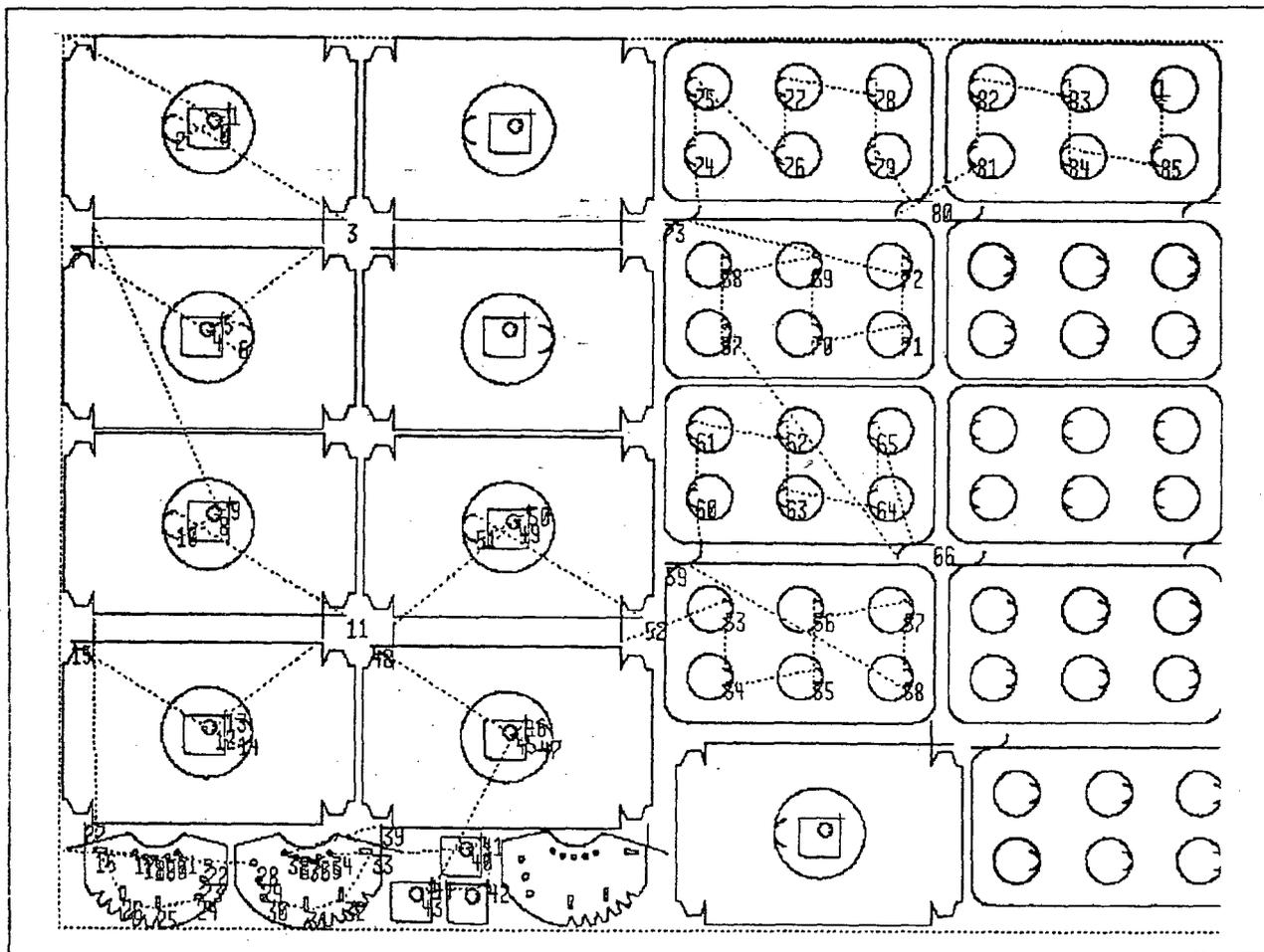


Figura 3.21 - Exemplo de seqüência de corte sendo simulada.

Finalização

Além dos recursos mostrados existem outros que serão omitidos por simplificação. Para concluir o SPSC, o usuário novamente utiliza um menu indicando o armazenamento da seqüência nos arquivos competentes.

3.5 - MODULO SPNC (PROGRAMAÇÃO NC)

Inicialização

Para iniciar a seção de trabalho no SPNC, o usuário deve preencher os dados requisitados pelo menu de apresentação mostrado na figura 3.22. Basicamente o usuário deve informar de que seqüência deseja o Programa NC. Identificado o Lote, o sistema recuperará a Seqüência de Corte e/ou Marcação preparadas anteriormente. Após a recuperação destes dados o usuário deve fornecer, através do mesmo menu, as informações tecnológicas características da chapa e do instrumental que será utilizado no corte. Este menu difere dos anteriores por permanecer ativo durante todo o processo de geração do Programa NC, fornecendo valores correntes de tempo e perímetro de corte.

Geração do Programa NC

A efetiva geração do Programa NC pode ser realizada das seguintes formas:

- 1 - Corte por Oxi-combustão;
- 2 - Corte a Plasma;
- 3 - Marcação por Oxido de Zinco;
- 4 - Marcação por Pneumático;

| Informações do Lote | | Data | Numero de |
|--------------------------|-------|--------------------------|-----------------|
| Ordem de Produção | | Preparação | Pecas enc. |
| op100 | | 12/07/91 | 68 |
| Comentário | | Responsável pelo encaixe | |
| ensaio | | Marcio | |
| Informações da Chapa | | Tempo | |
| Identificação | | | |
| ca 001 | X | 2000.000 | 25:13:47 |
| Material | Y | 1000.000 | Perim. de Corte |
| aco | Z | 5.000 | 126.109m |
| Informações Tecnológicas | | | |
| V. Max. | > 600 | Tpo-pré | > 30 |
| Kerf | > 10 | | |
| V. Corte | > 60 | Xoffset | > 0 |
| Dir. | > 1 | | |
| V. Marc. | > 60 | Yoffset | > 0 |
| Prog. | > 1 | | |

Figura 3.22 - Menu de inicialização do módulo SPNC.

Estas 4 opções ainda podem ser geradas de forma pausada ou continua e com simulação gráfica ou não. Estas opções podem ser facilmente definidas através dos ícones dispostos na parte superior da tela. A seqüência da figura 3.23, corresponde a combinação de algumas destas opções de geração.

```

      I12.700 J21.998
:16551. G02 X9.559 Y1822.487
      I73.085 J61.084
:16557. G01 X17.741 Y1851.913
:16560. G03 X18.402 Y1862.403
      I-24.471 J6.805
:16566. G01 X2.166 Y1973.141
:16569. G02 X31.023 Y1984.337
      I15.707 J2.303
:16575. G03 X44.908 Y1981.656
      I8.284 J5.602 M05
:16581. M61
:16584. KERF R 0.000 R0
:16587. CYC CALL 2 M02
:
: #

```

Figura 3.23a - Programa NC para oxi-corte e marcação à óxido de zinco.

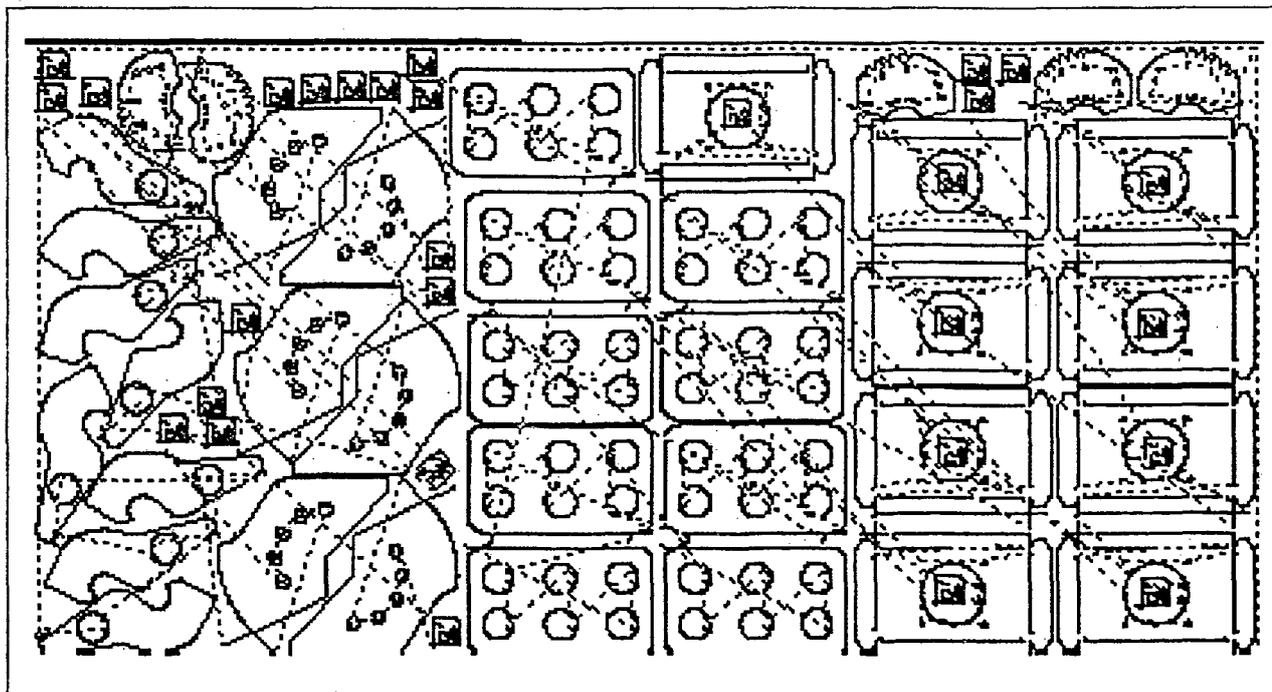


Figura 3.23b - Resultado da simulação final do Programa NC.

Finalização

Para finalizar a seção de Geração do Programa NC, o usuário deve indicar a gravação do(s) Programa(s) gerado(s) através do menu de finalização.

3.6 - MÓDULO SPSP (SUPORTE OPERACIONAL)

Configuração e Transferência

Concluindo funcionalmente o objetivo do SAPRO, é apresentado ao usuário o menu de configuração que estabelece a forma de transmissão do Programa NC para a Autocut. Com a definição destes parâmetros, o usuário pode utilizar o ícone de transferência. Verifique a sequência mostrada na figura 3.24.

As outras atividades do SPSP serão omitidas por não serem relevantes no momento.

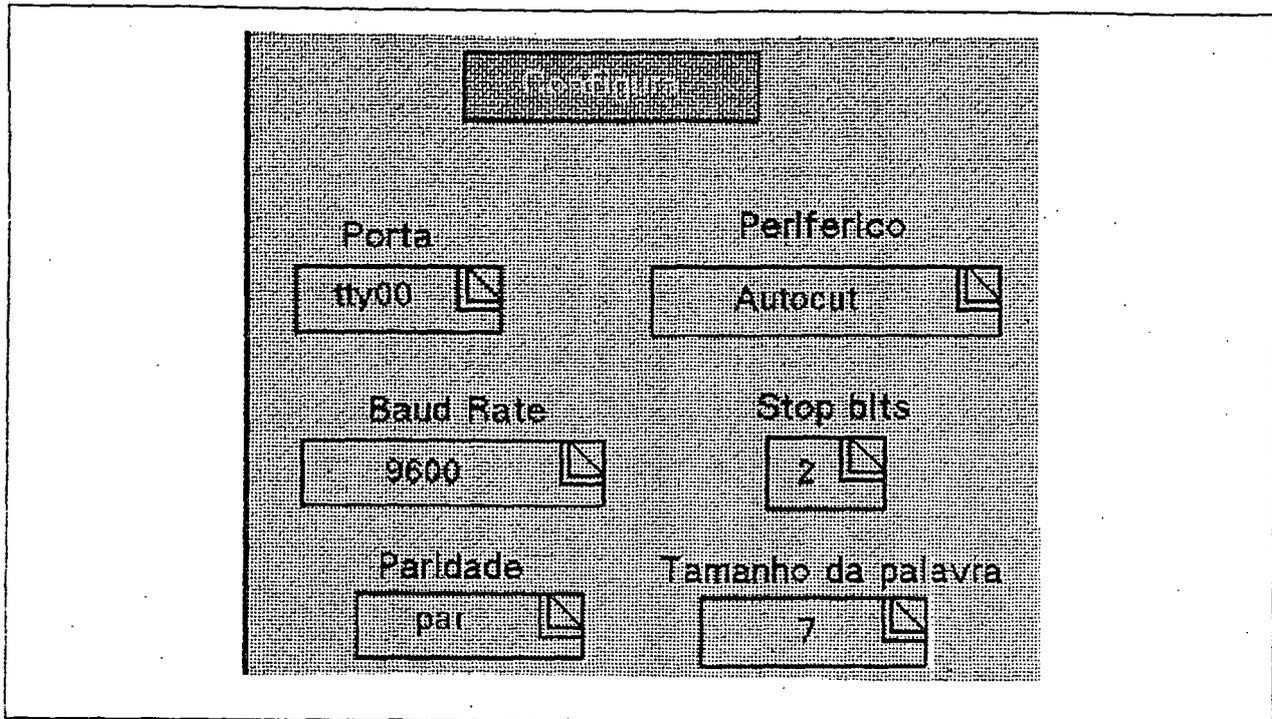


Figura 3.24a - Menu de configuração.

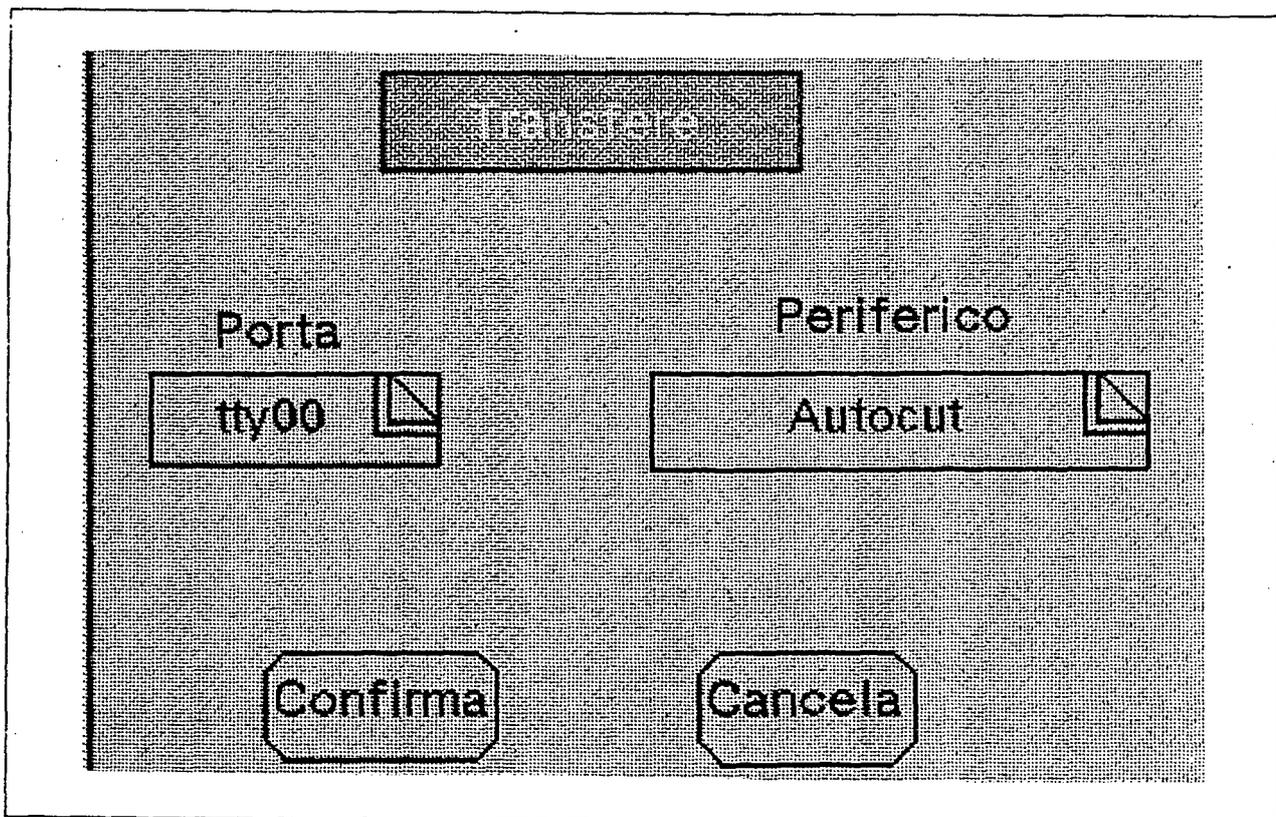


Figura 3.24b - Menu de transferência.