

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

FRESAMENTO DE CAVIDADES AUXILIADO POR COMPUTADOR, NA INDÚSTRIA  
DE MOLDES PARA PLÁSTICO

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

MARCELO VANDRESEN

FLORIANÓPOLIS, ABRIL DE 1997

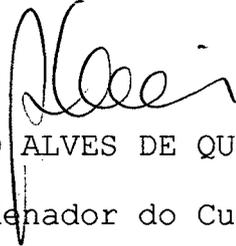
**FRESAMENTO DE CAVIDADES AUXILIADO POR COMPUTADOR, NA INDÚSTRIA  
DE MOLDES PARA PLÁSTICO**

MARCELO VANDRESEN

ESTA DISSERTAÇÃO FOI JULGADA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE  
**MESTRE EM ENGENHARIA**



Prof. ÁUREO CAMPOS FERREIRA, Ph.D. - Orientador



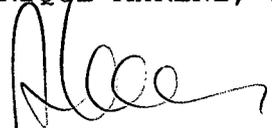
Prof. ABELARDO ALVES DE QUEIROZ, Ph.D.

Coordenador do Curso

BANCA EXAMINADORA



Prof. CARLOS HENRIQUE AHRENZ, Dr.Eng.Mec.



Prof. ABELARDO ALVES DE QUEIROZ, Ph.D.



Prof. Dr.-Ing. WALTER LINDOLFO WEINGAERTNER

"A preguiça é a mãe do progresso. Se o homem não tivesse preguiça de caminhar, não teria inventado a roda."

Mario Quintana

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq,

Por ter propiciado condições para a realização deste trabalho.

Ao prof. Aureo Campos Ferreira,

Pela orientação durante todo o processo.

Ao prof. Carlos Henrique Ahrens,

Pelo apoio e pelas idéias.

Ao prof. Felício J. Guessser e à ETFSC,

Pela atenção no estudo de caso.

À AUDACES,

Por permitir a utilização das mais novas versões do CAMSTATION.

Ao Aurélio (LELO),

Por ter me aturado durante todo o modelamento, programação e usinagem.

Aos meus Grandes Amigos,

Pelo apoio e pelas piadas.

A todos que, de uma forma ou de outra, tenham contribuído com este trabalho (ou pelo menos não atrapalharam).

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO:</b> .....	<b>1</b>
1.1. OBJETIVOS E ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO: .....	5
<b>2. FRESAMENTO DE CAVIDADES:</b> .....	<b>7</b>
<b>3. APLICAÇÃO DAS MÁQUINAS FERRAMENTAS CNC:</b> .....	<b>25</b>
3.1. RECURSOS DISPONÍVEIS NOS COMANDOS: .....	29
<b>4. USO DE CAM:</b> .....	<b>45</b>
<b>5. CLASSIFICAÇÃO DE FERRAMENTARIAS:</b> .....	<b>63</b>
5.1. CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DAS PEÇAS PRODUZIDAS: .....	67
5.2. CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DO TIPO DE MOLDE EMPREGADO: .....	72
5.3. CLASSIFICAÇÃO EM FUNÇÃO DO SISTEMA CAD/CAM EMPREGADO: .....	76
<b>6. SISTEMÁTICA DE SELEÇÃO:</b> .....	<b>81</b>
6.1. ESTUDO DE CASO: .....	87
6.2. TESTE DA INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS: .....	92
<b>7. CONCLUSÃO:</b> .....	<b>98</b>
<b>8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:</b> .....	<b>109</b>

**LISTA DE FIGURAS**

FIGURA 6-1: MODELO DA PEÇA UTILIZADA NO ESTUDO DE CASO .....	88
FIGURA 6-2: DEDUÇÃO DO ESPAÇAMENTO LATERAL EM FUNÇÃO DO RAIOS E DA ALTURA DE CRISTA DESEJADA .....	90
FIGURA 6-3: LIGAÇÃO EM REDE DOS RECURSOS DISPONÍVEIS .....	93
FIGURA 6-4: TOPOLOGIA DA REDE UTILIZANDO CABOS DE PAR TRANÇADO .....	94
FIGURA 6-5: TESTE DE INTEGRAÇÃO DOS SISTEMAS DISPONÍVEIS .....	97

**LISTA DE TABELAS**

TABELA 1: CLASSIFICAÇÃO DOS MOLDES DE ACORDO COM CARACTERÍSTICAS PRIMÁRIAS DE PROJETO.....	74
TABELA 2: TERMINOLOGIA QUE DEFINE A CLASSIFICAÇÃO DOS MOLDES .....	75
TABELA 3: PARÂMETROS DA PROGRAMAÇÃO DA USINAGEM DA CAVIDADE.....	91

## RESUMO

No decorrer deste trabalho são abordadas diversas tecnologias diretamente envolvidas com a usinagem de cavidades de moldes para a indústria do plástico, tais como a usinagem propriamente dita, o estado atual das máquinas de comando numérico e o que se dispõe atualmente, em termos de ferramentas CAD/CAM, para atender as ferramentarias nacionais.

São também mostradas três maneiras pelas quais se pode separar as ferramentarias em grupos, para que, utilizando a idéia da Tecnologia de Grupo, se possa classificar estas empresas, segundo sua especialidade, visando atender determinada fatia do mercado.

Busca-se com isto agrupar informações a respeito do estado da arte na usinagem CNC de cavidades de moldes para plástico, apresentar uma metodologia que seja aplicável às ferramentarias, já colocadas no mercado, permitindo que estas possam realizar uma escolha adequada dos sistemas de programação para o fresamento de cavidades.

Finalmente este trabalho descreve uma aplicação prática (estudo de caso) relacionada com o fresamento da cavidade de um molde, incluindo a programação e a simulação das trajetórias da ferramenta, diretamente no comando de uma máquina, visando demonstrar o potencial de tal tipo de sistema de programação.

**ABSTRACT**

This work describes technologies dealing with the milling of mold cavities for the plastics industries, like milling techniques, present stage of numerical control machines and CAD/CAM tools, available in national industry.

Three forms (criterion) in classifying machine-shops that work with mold making, using the idea of "Group Technology", in order to classify these companies according to the section of the market they can serve better, are presented.

Information on the state of the art, about CNC milling of mold cavities, in the plastics industry, presenting a feasible methodology for machine-shops, already placed in the market, allowing them a suitable choice of programming systems for the milling of cavities, are also presented.

Finally this work describes a practical experiment (case study) related to the milling of a mold cavity, including the programming and tool path simulation directly in the machine's control, showing the potential of such kind of programming system.

## 1. INTRODUÇÃO:

A indústria do plástico é uma das que mais cresce no nosso país atualmente. Segundo dados da Abiplast, as previsões de mercado, para o ano de 1996, indicam para o plástico não só um crescimento duas vezes superior ao do Produto Interno Bruto brasileiro, mas também que este mercado, tem muito o que crescer nos próximos anos. O consumo de plástico no Brasil é de apenas 12 kg (por habitante por ano), enquanto que em países como Alemanha, EUA e Suíça, o consumo está bem acima dos 100 kg (LORINI, 95).

Esse brutal crescimento da demanda por produtos plásticos implica diretamente em uma necessidade de crescimento da capacidade de produção das indústrias de moldes, haja visto que, com a tendência mundial da diminuição dos "lead times" dos produtos, é preciso projetar e produzir os moldes, com o mais elevado nível de produtividade possível, e entregar no menor tempo com preços e qualidade que possam competir com o mercado externo.

Com a crescente necessidade de satisfazer os desejos do consumidor, o "design" e a funcionalidade das peças plásticas estão sendo estudados cada vez mais profundamente, resultando em produtos com maior qualidade e durabilidade. A tendência mundial é de que os produtos plásticos, cada vez mais venham a substituir, em muitos campos, a utilização tanto de metais quanto de outros materiais.

Considerando particularmente os processos de usinagem e os diversos componentes de um molde a serem fabricados, tem-se na cavidade (composta pelo macho e pela fêmea), a parte que demanda o maior número de horas trabalhadas exigindo, portanto, especial atenção por parte dos fabricantes.

É bastante comum que os moldes, principalmente para injeção e sopro, sejam fabricados para produzir peças que tenham superfícies de formas livres (FFS - "Free Form Surfaces").

Devido aos esforços associados à fabricação de cavidades complexas, tem-se buscado soluções baseadas em modernas tecnologias que permitam a obtenção de moldes com alta qualidade e produtividade, adequadas às atuais exigências do mercado. Uma das tecnologias, para a obtenção das cavidades de moldes, é a usinagem por fresamento utilizando máquinas CNC, de maneira a poder reproduzir no molde, com rapidez e baixo custo, as superfícies complexas que constituem as peças, atingindo uma precisão dimensional e qualidade superficial elevadas.

O desenvolvimento do Comando Numérico deve muito à Força Aérea Norte Americana e aos idos da indústria aeroespacial. O primeiro trabalho de desenvolvimento na área de comando numérico é atribuído à John Parsons e seu sócio Frank Stulen na Corporação Parsons. Parsons era um fabricante para a Força Aérea durante a década de 40. O conceito original do NC envolvia o uso de dados de coordenadas de posicionamento contidos em cartões perfurados para definir as superfícies de contorno de hélices de helicópteros. Em 1949 a Força Aérea designou, para a

continuidade das pesquisas em NC, os Laboratórios de Servomecanismos do MIT (Massachusetts Institute of Technology) para que fosse desenvolvido um protótipo de máquina de comando numérico (HARRINGTON, 71).

A primeira máquina foi desenvolvida com base no "retrofitting" de uma fresadora convencional com comandos numéricos rudimentares. O protótipo realizou com sucesso a usinagem de uma peça, através dos movimentos simultâneos de três eixos ortogonais, utilizando uma fita perfurada para armazenar o programa. A máquina foi apresentada no MIT em março de 1952 (LÓPEZ, 81).

Os construtores de máquinas ferramenta gradualmente iniciaram seus próprios projetos de desenvolvimento para introduzir produtos comerciais com NC.

Com o passar do tempo e o crescente investimento nesta nova tecnologia, grandes avanços foram obtidos, chegando-se atualmente a máquinas com capacidade de controlar movimentos em 5 ou mais eixos, que permitem interpolações lineares, circulares, helicoidais, parabólicas e até cúbicas. Estes novos comandos são capazes de realizar diversos tipos de ciclos fixos, facilmente programáveis, tais como abertura de cavidades, execução de roscas, faceamentos, etc. (FÍDIA, 95).

Para que fosse possível fornecer programas para estes comandos cada vez mais modernos e também para poder suprir a necessidade de cada vez se fabricar peças mais complexas, em lotes pequenos ou médios, com grande flexibilidade em termos de

forma, e em pouco tempo, além do advento do CNC foi necessário criar uma ferramenta para auxílio da programação das máquinas. A tecnologia CAD/CAM veio preencher esta lacuna, facilitando muito a programação de peças complexas, diminuindo o tempo de programação e permitindo que fossem eliminados erros, ainda na fase de projeto, minimizando assim retrabalhos e desperdícios de material bem como tempo de máquina, além, é claro, de permitir a programação de peças que, pela sua complexidade de formas, não poderiam ser fabricadas com facilidade utilizando recursos convencionais.

Um fator indispensável para a utilização de máquinas CNC, na fabricação de moldes, é a geração das trajetórias das ferramentas para se realizar a usinagem das cavidades. Para isto dispõe-se basicamente de três metodologias:

- fresamento por cópia
- programação convencional de máquina CNC ou através de sistemas CAD/CAM e
- digitalização de modelos (engenharia reversa).

Em todos os casos há necessidade de investimentos específicos que podem, muitas vezes, atingir cifras elevadas. Surge então a dúvida: *"Qual das soluções é a mais adequada para a indústria de moldes para plástico?"*.

A falta de informações avalizadas sobre o assunto poderá levar a decisões impróprias quando da seleção e aquisição de novos sistemas.

### **1.1. Objetivos e estruturação do trabalho:**

O processo de usinagem, apresenta um nível de complexidade tal que, apesar dos recursos disponíveis hoje, nos modernos equipamentos de Comando Numérico Computadorizado, continua sendo motivo de pesquisas em centros especializados no Brasil e no exterior. No que se refere à usinagem de moldes de injeção de plástico esta complexidade é ainda maior devido às formas geométricas apresentadas, na maioria dos casos, pelas peças a serem injetadas. Um dos objetivos deste trabalho é, portanto, apresentar uma descrição dos aspectos mais relevantes da problemática de usinagem de cavidades de moldes (Capítulo 2), que servirá de base para outros assuntos a serem abordados nos capítulos subsequentes.

Uma boa parte da solução dos problemas que ocorrem na usinagem de moldes depende do tipo de equipamento utilizado para realizar esta tarefa. É praticamente inviável não se ter atualmente, em uma ferramentaria voltada à fabricação de moldes para plástico, ao menos uma máquina de usinagem dotada de CNC. Por ser muito grande a variedade de recursos disponíveis nestas máquinas, se faz necessário realizar um levantamento dos recursos disponíveis nos comandos da atualidade, assim como descrever estes recursos de uma maneira clara, para que as ferramentarias possam realizar uma escolha mais adequada quando de sua aquisição (Capítulo 3).

Em muitos casos, para que seja possível gerar os programas NC para a usinagem de cavidades com geometrias complexas, é

necessário lançar mão das tecnologias CAD/CAM. Visando facilitar o processo de seleção destas tecnologias (Capítulo 4), é apresentada uma descrição dos recursos de CAD/CAM relevantes à fabricação de moldes para plástico.

Em face a globalização do mercado, para que as empresas fabricantes de moldes possam se tornar mais competitivas, é preciso que se adaptem a uma nova estrutura organizacional de trabalho, capaz de lhes assegurar o domínio da tecnologia no campo específico de seu interesse de atuação. Neste sentido, o trabalho tem como objetivo apresentar uma sugestão para classificar as ferramentarias, agrupando-as segundo os conceitos da Tecnologia de Grupo (Capítulo 5).

Tomando como base a sugestão de classificação descrita no Capítulo 5, o Capítulo 6 apresenta uma alternativa para determinar a maneira mais adequada, para cada segmento de ferramentarias, realizar a programação CNC.

Adicionalmente, tendo em vista o crescente número de empresas que realizam a terceirização de serviços de modelamento, programação CNC, usinagem, entre outros tantos, o trabalho consta da realização de um estudo de caso envolvendo o interfaceamento gráfico entre sistemas distintos, com o objetivo de demonstrar, na prática, as dificuldades e limitações de tais atividades (Capítulo 6). Com base nos resultados obtidos, a partir do estudo prático relacionado com o interfaceamento, foi realizada a usinagem de uma cavidade, cujos resultados são mostrados neste mesmo capítulo.

## 2. FRESAMENTO DE CAVIDADES:

De acordo com (KÖNIG, 81), fresar é um processo de remoção de cavaco com um movimento de corte circular, de uma ferramenta de geometria definida, com um ou vários gumes, para a geração de superfícies.

Quando a usinagem é realizada pelo lado de topo da ferramenta é designado de fresamento de topo ou frontal. Quando se dá pelos gumes da circunferência da fresa, este é designado de fresamento circunferencial ou periférico.

O fresamento ainda pode ser classificado como concordante, quando o avanço e o movimento de corte apresentam o mesmo sentido, ou discordante quando o avanço e o movimento de corte apresentam sentidos distintos. No fresamento de topo, quando o eixo da ferramenta se projeta sobre a superfície a ser cortada, parte do movimento é concordante e parte é discordante, não sendo assim possível uma clara definição do tipo de corte (STEMMER, 92).

Por cavidade entende-se o volume no espaço limitado, quando do fechamento do molde, pelas superfícies do macho e da fêmea. Esta será preenchida por material plástico contendo todas as características construtivas do elemento que se deseja produzir, como acabamento superficial, ângulos de saída, etc..

É na cavidade que se concentra o maior número de horas de trabalho de usinagem, e, pelos moldes se tratarem de peças únicas ou, como se costuma denominar na literatura

internacional, "one of a kind", é na usinagem desta que são empregados os maiores esforços de redução de tempos de produção, de custos, e ainda onde se exerce um maior controle da qualidade.

Neste trabalho será considerado como molde a ferramenta como um todo, composta pelas placas, pinos, buchas, guias, etc., e como cavidade o macho e a fêmea das formas do produto.

Trataremos como fresamento da cavidade toda forma de fresamento que nos leve, de alguma maneira, à forma final da mesma, mesmo que se esteja fresando um eletrodo para eletroerosão, uma ferramenta para conformação mecânica ou um modelo para cópia e não diretamente a cavidade propriamente dita.

Também serão consideradas de maneira distinta as etapas de desbaste e acabamento, em termos de geração de programas NC, já que estes irão possuir características distintas em termos de parâmetros de usinagem, tolerâncias, ferramentas, trajetórias e mesmo tamanho do programa.

O fresamento de cavidades não é uma tarefa simples. Por se tratar da usinagem de formas complexas, em materiais nem sempre de boa usinabilidade, e que muitas vezes são tratados termicamente, é de grande importância a experiência do programador ou processista responsável pela escolha da estratégia de usinagem, dos parâmetros de corte, das ferramentas mais adequadas a serem utilizadas no desbaste e no acabamento,

para que se tenha o melhor resultado possível, com os meios que se encontram disponíveis na ferramentaria.

As ferramentarias são, na sua quase totalidade, pequenas ou médias empresas (VOLPATO,93), contando com poucos funcionários e, na maioria dos casos, com pouquíssimas máquinas de cada tipo. Sendo assim, quando da execução de uma cavidade, caso se esteja trabalhando em mais de um molde simultaneamente, a usinagem de uma cavidade pode ser realizada não na máquina mais adequada, mas naquela que se encontra disponível. Isto faz com que os elevados tempos sejam uma limitação do processo, forçando sempre a busca de soluções que possibilitem a execução da usinagem, com a melhor qualidade possível, mas sem desperdício de tempo por espera de liberação de uma máquina, ferramenta ou dispositivo.

Por ser o molde uma ferramenta muito cara, tendo após cada etapa do processo um valor agregado maior, é muito importante que se tome o maior cuidado durante a usinagem da cavidade, bem como dos outros componentes do molde, para evitar erros que possam atrasar a produção ou implicar em retrabalho ou até perda da peça.

Principalmente nos moldes de grande porte, que chegam a pesar várias toneladas, as considerações a respeito do valor da matéria prima chegam a ser relevantes, pois "matar" uma peça, mesmo no início de sua fabricação, quando ainda não se tem agregado muito valor pelas etapas de fabricação, pode comprometer o projeto devido ao preço da matéria prima que é desperdiçada.

Sendo assim, deve-se considerar sempre a possibilidade de retrabalho e eventuais "soluções alternativas" (como utilização de insertos metálicos, adição de novo material por soldagem, modificações no projeto para contornar erros, etc.) durante o processo de fabricação de moldes, pois como cada molde é único, a engenharia utilizada no seu projeto e fabricação também o é.

Para o fresamento, utilizando máquinas CNC, é indispensável a programação das trajetórias para a usinagem das cavidades. Conforme já foi mencionado dispõe-se basicamente de três formas distintas para se obter estas trajetórias (CORRÊA, 95). No decorrer deste trabalho serão mais profundamente estudadas a programação diretamente no comando e a programação utilizando tecnologias CAD/CAM, dando-se um menor enfoque no fresamento por cópia e na digitalização de modelos (VOLPATO, 93).

O fresamento por cópia e a digitalização ainda são muitíssimo utilizados nas ferramentarias, principalmente por serem tecnologias bastante dominadas, sendo, especialmente o fresamento por cópia, inclusive considerado como "meio convencional" de fabricação de cavidades.

Uma das limitações para o fresamento por cópia e para a digitalização consiste na necessidade de se ter um modelo físico da peça ou parte que se deseja usinar ou digitalizar para posterior usinagem ou processamento.

Em alguns casos, como o da engenharia reversa (RAAB, 94), o problema consiste em se fabricar o molde para um produto que já existe, fazer modificações em produtos que já se encontram no

mercado, etc., e neste caso se possui um modelo físico do produto. Porém para a confecção de um molde para injeção ou sopro, é necessário que no modelo do produto final sejam modificadas algumas características, em função do material a ser utilizado na fabricação, como é o caso da contração durante a solidificação, e a introdução dos ângulos de saída, recaindo-se assim no problema da modelagem artesanal.

A modelagem artesanal de peças ou produtos implica em um serviço de precisão, executado por pessoal altamente especializado, que irá transformar o desenho da peça, ou um produto existente, em um modelo tridimensional já com as características que o molde deverá possuir, para que possibilite a posterior usinagem da cavidade, de maneira mais adequada, para que o processamento do material se dê da melhor maneira possível.

Este trabalho, muitas vezes, é demorado e oneroso nem sempre atendendo às características do processo de maneira adequada, sendo necessárias modificações até que se tenha o modelo na forma desejada (KOIKE, 95).

Quando se trata de novos produtos ainda existe o agravante de o modelo ser a primeira representação física do produto, e sendo assim, muitas vezes, o projetista do produto necessita realizar diversas modificações neste modelo até que a sua idéia final esteja representada fisicamente de forma adequada. Desta maneira se vai aumentando o tempo de produção do molde, ficando

cada vez maior o prazo para que se coloque este novo produto no mercado.

Com o advento das novas metodologias da prototipagem rápida e com a criação de empresas especializadas no modelamento de peças, existe uma tendência a uma diminuição no tempo de geração e modificação dos modelos físicos. Mas, por se tratar de uma nova tecnologia, que depende de sistemas CAD/CAM, ainda pouco empregados pelas ferramentarias, e de equipamento especializado, ainda parece estar distante o momento em que a maioria das ferramentarias adotarão definitivamente esta nova tecnologia como um auxílio ao projeto e à fabricação, na mesma proporção em que as tecnologias de comando numérico são utilizadas hoje, principalmente pelo receio de investir em algo que, aparentemente, é mais complicado de implementar e dar retorno a curto prazo, além de outras dificuldades como, por exemplo, encontrar pessoal especializado no mercado.

Com a diminuição dos "lead times" dos produtos, e pelos limitantes citados acima com respeito à confecção de modelos, tem-se buscado, com a tecnologia CNC, chegar à usinagem das cavidades sem a necessidade do modelo físico das peças. Nos próximos capítulos, este trabalho irá se aprofundar mais na problemática da geração de programas NC, seja com a utilização dos recursos disponíveis nos comandos, ou pela utilização de tecnologias CAD/CAM.

No fresamento com máquinas CNC, um fator importante para o processo é o tempo de processamento de bloco do comando. Este

fator tem grande influência no acabamento das superfícies, bem como na possibilidade ou não da máquina conseguir executar a usinagem realmente com os parâmetros que foram escolhidos durante o planejamento do processo.

O tempo de processamento de bloco, como o próprio nome já diz, nada mais é do que o tempo que um comando leva para ler e processar cada bloco de movimento de um programa de usinagem. Desta forma, quanto menor for o tempo de processamento de bloco, mais rápido será o comando.

Segundo (MENDES, 91), o tempo de processamento de bloco é extremamente importante na usinagem de superfícies tridimensionais complexas em peças ou moldes para a indústria automobilística e aeronáutica. Pois os programas para estas aplicações, gerados através de sistemas CAD/CAM ou por digitalização, podem conter centenas de milhares de blocos, cada bloco correspondendo a um deslocamento extremamente pequeno dos eixos da máquina ferramenta.

Enquanto a máquina está executando um movimento de um bloco do programa, o comando numérico já está preparando, para o servossistema da máquina, o próximo bloco que deverá ser executado.

O comando numérico corresponde ao cérebro da máquina e os servossistemas aos músculos desta. O comando precisa enviar impulsos elétricos para que os movimentos tenham efeito e ao mesmo tempo precisa receber dos sistemas impulsos que vão indicar a condição de cada parte da máquina, como posição,

velocidade, sentido de movimento, etc.. É o comando que interpreta os códigos existentes no programa numérico e os converte em impulsos elétricos para enviar aos demais componentes da máquina.

Quanto mais alta for a velocidade de avanço utilizada e menor forem os deslocamentos de cada bloco do programa, mais rapidamente a máquina irá executar este bloco. Sendo assim, em alguns casos, pode ocorrer de o comando ainda não ter concluído a sua operação de preparação de informações para enviar ao servosistema do próximo bloco a ser usinado. Caso isto ocorra, por um pequeno período de tempo, a ferramenta ficará sem deslocamento ou com uma diminuição do avanço programado para o corte do material. Isto irá resultar em marcas na superfície, já que a fresa fica girando em vazio sobre a superfície da peça, implicando em um acabamento superficial de qualidade inferior a desejada e também, com estas interrupções a velocidade de avanço será menor que a velocidade comandada.

Para que o processo de usinagem, com uma máquina de comando numérico, se dê sem este tipo de interrupção, e para que estas sejam capazes de executar o corte de material com alta velocidade é necessário que o tempo de processamento de bloco seja menor que o tempo de execução de cada bloco programado.

Para que se possa ter uma noção mais realista deste fator pode-se considerar o exemplo hipotético que segue: em uma situação que cada bloco do programa de usinagem corresponda a um deslocamento de 1mm da ferramenta sobre a peça, e que a

velocidade de avanço seja de 3m/min (50mm/s). Nesta condição, o comando necessariamente terá de executar ao menos 50 blocos por segundo para que não ocorram interrupções na usinagem. O que equivale a um tempo de processamento de bloco de 20 ms. por bloco.

Caso se possa dispor de um comando com um tempo de processamento de bloco de 4 ms., por exemplo, se poderia aumentar a velocidade de avanço até um valor de 15m/min (250mm/s) sem causar interrupções na usinagem.

Uma outra maneira de apresentar o tempo de processamento de bloco é através da velocidade máxima de avanço, da ferramenta, permitida por um determinado comando. Para efeitos de comparação, cada bloco do programa equivale a um deslocamento de 1mm da ferramenta.

Segundo (BEARD,89) (MENDES,91), com o advento dos comandos utilizando os poderosos processadores de 32-bit, a produtividade destas máquinas está cada vez mais alta, permitindo um melhor acabamento e velocidades mais elevadas.

Com estes novos comandos já se consegue chegar a velocidades de processamento de até 240m/min para blocos de 1mm, ou seja um tempo de processamento de bloco de 0,25 ms. É evidente que estas velocidades são limitadas pelos componentes mecânicos das máquinas, que muitas vezes chegam a ultrapassar seus limites utilizando artifícios de correções eletrônicas das velocidades e posicionamentos (BEARD,89).

O que se pode fazer para utilizar toda esta capacidade de processamento é, ao invés de utilizar uma velocidade de 240m/min para blocos de 1mm, utilizar velocidades mais realistas como 24m/min, mas utilizando blocos de 0,1mm ou ainda reduzindo a velocidade para 3m/min, mas com blocos de 0,0125mm.

Com o aumento do número de segmentos, diminuindo o deslocamento da ferramenta comandado por cada bloco, a uma mesma velocidade de corte, pode-se reproduzir, com maior exatidão, as superfícies curvas ideais que se deseja usinar, bem como obter um melhor acabamento superficial nas cavidades dos moldes fabricados com esta tecnologia (MENDES,91).

É sabido que o tempo de processamento de bloco não é constante. Ele depende de vários fatores que pouco a pouco vão diminuindo sensivelmente o seu valor. Alguns dos fatores que influenciam negativamente o tempo de processamento de bloco que se pode citar aqui são:

- Número de eixos: quanto maior for o número de eixos a serem movimentados simultaneamente pelo comando, mais tempo será necessário para que seja realizado o processamento dos blocos a serem enviados para o servosistema. Como padrão para o tempo de processamento de blocos se adotou a execução de movimento em três eixos simultaneamente. Sendo assim este fator irá influenciar a movimentação de 4 ou mais eixos.

- Compensação do diâmetro da ferramenta: quando a compensação do diâmetro ou comprimento da ferramenta é ativada, mais cálculos são necessários para que o comando defina

exatamente quais os sinais que deverá enviar, para os servosistemas, de maneira a executar aquele bloco do programa. Com este maior número de cálculos haverá, conseqüentemente, um aumento do tempo de processamento de cada bloco.

- Aceleração e desaceleração pré-calculadas: quando um comando está executando um programa, onde, por exemplo, está se movimentando no eixo X e passa a se movimentar no eixo Y, como no caso de estar fresando um canto vivo de uma peça, é necessário, para que este canto não fique arredondado, que o comando seja previamente informado para iniciar a desaceleração do eixo X antes de iniciar o movimento em Y.

Isto ocorre pois os servosistemas, devido à sua inércia, necessitam de uma certa desaceleração antes de uma parada de movimento. Caso o comando não esteja "ciente" desta parada, irá considerar, para os cálculos, que o eixo X esteja se movimentando sempre a uma taxa constante, e, se o sinal de comando não se antecipar para iniciar a desaceleração o motor passa da coordenada (BEARD, 89).

Para evitar este tipo de inconveniente alguns comandos possuem a capacidade de ler alguns blocos a frente do que estão trabalhando a busca de mudanças bruscas de movimento.

Esta busca de informações, quando executada pelo comando, também é um fator limitante do processamento dos blocos, diminuindo o tempo de processamento de bloco do comando.

No que diz respeito ao tempo de processamento de blocos, é importante ressaltar que, às vezes, não é o comando o "gargalo"

da usinagem. Por se tratarem de superfícies complexas, muitas vezes o programa é por demais extenso, o que equivaleria a vários quilômetros de fita perfurada.

Em muitos comandos, por maior que seja a memória existente, não será possível armazenar o programa por inteiro, sendo necessário, muitas vezes, recorrer a um disco rígido do comando ou a um microcomputador utilizado como "buffer" para armazenar os programas.

Em algumas empresas se dispõe de sistemas centrais de geração e armazenamento de programas, os quais são enviados diretamente para o comando da máquina, ou para o microcomputador utilizado como "buffer", através de um sistema DNC, comando numérico distribuído.

Para se enviar estes programas de grande tamanho para as máquinas, de uma maneira que a usinagem se dê de maneira contínua, é necessário que também a taxa de transmissão do DNC, responsável pelo envio dos dados, seja adequada ao tempo de processamento de bloco desejado. Por exemplo, se blocos com 20 caracteres tiverem de ser processados em 4 ms., então a taxa de transmissão terá de ser de pelo menos 5000 caracteres por segundo, ou o equivalente a um "baud rate" de 50.000, ou seja o CNC tem de ser capaz, além de processar rápido as informações dos blocos, de poder trabalhar com taxas de transmissão de dados realmente altas.

Sanados os problemas de tempo de processamento de bloco, capacidade de memória, taxa de transmissão e limitações

mecânicas impostas pelos componentes estruturais, de movimentação e de controle das máquinas CNC, estas podem ser utilizadas no limite de suas capacidades.

Independente do tipo de estratégia utilizada para a geração das trajetórias para a usinagem, utilizando as máquinas CNC (seja por cópia, digitalização, programação nos comandos ou utilizando tecnologias CAD/CAM) serão utilizadas ferramentas com ponta de bola, de maneira a permitir a usinagem das formas complexas, muito comuns na indústria de moldes para plásticos. Em alguns casos, quando existem áreas planas em maior quantidade, são utilizadas fresas de topo com cantos arredondados, visando aumentar a taxa de remoção de cavaco.

As fresas de topo com ponta de bola, tradicionalmente tem sido construídas de aço ferramenta maciço ou de carboneto maciço. Também existem as ferramentas com corpo de aço com carbonetos, CBN ou outro inserto de material duro, brazados.

Uma nova tecnologia que está surgindo é a que faz uso de um inserto circular que é rigidamente fixo em um forte porta ferramenta de aço liga. Ao contrário dos insertos brazados, este novo inserto circular é posicionado com um parafuso e sustentado contra o fundo da fenda de inserção para suportar as forças de corte.

Estes insertos podem ser substituídos com grande facilidade. Se for necessário realizar uma reafiação, somente o inserto necessita ser envolvido. Estes possuem dois gumes e são projetados para oferecer uma tensão uniforme em todo o

inserto, possibilitando o dobro do avanço que seria permitido por um inserto com um único gume.

Já que um único inserto possui os dois gumes, segundo (GETTELMAN, 91), os projetistas afirmam que se obtém a máxima rigidez possível, juntamente com a maior taxa de remoção de cavacos. Estes também afirmam que é o porta ferramenta, e não o parafuso, que absorve as forças geradas na usinagem, sendo que o parafuso existe simplesmente para o posicionamento.

Como os insertos são sinterizados com precisão, cada um dos gumes está equidistante do centro do suporte, o que é muito difícil de ser obtido com ferramentas onde cada aresta de corte, proveniente de um inserto, é posicionada individualmente sobre um porta ferramentas.

A velocidade de corte em uma ferramenta desta natureza é a velocidade linear periférica resultante da rotação da ferramenta. Sendo assim, nos gumes de ferramentas com ponta circular, a maior velocidade de corte se situa na região mais distante do centro do suporte, onde realmente está se dando o corte de material. No centro da ferramenta a velocidade é nula.

Para cada profundidade de corte fornecida, deve-se calcular a rotação necessária para a desejada velocidade de corte, utilizando o diâmetro efetivo de corte, e não o diâmetro do inserto ou da ponta da ferramenta. Ou seja, a rotação deve ser aumentada para menores profundidades de corte para compensar o fato da ferramenta não estar mais cortando com toda a sua periferia.

Outro fator relevante a respeito da utilização de ferramentas com ponta de bola é que, quanto menor for a profundidade de corte, mais fino ou curto vai ser o cavaco.

Utilizando o processo de usinagem com mais passes e menores avanços laterais (step-over), para virtualmente eliminar as "cristas", resultantes dos passes da usinagem com fresas de topo com ponta de bola sobre a superfície do molde, tem-se conseguido uma redução substancial ou até mesmo a eliminação do polimento, que é usualmente necessário para trazer as superfícies do molde para a sua condição de projeto.

Para permitir que se realizem mais passes, com menor avanço, utilizando preferencialmente ferramentas de menor diâmetro, sem que se aumente demasiadamente o tempo de usinagem dos moldes, se tem buscado novas tecnologias. Uma das que se adapta de forma adequada para a este caso é a usinagem em alta velocidade.

Já há aproximadamente 60 anos, segundo (MITCHELL, 91), na Alemanha, se iniciaram estudos sobre a usinagem em alta velocidade, que pode ser definida como aquelas que se situam num patamar acima das velocidades usuais de usinagem utilizadas no momento considerado.

Objetivando uma melhor qualidade superficial (o que reduz de maneira muito grande o tempo de polimento dos moldes) e menores tempos de usinagem (já que com a usinagem em alta velocidade tem-se uma maior remoção de cavacos por unidade de

tempo) têm sido cada vez mais importantes os esforços realizados para adotar, na fabricação de moldes, esta tecnologia.

Um exemplo citado por (GALLIST, 89), e que é reproduzido na seqüência, mostra a vantagem, principalmente em termos de tempo de usinagem, da utilização da usinagem em alta velocidade. O exemplo é como segue: a comparação entre a usinagem convencional e a de alta velocidade consiste na usinagem de um rasgo com 3mm de largura, 700mm de comprimento e 6mm de profundidade, utilizando uma fresa de topo com dois gumes.

No corte convencional tem-se: rotação da árvore (n)=5000, velocidade de corte (Vc)= 47m/min, avanço por dente (fz)= 0.03mm, avanço (Vf)= 300mm/min, profundidade de corte (a)= 2mm, número de passes (i)= 3, comprimento de corte (L)= 703mm (700mm somado ao diâmetro da ferramenta de 3mm). O tempo de usinagem (th), será portanto:  $th=(Lxi)/Vf$ , resultando em th=7,03 min (422 segundos).

Utilizando a mesma fresa de topo, mas com uma rotação de 80.000 rpm, tem-se Vc= 753 m/min, Vf= 4800 mm/min, sendo os demais parâmetros idênticos, o tempo de usinagem resultará em: th= 0,43 min (25,8 segundos).

Como pode ser demonstrado pelo exemplo acima, a utilização da usinagem em alta velocidade permite uma maior remoção de material no mesmo tempo. Desta maneira, na usinagem de cavidades pode-se, sem aumentar o tempo de processo, reduzir o diâmetro da ferramenta e também aproximar os passes, melhorando assim o acabamento superficial.

É sabido que a utilização destes parâmetros só é possível com equipamento adequado. Não são todas as empresas que possuem ou podem dispor de máquinas com capacidade para usinar com esta nova tecnologia. Isto se deve principalmente ao fato que as altas rotações da árvore, que podem chegar até 100.000 rpm (GALLIST, 89), implica em que todos os demais componentes, seja controle, acionamentos, ferramentas, servosistemas, sensores, etc., sejam compatíveis com estas altas velocidades, sendo assim, estes equipamentos tem um custo bastante mais elevado que um equipamento comum.

Com a crescente utilização de grafite como material de eletrodo para EDM (Electrical Discharge Machining) tem-se um grande potencial para o uso da usinagem em alta velocidade, principalmente por esta permitir a usinagem de detalhes como nervuras finas e profundas.

Na usinagem de grafite (GALLIST, 89), uma ferramenta de alta rotação é necessária. As altas velocidades ajudam na rápida remoção do cavaco (pó de grafite), que é um fator crítico na usinagem do mesmo. Juntamente com a sucção do pó por sistemas muito potentes ou pela utilização de cortinas de fluido, há necessidade de se utilizar motores e demais componentes rotativos com sistemas de sopro constante

Quanto mais rápido forem retirados os finos cavacos de grafite da área de corte, melhor será a vida da ferramenta.

As ferramentas, feitas de materiais sinterizados, consistindo de carbonetos e CBN tem sido bastante utilizadas na

usinagem de eletrodos de grafite, tendo usualmente dois gumes que se prolongam até o centro da ferramenta.

Para as fresas de topo de carboneto ou CBN sinterizados, os seguintes parâmetros de corte são recomendados (GALLIST, 89): velocidade de corte ( $V_c$ ) 1000 m/min, avanço ( $V_f$ ) 4000 m/min, corte concordante (down milling) a seco, utilizando uma sucção de pó eficiente ou uma cortina de fluídos para evitar a contaminação do ambiente.

Apesar dos fatores limitantes a usinagem em alta velocidade veio para ficar. Diversos estudos devem ser realizados para determinar as melhores características das máquinas, ferramentas e processos a serem empregados na usinagem de cavidades.

No que diz respeito à trajetória das ferramentas na usinagem de cavidades tem-se, basicamente, a usinagem de contorno, ou "countor", a usinagem por varredura, ou "raster", e a usinagem pelo perfil, ou "profile". Ainda podemos ter composição de mais de uma destas estratégias na usinagem de uma cavidade ou detalhe.

As estratégias a serem utilizadas no desbaste ou no acabamento são definidas principalmente objetivando um menor tempo de usinagem, um melhor acabamento e também a redução de fatores desfavoráveis como vibração induzida, grande variação de espessura de corte, etc..

### **3. APLICAÇÃO DAS MÁQUINAS FERRAMENTAS CNC:**

Segundo (MACHADO, 89), o comando numérico é um equipamento eletrônico capaz de receber informações por meio de entrada própria, compilar estas informações e transmiti-las em forma de comando à máquina operatriz, de modo que esta, sem a intervenção do operador realize as operações, na seqüência programada.

A criação e evolução da tecnologia de máquinas, dotadas de comando numérico, se deu principalmente devido à necessidade crescente de, em pequenos intervalos de tempo, desenvolver e construir protótipos, ou pequenos lotes, de novas aeronaves para a indústria aeronáutica norte americana, depois da Segunda Grande Guerra (KIEF & WATERS, 92).

Após os primeiros estudos realizados no MIT, vários usuários e fabricantes de máquinas começaram a adaptar comandos numéricos em máquinas convencionais.

Já na segunda metade da década de 50 alguns fabricantes iniciaram a produção de máquinas ferramentas equipadas com comandos numéricos, suprindo assim a necessidade dos fornecedores de peças.

A partir de novembro de 1958, equipamentos com controles de posicionamento ponto a ponto e geração contínua de contornos foram melhorados com a introdução do trocador automático de ferramentas, o qual foi desenvolvido em meados de 1959, por uma fábrica de usinagem de metais, para seu próprio uso (HARRINGTON, 71).

Cada máquina recebia uma solução diferente para adaptação do comando, o que implicava no desenvolvimento de componentes e programação dedicado, ficando evidente a necessidade de uma padronização e da criação de uma linguagem que permitisse o intercâmbio de informações entre os diversos fornecedores para a indústria aeronáutica.

A partir de 1958, através dos estudos realizados pela EIA (Electronic Industries Association), e das decisões tomadas, houve a possibilidade da padronização do formato de entrada, conforme padrão RS-244 (Resolution Standart), regulamentado em 1961 e, mais tarde, em 1967, modificado pela RS-244A (DIN66016). A instrução EIA RS-358 regulamenta a codificação adotada pela norma ISO. (DERFLER JR., FREED, 93).

Em 1956 o MIT desenvolveu a linguagem APT (Automatically Programed Tool), para a geração contínua de contornos. Outras linguagens como Auto Prompt (Automatic Programming of Machine Tools), Adapt (Air Force Developed APT ou Adaptation of APT), Compact II, Action, entre tantas outras, foram desenvolvidas a partir da idéia da simplificação das palavras e das terminologias utilizadas na programação (KIEF & WATERS, 92).

Durante o desenvolvimento desta tecnologia pode-se verificar alguns tipos diferentes de comandos. O comando numérico ponto a ponto, de concepção mais simples, permitindo o posicionamento dos eixos comandos de máquinas dentro do intervalo de precisão e repetibilidade previstos, porém, em movimento rápido e sem uma trajetória pré-determinada e controlada.

Os comandos numéricos contínuos garantindo além do posicionamento preciso da peça, segundo os eixos comandados, também uma trajetória da ferramenta perfeitamente definida tanto na sua forma quanto na velocidade de avanço.

Os comandos numéricos adaptativos, que apareceram por volta de 1962, consistindo em um sistema que se integra no controle as funções normais do comando numérico comum, adicionando a estas, a função adaptativa, ou seja, a função de correção de uma série de variáveis possíveis de medição contínua. Estes comandos são dotados, portanto, de servomecanismos, que, além de controlar uma função específica, fazem a medição, comparando-a com o modelo ideal e corrigindo-a, se necessário.

As variáveis mais comumente controladas nos comandos numéricos adaptativos são: a velocidade de corte, o avanço, a medida de peças, as vibrações, o posicionamento, entre tantas outras.

Após a segunda Grande Guerra, grandes desenvolvimentos se deram também na área da eletrônica. O desenvolvimento de circuitos integrados, microprocessadores e computadores levou a indústria a ver a possível utilização destas novas tecnologias para o auxílio à produção.

Com o passar do tempo e o aparecimento de novos recursos, em termos de componentes eletrônicos, a evolução dos comandos das máquinas tem sido muito grande. Esta evolução tem mudado principalmente a interface com o usuário. No início dos desenvolvimentos se utilizavam cartões perfurados para a

introdução das informações na máquina. Depois este processo evoluiu para a utilização de fitas perfuradas, fitas magnéticas, disquetes, etc., chegando-se hoje aos CNC's, ou comandos numéricos computadorizados, dos quais se podem acessar diretamente as redes de comunicação da empresa, para transferir para os meios de fabricação uma variedade bastante grande de dados.

Os comandos numéricos computadorizados, que diferem dos últimos, entre outras coisas, por possuírem um minicomputador interno, permitem sua utilização em diversos tipos distintos de máquinas normalmente sem a necessidade de adicionar ou modificar componentes, bastando para isso, apenas uma programação diferente dos componentes programáveis (EPROM). Estes começaram a ser utilizados por volta de 1970, sendo que hoje é normal se encontrar comandos que possuam internamente até três microcomputadores executando tarefas distintas (FÍDIA, 95).

A tecnologia dos comandos numéricos computadorizados permite um grande aumento na capacidade destes, com um preço aceitável, pois utilizam componentes fabricados em massa. Assim sendo os componentes de "hardware", de um comando de uma fresadora, podem ser basicamente os mesmos de um comando de uma máquina injetora de plástico. É até possível que se tenha o mesmo comando, porém, utilizando um "software" diferente para cada aplicação (DIADUR, 92).

Estes novos comandos, além de permitirem o armazenamento e edição de programas na própria máquina possuem uma enorme gama

de recursos que visam facilitar a utilização, por parte do operador ou programador, bem como o gerenciamento destas máquinas no contexto da manufatura integrada.

Neste estudo busca-se determinar o atual estado da arte em termos de recursos disponíveis em comandos numéricos para máquinas ferramentas dedicadas ao fresamento. Para isso foram realizados contatos com os principais fabricantes ou fornecedores de comandos no nosso país, obtendo catálogos e informações a respeito dos recursos disponíveis nos comandos da atualidade, principalmente no que diz respeito a recursos de auxílio à programação implementados nos comandos das máquinas.

De uma maneira geral, estes recursos, disponíveis nos comandos dos diversos fabricantes, são semelhantes, recebendo muitas vezes denominações diferentes, o que causa certa dificuldade de programação quando comparados os comandos entre si.

Como cada fabricante procura mostrar a sua superioridade de mercado, indicando as principais vantagens de seu comando, buscou-se indicar, neste estudo, o que existe de melhor, em termos de conjunto, nos comandos numéricos da atualidade, sem que, necessariamente, se tenha todos estes recursos disponíveis em um só produto ou em apenas um fabricante.

### **3.1. Recursos disponíveis nos comandos:**

Tendo entrado em contato com fornecedores e fabricantes de comandos numéricos para máquinas ferramentas, principalmente durante a feira internacional da mecânica, em São Paulo, foi

possível coletar as informações mais importantes a respeito dos recursos disponíveis nos comandos mais avançados, comercializados no país atualmente.

As características relevantes levantadas são as citadas pelos fabricantes e fornecedores como "vantagens" ou fatores diferenciais nos produtos.

O homem, por sua natureza, sempre busca ferramentas que venham a facilitar a sua vida e suas tarefas diárias. Sendo assim, durante a evolução dos comandos numéricos, foi sempre um esforço dos fabricantes melhorar a interface entre o homem e o comando, bem como a capacidade deste de executar tarefas cada vez mais complexas.

Nos últimos tempos tem-se falado muito em interfaces amigáveis (friendly interface), principalmente no campo da informática. No que diz respeito aos comandos das máquinas, esta tendência também se torna presente. É ponto pacífico entre os fabricantes consultados que a integração "homem-máquina" deve ser melhorada ao extremo.

Tanto (LÓPEZ, 81) quanto (MACHADO, 89), de maneiras diferentes, dividem os comandos numéricos em diversos subconjuntos. Das unidades que compõe o comando numérico, segundo estes autores, a que tem maior importância para o usuário, durante a operação do conjunto máquina-comando, é, sem dúvida alguma, a unidade de entrada e saída de dados, pois, através dela é feito o diálogo entre o operador e a máquina, a níveis mais profundos, à medida que o sistema seja mais evoluído.

A unidade de entrada de dados consiste na maneira pela qual um programa é introduzido no comando, de maneira que este possa interpretá-lo para executar as tarefas desejadas.

Estes sistemas evoluíram desde os cartões perfurados, que tinham o grande inconveniente do difícil manuseio e a sempre presente possibilidade de saírem de ordem, passando posteriormente à fita perfurada com 8 furos, sendo que 7 se utilizam como bits de informação e 1 como bit de paridade (podendo ser par ou ímpar, segundo o código EIA ou ISO). Chegando à fita magnética, e por fim aos disquetes similares aos de uso em microcomputadores.

A primeira grande variação, neste sub-sistema, veio com a aparição do teclado funcional como órgão básico de entrada de dados. Atualmente a entrada de um primeiro programa de usinagem pode ser feita diretamente no comando, utilizando um teclado. Este método é chamado de entrada manual de dados (MDI). Este teclado permite realizar rápida e comodamente a edição de programas diretamente sobre a máquina. Funções como eliminar e inserir blocos, verificar e alterar o valor de um endereço de memória, substituir caracteres (edição), etc., também podem ser realizadas com facilidade.

Nos modernos comandos ainda se considera como vantagem competitiva a maior facilidade na entrada manual de dados. Novos teclados mais resistentes ao ambiente industrial tem surgido. A utilização de teclas de funções (soft keys), associadas a monitores, facilitam e muito as operações de entrada de dados e

edição de programas, bem como a navegação entre as telas disponíveis nos comandos.

A unidade de saída de dados consiste na maneira pela qual o comando da máquina transmite ao usuário, os diversos dados sobre o programa em execução, os programas armazenados, diagnósticos de erros, diagnósticos de defeitos mecânicos, elétricos e eletrônicos, onde se dá a simulação de programas, etc..

Nos primeiros comandos este tipo de informação era dada ao operador através de diodos emissores de luz (LED) que indicavam o estado de alguma função, ou variável, auxiliados por rudimentares mostradores luminosos que permitiam a leitura de valores numéricos da variável em questão.

O que se pode considerar como um grande passo, na evolução das máquinas de comando numérico, foi a introdução de dispositivos que indicassem o estado da máquina e possibilitassem obter diversas informações em forma gráfica, rapidamente acessível ao operador da máquina.

A presença de CRT (tubos de raios catódicos), apesar de não ser uma novidade, ainda se apresenta como um fator diferencial em relação aos concorrentes. Tem-se os mais diversos tipos e tamanhos, monocromáticos ou coloridos, com resoluções mínimas até as mais elevadas, como a VGA.

Os monitores de cristal líquido (LCD), mais compactos, já encontram seu lugar ao lado de máquinas, apresentando também a possibilidade de diversas configurações, coloridos ou monocromáticos e em diversos tamanhos.

A grande novidade encontrada é a interface através de toque na tela (touch screen), o que facilita muito a navegação entre as diversas telas com informações disponíveis nos comandos (CINCINNATI, 95).

Além da interface direta com o usuário, diversas outras funções se encontram disponíveis nos comandos, de maneira a facilitar ainda mais a sua utilização e melhorar o seu desempenho.

Os diversos fabricantes e fornecedores consultados indicam uma grande lista das funções disponíveis em seus comandos, mas, nem sempre, se encontram informações a respeito da utilidade das mesmas. Como é objetivo deste trabalho reunir informações do "estado da arte" dos comandos, realizou-se um levantamento das funções relevantes, para a usinagem de cavidades de moldes, e as agrupamos, juntamente com uma pequena explanação de sua utilização.

Utilizando a ordem de importância encontrada em (HEIDENHAIN, 96), tem-se:

**- Número de eixos (Axes)**

Que consiste no número de eixos que o controle pode comandar. A maioria dos fabricantes indica a possibilidade de comando de 5 eixos. (FÍDIA,95) indica em seu catálogo a possibilidade de comandar até 12 eixos, possibilitando desta maneira o controle de eixos paralelos, mais ferramentas acionadas, ou ainda a utilização de dispositivos de medição simultânea à usinagem.

- **Capacidade de armazenamento de programas** (Program Memory)

Os modernos comandos numéricos computadorizados possuem a capacidade de armazenar no próprio comando diversos programas, que são facilmente editados ou executados pelo operador. Quanto maior a capacidade de armazenamento maior é o número de informações ou programas que poderemos ter disponível no comando. Alguns fabricantes utilizam discos rígidos (Hard Disks) com capacidades de 40 (SIEMENS), 170 (HEIDENHAIN) e até 512 Mbyte (FÍDIA).

Esta função é muito importante quando se trabalha com séries de produtos que possuem detalhes que se repetem. Ao armazenar-se no comando o programa referente ao detalhe, na forma de um sub-programa, possibilita-se um acesso mais rápido e preciso a estes dados, ficando assim mais fácil a execução das cavidades, já que para a execução de um detalhe repetido só é necessário o posicionamento da ferramenta ao ponto de início do detalhe seguido da chamada da sub-rotina referente ao mesmo.

Quanto maior for a capacidade de armazenamento de informações, mais complexos podem ser os programas armazenados.

Outro fator que também é indicado como vantagem em alguns comandos é a existência de unidades de disco flexível de 3½ polegadas, similares aos utilizados em microcomputadores contando com capacidades de 712 a 1440 kbytes. Estes são muito importantes para a inserção de programas ou parâmetros da máquina, quando não se dispõe de um sistema de comunicação como o DNC ou até mesmo uma rede ETHERNET (FÍDIA, 95), que

possibilite ao operador, diretamente no comando, acessar um computador central e carregar ou descarregar programas para a utilização na máquina.

**- Resolução de entrada de dados (Input Resolution)**

Esta característica dos comandos nos indica o menor incremento possível de ser controlado, bem como a menor resolução que pode ser indicada quando da simulação de alguma operação de usinagem. Esta se encontra normalmente na faixa de 1  $\mu\text{m}$  (DIADUR), mas comandos como o (HEIDENHAIN) podem oferecer resoluções que alcançam 0,1  $\mu\text{m}$ .

Quando utilizamos as definições do comando para a geração da trajetória da ferramenta esta resolução se mostra muito importante, pois, dependerá dela a menor variação em torno das curvaturas programadas.

**- Interpolação (Interpolation)**

A capacidade de interpolar diversos eixos é função da capacidade de processamento do controle numérico considerado. Na maioria dos casos os comandos são capazes de interpolar linearmente todos os eixos da máquina, mas quando se utiliza uma interpolação circular, normalmente se consegue apenas interpolar 3 dos eixos. No tocante à interpolação helicoidal, normalmente são citados pelos fabricantes os comandos capazes de executar este tipo de interpolação, sem entrar em maiores detalhes do grau de precisão obtido.

Os comandos (FÍDIA, 95), apresentam a possibilidade de interpolarem utilizando "SPLINES DE BEZIER", e os comandos

(SIEMENS, 95) podem interpolar utilizando "NURBS" (Non Uniform B-Splines), sendo desta maneira os que permitem uma melhor aproximação das curvas de forma livre.

- **O tempo de processamento de bloco** (Block Processing Time)

Como já foi mencionado no capítulo anterior, é uma medida do tempo que o comando leva para executar um bloco de programa. Quanto menor for este tempo, maior será a capacidade do comando em termos de velocidade de avanço ou então em termos de acabamento superficial, pois poderá realizar aproximações de curvas por um maior número de retas menores. A maioria dos comandos comercializados ainda se encontra na faixa dos 4 a 4,5 ms (HEIDENHAIN E FAGOR), mas ainda são comercializados, e considerados como topo de linha, comandos com 40 ms de tempo de processamento de bloco (DIADUR).

- **A leitura adiante** (Look Ahead)

Também já foi comentada no último capítulo, e se trata da capacidade do comando ler os blocos adiante do que está executando, de maneira a poder se preparar para as acelerações e desacelerações bruscas, seguindo assim, mais fielmente, os contornos programados. É difícil comparar os comandos de diversos fabricantes quando se fala em "lidos adiante", pois, o bloco padrão que é utilizado para a determinação do tempo de processamento de bloco do comando não é citado pelos fabricantes. Sendo assim não se sabe se é considerado um deslocamento de 1mm em 3 eixos, como já foi mencionado, ou se o parâmetro é outro.

- **Gerenciamento de Ferramentas** (Tool Management)

A capacidade de armazenar informações, a respeito das ferramentas que se dispõe na ferramentaria, no próprio comando, reduz o tempo necessário quando da mudança de ferramenta utilizada. Isto se deve ao fato de que não vai ser necessário realizar novamente as entradas de diâmetro, comprimento, tipo de ferramenta, etc., toda vez que se troca as ferramentas armazenadas no magazine da máquina. Nos modernos comandos (TRAUB,87), é possível inclusive, realizar um inventário onde se encontra um desenho relativo a cada ferramenta armazenada no comando. Isto facilita em muito a programação direta no comando, pois, se pode escolher em uma gama de ferramentas disponíveis, a que mais se adapta ao tipo de usinagem que se vai programar, e, automaticamente, se tem todas as correções para aquela ferramenta, já armazenadas no comando.

No que diz respeito a quantidade de ferramentas ou "memórias" disponíveis para o armazenamento de dados sobre o ferramental, o mais comum é termos disponível espaço para 99 ferramentas (FAGOR,96) (DIADUR, 92), mas comandos como (HEIDENHAIM,96) apresentam a possibilidade de guardar dados de até 254 ferramentas.

- **Operação em Paralelo** (while running)

Corresponde à possibilidade de se poder entrar, editar e simular programas, sem interferir na usinagem que o comando está realizando. Na maior parte dos casos é possível executar, segundo os fabricantes, qualquer função do comando, sem que se

tenha perda de rendimento durante a usinagem, porém, (FAGOR,96), indica que seus comandos apenas podem realizar operações de carga e descarga de programas via interface DNC.

**- Usinagem com ciclos fixos (Machining Cycles)**

Dependendo do fabricante temos uma grande diversidade de ciclos fixos disponíveis no comando, de maneira a facilitar o trabalho de programação de cavidades. O ciclo fixo mais comum é o "machine pocket", que corresponde ao desbaste de uma cavidade com uma determinada forma, entrando apenas com dados de largura, comprimento e profundidade da mesmas, podendo ser esta cavidade de forma quadrangular, circular ou definida por um contorno, e, escolhida uma ferramenta e os devidos parâmetros, o comando executa a usinagem, definindo por si só, a trajetória da ferramenta.

Outros ciclos fixos como a usinagem segundo ilhas, desbaste em múltiplos passes chegando ao perfil pré-determinado, padrões circulares e lineares, e até ciclos definidos pelo usuário, podem ser encontrados nestes modernos comandos.

**- Simulação Gráfica (Test Graphics)**

A possibilidade de realizar uma simulação do programa a ser executado (dry run), com uma interface gráfica que possibilite uma visualização da peça e da ferramenta, permite a identificação de erros ou inconsistências (como a penetração indevida da ferramenta na peça) antes mesmo de termos concluído todo o programa, e tudo isto sem interferir na utilização da máquina. Sendo assim, quanto melhor for esta simulação, mais

facilmente poderemos identificar os erros nos programas ou até mesmo realizar otimizações que permitam reduzir o tempo de usinagem propriamente dito.

Nos comandos disponíveis no mercado se tem basicamente três tipos de simulação gráfica da usinagem, quais sejam: simulação em 3D, simulação em 2½ D e simulação plana. Há, ainda, os comandos que permitem a ampliação de detalhes na trajetória da ferramenta, sendo desta maneira possível elucidar dúvidas a respeito de problemas que, devido à resolução do monitor, não são claramente identificados.

**- Reserva de área de peça bruta** (Blank Part Working Area)

Com este recurso é possível proteger automaticamente as áreas onde não se deseja a penetração de ferramentas. Com isso podemos também evitar o choque de ferramentas com dispositivos de fixação, medição etc., durante a usinagem de uma determinada parte ou detalhe da cavidade. Também é possível, nos controles que dispõem deste recurso, posicionar as ferramentas o mais próximo possível da peça bruta sem correr o risco de choque durante o posicionamento da mesma, já que é apenas necessário indicar a posição final da ferramenta, deixando para o comando a tarefa de "desviar" dos obstáculos indicados dentro desta área protegida.

**- Determinação do tempo de usinagem** (Machining Time)

De acordo com o programa que está sendo analisado, o comando calcula qual será o tempo necessário para a usinagem. Desta maneira se pode prever uma melhor utilização da máquina e

já realizar os preparativos para a próxima peça a ser usinada. Com este recurso também se pode realizar testes de diversos programas, para uma mesma peça ou cavidade, até encontrar a estratégia que resulte no menor tempo de usinagem, visando sempre a otimização do processo.

- **Controle adaptativo** (Adaptative Control)

Como já foi mencionado neste capítulo, alguns comandos possuem a capacidade de se "auto-corriger", medindo variáveis de processo e atuando de maneira a minimizar o erro encontrado entre o programa e o que está realmente acontecendo. Este fator é bastante importante principalmente na usinagem de grandes cavidades de moldes, pois, devido aos tratamentos térmicos no material, temos regiões da cavidade com propriedades mecânicas bastante diversas, provocando, assim, um acabamento superficial, e características de remoção de material, diferentes nas regiões onde o tratamento térmico não foi uniforme.

Com esta função é possível evitar a necessidade de se ter o operador de uma máquina de comando numérico presente junto ao potenciômetro do comando, aumentando ou diminuindo o avanço da ferramenta em função da sua percepção da vibração induzida pelo corte do cavaco, como muitas vezes ocorre nas ferramentarias por nós visitadas.

Outra grande vantagem desta função é de permitir utilizar a ferramenta até o seu limite de vida, determinado experimentalmente por vibração ou pelo desgaste, indicando ao comando o momento de substituir esta por outra igual,

automaticamente, ou ainda quando da quebra de uma ferramenta se dá a parada na usinagem sem que se possa ter prejudicado as partes já usinadas.

- **Entrada de Programa** (Program Entry)

Todos os comandos possibilitam a entrada em código EIA ou ISO, automaticamente, mas, com a evolução dos comandos, outras formas de entrada de programa tem sido desenvolvidas pelos fabricantes dos comandos, para facilitar a programação de peças, cada vez mais complexas, de uma maneira mais simples e rápida para o operador.

Dentro dos objetivos deste trabalho diversos fabricantes de comandos, foram questionados a respeito das possibilidades de programação auxiliada, diretamente no comando, disponíveis em seus produtos, sendo apresentados a seguir os principais tipos de programação existente nos comandos, sempre pensando na utilização para a fabricação de cavidades de moldes.

A (MAZAK, sd) afirma em seus catálogos que os computadores de hoje são ferramentas essenciais para todos os tipos de atividades diárias, e que os programas para estes computadores são escritos em linguagem conversacional. Somente as máquinas ferramenta CNC continuam utilizando o velho formato de dados dos códigos EIA/ISO, o qual foi desenvolvido a quase meio século. Por ter um formato rígido, estes códigos não permitem que os comandos utilizem uma linguagem de programação totalmente interativa.

Assim sendo a Mazak desenvolveu uma linguagem de programação interativa, disponível nos seus comandos numéricos, tanto para fresamento quanto para torneamento, denominada de "Mazatrol", que, a partir de definições simples, como pontos, retas e círculos, permite gerar em 3D um modelo da cavidade a ser usinada.

Utilizando o banco de dados e de condições de corte já disponível no comando, o usuário, através de uma linguagem baseada em perguntas, determina a melhor trajetória da ferramenta, e, utilizando os recursos gráficos do comando, pode verificar o programa que está criando.

Segundo o fabricante a operação de usinagem pode ser iniciada imediatamente após a programação na linguagem Mazatrol, sem a necessidade de conversão para código EIA/ISO. É também apontada como uma vantagem para este tipo de programação a possibilidade de se poder utilizar sub-programas ou programas em linguagem EIA/ISO juntamente com o código Mazatrol.

A (FÍDIA,95) apresenta em seus catálogos a linguagem de programação "Isograph FLES/IG", e segundo este, a técnica de múltiplas janelas permite alojar no interior do terminal gráfico do comando numérico esta opção que possui como principal função determinar trajetórias de ferramenta composto também por entes elementares como ponto, reta e círculos, rebaixos e chanfros. A trajetória é obtida fácil e rapidamente, e a simulação e correções são feitas quase que instantaneamente.

A trajetória de usinagem pode ser transformada em um programa de usinagem tão logo se introduzam os parâmetros tecnológicos, como a geometria da ferramenta, velocidades de corte, avanço, etc..

É possível realizar-se um controle da trajetória efetiva da ferramenta após a compensação do raio da mesma, de maneira a poder evitar o choque desta com dispositivos de fixação da peça, bem como utilizar programação paramétrica, com diversos fatores, de maneira a simplificar ainda mais a execução de tarefas repetitivas.

Por se tratar de uma linguagem de alto nível, permite a criação de bibliotecas completas de trajetórias e padrões de trajetórias, otimizando assim, para o usuário, a utilização do comando para a realização da programação de peças complexas.

A linguagem Isograph trabalha com um CAD em 2½ D auxiliado por um outro programa, o Edigraph, cujas principais funções são a edição, cópia, fusão e transferência de trajetórias. Tendo como principal objetivo aumentar ainda mais a capacidade de programação de peças complexas no próprio comando da máquina ferramenta.

A (SIEMENS,95) apresenta, em seus comandos mais modernos, a programação utilizando "WOP" ou Workshop-oriented programming, que consiste em uma linguagem conversacional, de fácil utilização, aprendizado rápido e que ainda conta com outras vantagens, tais como: tempos mais rápidos de resposta, menor tempo de programação devido aos recursos gráficos, programação

mais econômica por utilizar o operador enquanto a máquina usina sozinha, maior flexibilidade por permitir ampla adaptação por parte do usuário.

A linguagem WOP também possui um CAD com 2½D para usinagem em 2D, possibilidade de parametrização, como cavidades retangulares e circulares, construção de formas livres utilizando elementos de construção, geometria orientada utilizando elementos parcialmente determinados, diversas estratégias de usinagem, catálogo com armazenamento de pares ferramenta-material e as respectivas informações tecnológicas de usinagem, total simulação gráfica, geração dos blocos de programa com a inserção de comentários pelo usuário.

Pelo exposto acima e principalmente pelo que foi possível verificar pelas demonstrações nos comandos, pode-se observar que estes deixaram, já há muito tempo, de ser apenas um "controlador" de movimentos, para se tornar uma ferramenta muito mais poderosa, incluindo em suas funções as de um sistema CAD/CAM 2½D baseado em microcomputadores (já foi mencionado que alguns comandos possuem até três processadores Pentium de 32 bits).

É sabido que o tempo de modelamento, principalmente para superfícies complexas, é elevado. A utilização do comando da máquina, para a programação de peças, sem que esta esteja sendo utilizada em paralelo para a usinagem, é uma decisão difícil, mas pode se tornar vantajoso se analisado de uma maneira mais ampla.

#### 4. USO DE CAM:

A competitividade das empresas de manufatura está ligada à sua agilidade no lançamento de novos produtos, tanto no que se refere ao desenvolvimento do projeto como à agilidade com que os produtos podem ser colocados em produção (ROSA, FORCELLINI et al, 95).

As tecnologias CAD/CAM vieram auxiliar de uma maneira espetacular as empresas que precisam desenvolver e produzir componentes ou produtos em um pequeno intervalo de tempo.

Por possibilitarem uma integração mais rápida entre projeto e produção, o uso destas tecnologias tem propiciado uma redução nos "Lead Times" dos produtos, e com isso vem permitindo que várias empresas aumentem sua participação no mercado, ou pelo menos evitando que esta seja diminuída pelo avanço tecnológico dos concorrentes.

De acordo com (AHRENS, 94), o sistema CAM é aquele que engloba o conjunto de programas voltados a apoiar as atividades de processistas e programadores de máquinas de comando numérico, na fase da fabricação do molde, principalmente através da especificação de planos de processo, simulação das trajetórias das ferramentas de corte e geração de programas de comando numérico (programas NC) para operações de usinagem, para os processos de fresamento, torneamento, furação e eletroerosão a fio.

As "Software-houses", que são empresas dedicadas ao desenvolvimento dos programas, tem buscado, com o decorrer do

tempo, criar softwares CAD/CAM mais adequados às necessidades das ferramentarias e matrizarias, através da inclusão, em seus programas, de funções específicas para a utilização na fabricação de moldes, como é o caso da determinação automática da superfície de separação do molde, apenas para citar um dos exemplos existentes.

Dependendo do tipo de sistema utilizado, uma determinada tarefa se mostrará mais fácil ou mais difícil de ser executada.

Segundo (CORRÊA, 95), são requisitos básicos dos softwares CAD/CAM (para se obter o código NC) quando se utiliza a remoção de material por fresamento:

- possibilitar elevada velocidade de processamento de algoritmos (otimização);
- verificação automática e completa das interferências das ferramentas na peça;
- geração automática e completa das trajetórias de desbaste e de acabamento.

É um passo enorme o que tem de ser dado quando uma empresa decide implantar um sistema CAD/CAM. Não consiste em apenas adquirir os equipamentos e programas, treinar pessoal e partir para a utilização das novas tecnologias.

Para que se tenha efetivamente a utilização desta filosofia, é preciso modificar a maneira de pensar de toda a empresa. Desde o proprietário até o pessoal da limpeza. Pode-se ir de carona com a onda da qualidade, que prega que a idéia tem de vir de cima. No caso da implantação de sistemas CAx, a

verdade é a mesma. Se o dono da empresa não estiver convencido, dificilmente o pessoal responsável pelos projetos e fabricação estará. Sempre vai existir alguém que dirá: "sempre trabalhei assim, não preciso de um computador para me auxiliar...".

A mudança não é apenas na aceitação da nova tecnologia, mas, em toda a empresa. Para que se possa utilizar com eficiência os recursos disponíveis será necessário desenvolver na empresa uma metodologia de classificação e nomenclatura dos trabalhos, uma melhor integração entre os departamentos, principalmente projeto e produção, uma nova maneira de fornecer orçamentos, calcular custos, tempos de produção, intercâmbio de dados, acesso a desenhos e planos de trabalho, etc..

Com certeza o maior passo é decidir adquirir um sistema, não apenas pelas mudanças organizacionais que esta decisão vai requisitar mas também pelo custo e perda de produção que serão notáveis nos primeiros meses de uso da nova metodologia. A vontade de uma empresa de abraçar os novos sistemas de manufatura pode ter um poderoso impacto sobre seu destino.

Os benefícios quantitativos da automação muitas vezes são de difícil definição, especialmente se uma empresa não tem uma contabilidade e procedimentos de controle e identificação de custos intensivos (WATKINS, 95).

O planejamento para a implantação de sistemas CAx em uma empresa deve ser realizado de maneira criteriosa, e a implantação em si deve ser realizada de maneira gradativa, acompanhando a mudança na filosofia da empresa, que, cada vez

mais, vai tender a acompanhar os desenvolvimentos tecnológicos apresentados no mercado.

Para a introdução de sistemas computacionais de auxílio à produção, antes mesmo de adquirir equipamentos para a área técnica, é interessante que a empresa já tenha contato, ou pelo menos parte desta, com este tipo de tecnologias. A introdução de microcomputadores para controle de contabilidade, folha de pessoal, geração de relatórios e emissão de notas e recibos é o primeiro passo para se modificar a mentalidade das pessoas envolvidas. Perde-se o medo das novas tecnologias e se tem uma melhora nas condições muito mais rapidamente visível do que no caso da implantação de sistemas CAx.

Quando já se tem um certo domínio sobre a utilização de computadores, e se perdeu o medo destes, se deve partir para a implantação de máquinas de comando numérico. Estas terão a função de iniciar o desbravamento em termos de produtividade aumentada e ganhos mensuráveis de maneira mais clara para os olhos mais desconfiados dentro da empresa. Como a implantação destas máquinas tende a rapidamente mostrar um grande ganho para a empresa, já que sua produtividade e flexibilidade são muito elevadas, se abre um largo caminho para a implantação das demais tecnologias auxiliadas por computador.

O passo seguinte consiste na implantação de sistemas CAD/CAM, que irá provocar uma certa perda de produtividade, até que todo o mecanismo passe a funcionar de maneira correta. Nesta etapa não se deve permitir uma perda no ânimo dos envolvidos.

Deve ficar bem claro, desde o início da implantação dos sistemas CAD/CAM, que só existirá um ganho de produtividade a médio ou longo prazo. Não será no dia seguinte à instalação do sistema que se terá um programa gerado automaticamente, talvez se leve mais de um mês para que se tenha algum efeito positivo, e isto tem de ficar bem claro para toda a empresa.

Segundo (AHRENS, 94) a implantação das tecnologias "CAx" deve seguir uma ordem lógica para que se tenha um melhor desempenho final. Separando a implantação em cinco etapas, tem-se:

- **levantamento e análise da situação da empresa**

Onde será necessário verificar a fundo a situação da empresa, buscando de forma objetiva identificar a sua estrutura organizacional e de trabalho para que, a partir daí, se possa adaptar a nova metodologia com a utilização de sistemas CAx.

- **especificação da metodologia de trabalho após a implantação do sistema**

Em função do que foi encontrado no passo acima e do progresso que se teve em função da sistematização dos procedimentos e da melhor organização dos setores de projeto e produção, será possível elaborar uma lista dos requisitos desejáveis para o sistema CAx que será adquirido. Deve-se levar em conta principalmente a metodologia do trabalho e a quantidade de peças que vão requerer uma maior complexidade do sistema, para que não se compre um sistema muito superior ao que vai ser necessário.

- **seleção inicial do sistema**

A escolha das ferramentas CAx adequadas às aplicações que estão sendo consideradas é uma escolha de software. É necessário identificar, inicialmente, quais são os programas adequados às funções. O hardware a ser adquirido é uma consequência da escolha do software e da performance desejada, usualmente em termos da capacidade de processamento em ponto flutuante e capacidade de processamento gráfico.

- **seleção detalhada**

Esta etapa corresponde à realização de testes de benchmark, ou seja, vamos buscar dentre os sistemas escolhidos na etapa anterior o que apresente a melhor relação custo/benefício para a empresa. Nestes testes são comparados os softwares sobre as plataformas mais adequadas e será escolhido o que apresentar mais características coincidentes com os requisitos especificados pela empresa.

- **treinamento do pessoal**

Deve-se treinar ao menos 3 pessoas, para que se tenha a garantia da continuidade do conhecimento na empresa caso algum dos funcionários se desligue da mesma, bem como propiciar a troca de informações de uma maneira mais ágil dentro da empresa.

Quando a empresa já domina a parte de programação de peças com o auxílio de computador, bem como as máquinas de comando numérico, é importante a aquisição de uma interface de DNC para levar os programas até as máquinas e proporcionar um melhor

controle da utilização e desempenho destas. A partir deste ponto é importante que a empresa passe a se preocupar com a fatia do mercado que deseja para si, e assim buscar os sistemas e máquinas que sejam mais adequados para este fim, elevando sua produtividade e adquirindo sistemas com características mais específicas para sua utilização.

Para que a empresa possa decidir qual sistema deve adquirir é necessário um estudo das características desejáveis nos equipamentos ou programas, para que suas atividades sejam facilitadas. Normalmente só se vai saber determinar quais características são desejáveis em um equipamento quando se tem um mínimo de conhecimento a respeito desta tecnologia. Sendo assim dificilmente uma empresa poderá realizar a melhor escolha quando está adquirindo uma nova tecnologia, a não ser que seja bem assessorada.

O trabalho de (RIBEIRO, 96) trata da utilização dos testes de "Benchmark", na seleção de softwares CAx para a indústria de moldes para plástico, utilizando o método AHP. A metodologia que se vai utilizar não terá tanta importância, quando da seleção do sistema mais adequado à empresa, pois, o método de seleção consiste numa avaliação de notas ou critérios levantados para avaliar uma determinada função do programa em questão, o que será realmente importante na seleção é a determinação de que funções são desejáveis para a realização das tarefas da empresa e o grau de importância que se dá, comparativamente, a estas funções. No seu estudo de caso, junto à uma prestadora de

serviços, levantou um grande número de requisitos que esta desejava encontrar no sistema que fosse escolhido.

Há uma década implantar CAD significava fazer um investimento de centenas de milhares de dólares. Hoje, com um décimo deste valor pode-se instalar um sistema muito mais poderoso e com funcionalidades com que o engenheiro de dez anos atrás podia apenas sonhar (EXAME, 95).

A implantação de um sistema CAx ainda hoje pode pesar muito no orçamento de uma pequena ou média empresa, dependendo do software e do hardware necessários para aquela aplicação. Quanto mais complexo e poderoso for o sistema, mais caro será o programa e mais poderosa será a plataforma para que este trabalhe de acordo com a necessidade da empresa, sendo assim a escolha do conjunto deve ser muito bem estudada, evitando o impulso de adquirir um sistema em função de modismos ou pressão do mercado, o que provavelmente iria ser um desperdício de recursos.

O sucesso da implantação, além do que já foi mencionado em termos de mudança na filosofia da empresa, é também função da escolha acertada do sistema. Fatores como: recursos especialmente voltados ao modelamento e usinagem de cavidades, interfaceamento com outros programas, facilidades de suporte, tanto de software como de hardware, são requisitos essenciais.

É por estes motivos que se deve realizar um estudo minucioso quando da aquisição de um sistema CAx para a empresa, entrando em contato com os fornecedores e providenciando a

execução de uma seleção bem fundamentada, que permita escolher o sistema que seja mais adequado às necessidades da empresa.

Adquirir e implantar um sistema CAx em uma empresa não irá garantir o sucesso na mesma, é necessário muito trabalho e empenho para que este sistema não tenha um efeito contrário ao desejado, ou seja, para que ele não se torne um problema para a produtividade.

Existem empresas, de pequeno e médio porte, que possuem apenas sistemas CAx para "propaganda", ou seja, se gabam por ser modernas, mas na verdade trabalham pelo método convencional e utilizam os computadores apenas para "passar a limpo" o trabalho que foi realizado de uma maneira convencional.

Para evitar problemas como este é necessário que a operação do sistema, principalmente no início, seja realizada da melhor maneira possível. Não se deve pensar em abandonar de imediato a maneira tradicional de trabalho, a mudança para os sistemas computadorizados deve ser gradual. A medida que as pessoas vão se acostumando com o sistema, e aprendendo a utilizá-lo e customizá-lo será mais fácil esta mudança. A política de cópias de segurança e classificação de arquivos deve ser muito bem estruturada de modo a evitar a perda de projetos, bem como a duplicação de informações dentro da empresa, permitindo assim que várias pessoas, de áreas diferentes possam ter acesso às informações.

A possibilidade de "customização" de componentes e acessórios de moldes, bem como a possibilidade de incluir, nos

próprios programas, as bibliotecas dos fornecedores de componentes, é um fator determinante da vantagem de utilização das tecnologias CAx. O tempo de projeto é economizado com estas funções, bem como com outros recursos existentes nos softwares, como espelhamento, fator de escala, aplicação de ângulos de saída, arredondamentos, etc.. Porém estas funções só passam a ser realmente utilizadas quando já se tem um bom conhecimento da operacionalidade do sistema adquirido.

Um fator que tem pressionado e muito as ferramentarias para a aquisição de sistemas CAx, é a necessidade de acompanhar o desenvolvimento tecnológicos das grandes empresas, principalmente no campo automobilístico, que, desde há alguns anos, vem implantando estas novas tecnologias.

As empresas fabricantes de moldes são normalmente subcontratadas para a execução de projetos ou apenas da fabricação dos moldes, e os projetos para estes moldes ou o desenho das peças não são mais fornecidas na forma de diversos desenhos e cortes, mas sim pelo fornecimento de um arquivo com um modelo da peça, que é entregue via disquete.

Não possuir um sistema CAx implica em não poder realizar serviços para este tipo de indústria, ou seja, implica em perder uma fatia do mercado para empresas nacionais mais tecnologicamente avançadas ou para empresas estrangeiras.

Esta necessidade de trabalhar com projetos ou modelos gerados por outras empresas, muito conhecido como terceirização de serviços, tem levado muitas empresas, além da implantação de

apenas um sistema CAx, a aprender a lidar com as diversas interfaces de dados para a importação e exportação de dados, bem como com a necessidade de possuir ou gerar diversos pós-processadores para permitir a programação de trajetórias de usinagem para as mais diferentes máquinas.

Os problemas decorrentes do interfaceamento entre sistemas CAx já foi bastante discutido e tem mostrado que ainda não existe uma interface confiável e efetiva para se trabalhar com os diversos fabricantes de software. É um problema que tem de ser resolvido caso a caso, a medida que a necessidade exige.

As empresas que trabalham com o fornecimento de programas para a usinagem, ou seja, fornecem o programa NC gerado por um sistema CAM, para que uma outra empresa realize a usinagem, devem dominar de uma maneira muito poderosa, a criação e manipulação de pós-processadores para os mais diversos comandos, principalmente se for necessária a utilização de sub-rotinas ou outros recursos do comando, que não um código NC ponto a ponto, para a redução do tamanho dos programas, permitindo assim a sua execução na máquina do cliente.

Muitos estudos já foram desenvolvidos a respeito da utilização de tecnologias auxiliadas por computador, principalmente no que diz respeito ao modelamento em sistema CAD e geração do programa de usinagem em sistema CAM. O que precisa ainda ser estudado é o porquê da necessidade de tantos "try-outs", simuladores de programas, etc., para que se possa efetivamente utilizar estas tecnologias.

Difícilmente se vai encontrar alguma ferramentaria que, após gerar um programa em um sistema CAM, vai partir direto para a usinagem da cavidade ou eletrodo, sem ter junto à máquina um operador de prontidão para atuar nos parâmetros de corte ou parar a usinagem, evitando assim possíveis imprevistos devidos a erros na programação.

Isto se deve principalmente à pouca confiança nos sistemas. Por mais que tenha sido testado, é aconselhável, em certos casos, a realização de um teste de usinagem utilizando material apropriado, como resina, ou quando isto não é possível, deve-se realizar uma análise muito apurada da simulação de usinagem a fim de encontrar possíveis inconsistências nas trajetórias das ferramentas.

O fato é que podem ocorrer problemas no modelamento que podem implicar em uma falha no programa de usinagem, ou ainda uma inconsistência devido a um "bug" no programa gerando assim uma penetração indevida da ferramenta na peça, ou até uma provável quebra desta.

Outro fator interessante que deve ser mencionado é que as trajetórias que deveriam ser "otimizadas", segundo os fabricantes e fornecedores dos softwares de CAD/CAM, nem sempre o são. Muitos sistemas realizam a usinagem de uma forma satisfatória, diminuindo ao máximo o tempo de usinagem, mas, esta trajetória fornecida pelo sistema está longe de ser a ótima. Deslocamentos em vazio sem necessidade, início da usinagem sempre em pontos distintos, movimentação para pontos

distantes da área de trabalho, são apenas alguns dos exemplos de problemas que ocorrem com a maioria dos programas de usinagem gerados automaticamente nos sistemas auxiliados por computador.

Não se pode afirmar que um determinado sistema não apresente os problemas que foram citados acima. O que deve ser realizado é um levantamento adequado da melhor maneira de utilizar um determinado conjunto de programa/plataforma, para que, na utilização em uma determinada aplicação, se tenha o melhor resultado possível.

A utilização de sistemas CAD/CAM, para a usinagem de cavidades, com a tendência atual da utilização cada vez maior de "free-form surfaces", seja ela diretamente no comando da máquina, ou em um complexo de diversas estações de trabalho, vai implicar em muito trabalho, treinamento e empenho do pessoal que vai utilizar o sistema.

Com este trabalho busca-se determinar a melhor maneira de gerar um código NC para a usinagem, por fresamento, de uma cavidade, levando em conta os requisitos dos moldes para injeção de plástico, sendo assim vamos levantar os pontos mais importantes quanto à utilização de sistemas CAM.

O pessoal mais indicado para o treinamento e operação dos sistemas CAM é o de operadores de máquinas, isto porque é mais fácil ensinar um operador de máquina a utilizar um sistema CAM do que ensinar um desenhista ou programador de computadores todas as características e artimanhas da usinagem.

Para gerar o programa NC precisa-se obter primeiramente um modelo da superfície que vai ser usinada. Este modelo pode ser obtido diretamente no sistema CAM, através de um sistema CAD acoplado, ou ainda por interfaceamento com um outro sistema CAD diferente. Independente da maneira como se dá a geração do modelo em CAD, é importante que este represente de maneira fiel todas as características da superfície a ser usinada, levando em consideração os ângulos de saída, contração da peça, etc..

O passo seguinte, que já se dá dentro do sistema CAM, é o planejamento do processo de usinagem. É nesta etapa que se dá a preparação detalhada das condições de corte, em função do material a ser cortado, da ferramenta a ser utilizada, da forma da superfície, do acabamento requerido, etc..

Os sistemas CAM apresentam, em sua grande maioria, bibliotecas que permitem armazenar dados sobre as ferramentas disponíveis para cada máquina, juntamente com seus dados dimensionais. Desta maneira, a programação da usinagem se dá sem a necessidade do programador ter de ir verificar ou medir as ferramentas disponíveis na empresa, bem como controlar e corrigir os dados referentes ao desgaste natural das mesmas. Muitos sistemas contam também com bibliotecas de trajetórias de usinagem, a serem utilizadas no todo ou em partes, para o fresamento de alguns detalhes em comum nas diversas peças. Com isso se vai ter a certeza da obtenção de um bom programa, já que as ferramentas estão corretamente determinadas e as trajetórias

para a usinagem de detalhes ou partes semelhantes já foram testadas na prática.

No que diz respeito à usinagem de cavidades, as partes mais importantes do processo são o modelamento da peça e o planejamento do processo de usinagem. O modelamento será uma função dos recursos disponíveis e da capacidade de representação do software, bem como do conhecimento do operador na utilização deste software. O planejamento do processo, além de depender do conhecimento do operador sobre o software, irá depender fortemente do conhecimento de características ou parâmetros de usinagem de quem está programando a peça. Para se usinar uma cavidade podem-se adotar diversas estratégias, utilizando uma ampla faixa de parâmetros de corte, bem como escolha de ferramentas de formas ou dimensões distintas.

A existência das bibliotecas de ferramentas e trajetórias, bem como de um banco de dados de condições de corte, para diversos pares material/ferramenta, são requisitos básicos para sistemas CAM a serem utilizados na indústria de moldes. Dispondo-se destes recursos, cada vez mais fácil será treinar uma pessoa para a operação e customização do sistema.

Escolhida a estratégia de usinagem e os parâmetros de corte para o desbaste, é importante que o sistema dê sugestões para possibilitar uma otimização na movimentação da ferramenta, de maneira a reduzir os tempos de usinagem, que geralmente são elevados, a um mínimo possível. A redução das movimentações em

vazio é o principal fator a ser considerado quando da edição das trajetórias.

O sistema CAM deve permitir, quando se programa a usinagem de acabamento ou semi-acabamento da superfície, a possibilidade de partir de uma pré-forma diferente de um bloco maciço, como é mais comum. Isto irá permitir uma prática de utilizar o desbaste da peça em uma máquina convencional. Com este tipo de recurso, pode-se utilizar, de maneira mais adequada, as máquinas com comando numérico, principalmente quando a empresa dispõe de poucas ou apenas uma máquina CNC.

A usinagem de acabamento ou semi-acabamento deve ainda levar em conta um fator já mencionado neste trabalho: a relação entre tempo de processamento/execução de blocos em função do comprimento de corte de cada instrução do programa. Estes fatores irão implicar no acabamento superficial da peça, bem como no tempo de usinagem. Quanto melhor for o acabamento desejado, ou seja, quanto mais fiel for a superfície desejada, mais tempo será necessário para a usinagem. Deve-se levar em conta, quando da escolha, nesta decisão de compromisso, que quanto melhor o acabamento na usinagem, menos tempo será demandado na operação de polimento do molde.

A decisão cabe ao processista, mas a possibilidade de ter informação quanto ao tempo real que será necessário para a usinagem, com determinados parâmetros, é um outro quesito quase que indispensável nos programas CAM. Assim pode-se testar

diversas estratégias buscando uma solução de compromisso entre acabamento e tempo de usinagem.

A possibilidade de editar, cortar e colar, os trechos das trajetórias, permite, ao processista experiente, otimizar ao máximo o processo, bem como evitar vibrações e outros problemas de corte ocasionados pela movimentação de corte das ferramentas em superfícies complexas.

O programa CAM também deve permitir a consideração de fatores como a fixação do bloco ou pré-forma, tamanho da mesa e altura máxima de deslocamento do cabeçote, etc.. Muitas vezes a determinação de que máquina utilizar vai ser função destas características, e o sistema CAM deve permitir estudar as possibilidades disponíveis na empresa.

Estando pronta a estratégia e otimizada ao máximo, deve-se fazer uma verificação no próprio programa, de como se vai dar a usinagem. Quanto mais recursos estiverem disponíveis para a visualização do processo, melhor será o sistema. Muitas vezes ao se ver a simulação da usinagem, surgem idéias para otimizar ainda mais o processo, ou ainda eliminar deslocamentos ou penetrações indevidas.

O último passo na utilização do sistema CAM é o pós-processamento ou geração do código NC para a máquina que vai ser utilizada. A possibilidade de gerar este código para diversas máquinas ou a facilidade em se modificar estes pós-processadores para máquinas diferentes, é de grande importância,

principalmente para empresas que se utilizam da sub-contratação ou terceirização de serviços de programação de usinagem.

Um fator que ainda cabe aqui comentar, e que pode estar ou não ligado ao sistema CAM, é a transferência dos programas, que no caso de cavidades de moldes são muito grandes, para as máquinas. A existência de um DNC acoplado ao sistema CAM, facilita muito a operação de usinagem. Caso seja necessário interromper o corte em alguma parte do programa, a retomada ou mudança de estratégia é mais facilmente controlada. Além, é claro, do fato de ser uma interface conhecida/pelo operador.

A utilização dos sistemas DNC, além de possibilitarem o envio adequado de grandes programas ao comando das máquinas, permite um controle eficiente do sistema de manufatura. Determinando o grau de utilização, bem como permitindo programações futuras com maior precisão.

Por fim devemos tornar a afirmar que muitos comandos já possuem sistemas CAD/CAM/DNC acoplados ao comando da máquina, e assim todo este trabalho para a programação das cavidades será feito diretamente na máquina.

Independentemente do tipo de sistema e situação em que está instalado, junto a máquina ou em outra estação, é importante que se tenha pleno conhecimento de sua capacidade e suas limitações. A indústria de moldes trabalha desde formas muito simples até superfícies extremamente complexas. Saber em que faixa a empresa se enquadra e adquirir o sistema adequado faz parte da solução dos problemas para se manter no mercado e obter sucesso.

## 5. CLASSIFICAÇÃO DE FERRAMENTARIAS:

Com o crescimento da competitividade das indústrias, a nível mundial, bem como com a globalização dos meios de produção, principalmente a partir da década de 70, surgiram diversas técnicas ou filosofias para buscar um aumento de produtividade. Técnicas como o Just-In-Time, a Qualidade Total, e a Tecnologia de Grupo, passaram a ser amplamente difundidas e aplicadas em empresas dos mais diferentes campos.

Com este trabalho busca-se desenvolver conhecimento aplicável nas ferramentarias nacionais, que tem perdido mercado para fabricantes estrangeiros, de maneira a estruturar uma metodologia de seleção dos recursos a serem utilizados na geração de programas para a usinagem, em máquinas de comando numérico, das cavidades dos moldes.

Durante o desenvolvimento deste trabalho foram realizadas visitas às principais ferramentarias nacionais, nas regiões de Caxias do Sul, Joinville, Curitiba e da grande São Paulo. Nestas visitas houve oportunidade de conhecer, de uma maneira mais profunda, o modo como estas operam, os equipamentos que dispõem, a gama de produtos para os quais estas fabricam moldes, bem como conhecer mais de perto as carências de informações que estas empresas apresentam.

Ao se visitar estas empresas e tomar conhecimento dos moldes que estas costumam confeccionar, foi possível observar que elas não são especializadas em apenas um setor da indústria de plástico. Foi possível verificar que mesmo as grandes

ferramentarias, que produzem grandes moldes para a indústria automobilística, também produzem pequenos moldes para a indústria de embalagens.

Aprofundando-se mais na verificação dos produtos apresentados foi possível constatar que as ferramentarias, no geral, aceitam "qualquer serviço", ou seja, elas produzem moldes desde soluções simples até as mais complexas, sem distinção.

Esta constatação, que aparentemente não tem muita importância, devido à já citada "grande necessidade de competir com o mercado externo", é sim fator determinante da sobrevivência da empresa, mas não se elas continuarem a agir desta forma, aceitando realizar moldes tanto de um simples disco plástico quanto de um painel de automóvel.

Produzir moldes de tamanhos tão diferentes e com graus de complexidade com tamanha distinção implica em possuir diversas máquinas capazes de suportar diferentes tipos de carga, com diferentes capacidades, possuir sistemas CAD/CAM/CNC que se adaptem a mudanças tão bruscas de complexidade, bem como possuir pessoal especializado nas diversas soluções que são possíveis para a construção de moldes.

A especialização tem se tornado uma maneira de sobrevivência para profissionais autônomos, para o comércio e para as indústrias.

Se especializar em um tipo de produto, ou um tipo de serviço implica em possuir equipamentos específicos para aquela necessidade. Sendo assim, se vai poder atender melhor às

necessidades de um cliente, do que poderia ser feito por um concorrente, que tem de resolver os problemas mais diferentes que possam se apresentar, e que necessita ter uma grande gama de equipamentos, menos especializados, que se adaptem a todas as situações que se apresentam.

Desta maneira, todo o capital empregado, assim o é, em função da solução dos problemas que se tem de resolver, buscando sempre equipamentos, sistemas, e pessoal o mais especializado possível, que melhor se adaptem para aquele fim, o que acarreta em um investimento mais acertado, mas nem sempre de menor monta.

A partir do que foi mencionado acima e do que foi verificado nas empresas fabricantes de moldes para plástico, buscou-se desenvolver uma classificação dos produtos ou peças que podem ser fabricadas em plástico, de maneira a permitir que as ferramentarias tenham uma metodologia para selecionarem os produtos ou peças com que tem melhor afinidade, e a partir daí se especializarem, buscando uma melhor atuação e sobrevivência no mercado.

A idéia de especialização, através da seleção dos produtos por semelhanças, tem muito a ver com a Tecnologia de Grupo que foi citada no início deste capítulo.

Ao observar o mundo onde se vive pode-se notar que muitas coisas já são fabricadas em plástico. Nas residências a maior aplicação do plástico se dá nos utensílios domésticos. Há muito não se vê no mercado baldes que não sejam plásticos, as vassouras de palha ou pelos quase não são mais vistas, nem no

interior. Eletrodomésticos, televisores, lustres, talheres, pratos, copos, acentos de banheiro, mesas, cadeiras, ventiladores, interruptores, tomadas, computadores, etc., quase tudo é plástico. Na indústria automobilística mundial cada vez mais se tem plástico na construção dos automóveis, já chegando, em alguns casos a quase 8% do peso total de alguns veículos.

Não seria possível aqui exemplificar todas as aplicações dos produtos plásticos, mas pode-se dizer que é cada vez mais difícil encontrar um campo da economia que não aplique ou tenha contato com um produto em plástico.

Segundo (WANG, 91), a Tecnologia de Grupo implica na noção de reconhecer e explorar as similaridades em três maneiras distintas:

- reunindo a realização de atividades semelhantes;
- padronizando atividades semelhantes;
- guardando e resgatando eficientemente informações a respeito de problemas ocorridos.

A tecnologia de grupo é geralmente considerada como uma filosofia ou conceito que identifica e explora as similaridades de peças ou processos no projeto e na fabricação, fazendo com que cada célula de produção seja projetada e gerida para a produção de uma família de peças.

Estudos como o de (LORINI, 93), tem sido realizados e aplicados, com muito sucesso, no uso da Tecnologia de Grupo na usinagem de peças, principalmente as de revolução.

A aplicação desta filosofia para os moldes para plástico é um pouco mais complexa, já que, além das peças de revolução e prismáticas, a indústria do plástico trabalha com as superfícies de forma livre, o que dificulta, em muito, o desenvolvimento de uma sistemática de seleção e divisão em famílias, de todas as peças que podem ser fabricadas por este processo.

Podem ser citados três fatores importantes na fabricação de moldes para plástico, quais sejam: a peça, a solução adotada para o molde e finalmente o sistema empregado para representar tanto a peça (referente à cavidade) quanto o molde (constituído pela cavidade e demais componentes e acessórios), e também responsável pela geração das trajetórias de usinagem, principalmente da cavidade.

### **5.1. Classificação em função das peças produzidas:**

Ao separar as ferramentarias em campos, em função das peças que produzem, pode-se utilizar a tecnologia de grupo, reunindo as peças que possuem similaridades de forma, dimensão, etc..

Para se reunir as peças em famílias, segundo (WANG, 91) pode-se fazê-lo: por observação, por meios heurísticos, por classificação e codificação, por análise do fluxo de produção (que se aplicaria em peças plásticas produzidas em mais de um estágio), além de outros métodos.

Pelo universo de peças plásticas ser muito grande, será adotado neste trabalho a classificação e codificação de peças, já que este método pode ser aplicado abrangendo um número muito grande de características das peças (LORINI, 93).

O termo "classificação" se refere à ordenação das peças em grupos, pela separação das peças com semelhanças (ou diferenças) baseando-se em parâmetros pré-determinados.

A codificação é a metodologia de expressar através de um código finito, numérico e/ou alfanumérico, as características de uma peça, sendo que este código deve abranger todo o universo que se deseja codificar, ser mutuamente exclusivo, ser baseado em características permanentes, permitir ser utilizado do ponto de vista do usuário, ter a possibilidade de ser expandido quando do surgimento de mudanças ou expansões tecnológicas, ser compatível com aplicações computacionais como CAD/CAM, etc..

Para se classificar as peças plásticas, em função das suas características de projeto, ou seja, em função de sua forma, dimensões, propriedades físicas e mecânicas, material, tipo de processamento, etc., será necessário desenvolver um código, numérico e/ou alfanumérico, que represente todas estas características.

Existem basicamente três tipos de estruturas de classificação e codificação para aplicações em Tecnologia de Grupos:

- *estrutura hierárquica ou monocódigo*, a qual é construída em forma de árvore onde cada dígito ou caracter amplia as informações do dígito anterior;

- *estrutura tipo cadeia ou policódigo* (também chamada de estrutura tipo dígito fixo), a qual possui uma estrutura de código onde cada posição de um dado dígito representa uma

informação independente que não está diretamente relacionada à informação dada pelos outros dígitos.

- *estrutura híbrida ou combinada*, quando um sistema de codificação tem de ser utilizado por diversos departamentos de uma empresa, como projeto, custos, ferramentaria, etc., um sistema puramente monocódigo ou policódigo, não teria a capacidade de representar todas as características necessárias à classificação das peças, contendo as informações relevantes a todos os setores em questão. Desta maneira, a maioria dos sistemas de classificação em uso na Tecnologia de Grupo lançam mão do artifício de representarem as peças ou famílias de peças, utilizando um código misto, representando assim, de maneira mais compacta, as informações necessárias para a identificação de cada peça.

De acordo com (LORINI, 93), devido às particularidades de cada companhia industrial, não existe um sistema de codificação que se adapte totalmente às necessidades específicas para cada caso. Sendo necessário sempre realizar modificações e adaptações para que os sistemas de codificação já conhecidos e utilizados, se adequem à cada nova aplicação.

Existem diversos sistemas de classificação e codificação, como Opitz, MICLASS, KK, etc.. Dentre os pesquisados, o que menos modificações necessita para ser aplicado à indústria de moldes, é o "Die Casting C&C System", ou sistema de classificação e codificação para moldes de fundição, adaptado por (WANG, 91 p.165), de outros autores.

Este sistema de codificação é de estrutura híbrida ou combinada, ou seja, ele se utiliza de estruturas monocódigo e policódigo para descrever as áreas projetadas e as características tecnológicas dos moldes de fundição.

É composto por um sistema de dezoito dígitos e cada dígito pode ter até doze atributos anexados. Os atributos são codificados alfanuméricamente de 0 até B (0, 1, , 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, A, B).

Na determinação deste sistema cada atributo foi racionalmente atribuído aos dezoito dígitos, após uma análise e avaliação sistemática das necessidades das indústrias, de maneira a poder representar as características de todo o espectro de peças da indústria de fundidos.

Um sistema de codificação que fosse baseado somente nas peças poderia apenas representar as características geométricas. Se o sistema fosse baseado somente na tecnologia de fundição refletiria apenas características tecnológicas das peças.

Sendo assim, o sistema apresentado pelo autor, o sistema de classificação e codificação para moldes de fundição inclui informações geométricas e tecnológicas de todos os possíveis tipos de fundidos.

A seguir apresenta-se uma lista de itens (dígitos) utilizados neste sistema de classificação e codificação:

1. Tipo genérico do material da peça
2. Tipo detalhado do material da peça
3. Peso da peça

4. Espessura da parede da peça
5. Mínima tolerância de tamanho
6. Comprimento projetado do molde
7. Largura projetada do molde
8. Posição dos canais de alimentação
9. Propriedade mecânica (dureza)
10. Propriedade mecânica (alongamento)
11. Propriedade mecânica (tensão de ruptura)
12. Propriedade mecânica (tensão de fadiga)
13. Tipo de máquina de fundição
14. Temperatura de fundição
15. Pressão de injeção
16. Tempo médio de preenchimento
17. Número de injeções por hora
18. Tratamento térmico após a desmoldagem

Estes dígitos podem ser divididos em quatro grupos básicos, quais sejam: propriedades gerais da peça, propriedades mecânicas, informações sobre o molde e finalmente propriedades do processo.

Na obra de WANG tem-se um maior detalhamento da maneira como este sistema de classificação e codificação funciona. O que é mais importante e, por este motivo, foi reproduzido neste trabalho, é a idéia da distribuição dos atributos, que pode ser modificada caso seja necessário, que se adapta com mínimas modificações à indústria de peças plásticas. Isto porque os processos tem muito em comum, e seu princípio básico é o mesmo.

Toma-se uma certa quantidade de matéria prima, se fornece calor até que esta se encontre num estado líquido ou pastoso, e, se faz com que esta matéria prima preencha uma cavidade, em alguns casos sob a ação de uma pressão para evitar o aparecimento de rechupes durante a solidificação.

Tomando por base este sistema pode-se criar um semelhante que se adapte às características das peças plásticas, levando em consideração aspectos como material, forma, processamento, etc..

## **5.2. Classificação em função do tipo de molde empregado:**

O segundo aspecto que pode ser utilizado como fator diferencial de tecnologia é a ferramenta, ou molde. Além deste representar, em sua cavidade, a forma negativa da peça, ele é responsável pela alimentação do material, ventilação da cavidade, troca de calor, sistema de extração, acomodação de forças, transmissão de movimentos, etc..

O molde é responsável pela produtividade máxima que se vai obter na fabricação de um determinado produto. No projeto deste se vai limitar o máximo número de peças que se poderá produzir em uma unidade de tempo, já que fatores como a alimentação de material, número de cavidades, trocas de calor, e a conseqüente solidificação do material, são funções diretas da ferramenta.

Na fabricação de peças plásticas existem diversas soluções apresentadas para os moldes, em função do tipo e forma do produto que se deseja obter, bem como da produtividade desejada. Cada um destes tipos de moldes implica no domínio de uma tecnologia de projeto e construção diferentes.

Para se separar as ferramentarias em campos, em função dos moldes que produzem, pode-se atacar o espectro de moldes existentes de algumas maneiras.

Primeiramente pode-se separar as ferramentarias pelo tamanho dos moldes produzidos, independentemente da complexidade e da tecnologia envolvidas nas soluções adotadas.

Ao considerar-se este aspecto (tamanho ou peso) dos moldes, está-se separando as ferramentarias em função da capacidade das máquinas em termos de carga ou cursos de deslocamento. No entanto, algumas ferramentarias utilizam-se de artifícios para a usinagem dos moldes de grandes dimensões. Artifícios estes como a divisão das cavidades em diversos insertos, juntamente com a terceirização da usinagem das placas suporte e demais componentes de grandes dimensões do molde, restando para a ferramentaria a usinagem e ajustagem dos demais componentes do molde, haja visto que a usinagem da cavidade, como já foi mencionado no início deste trabalho, é a que demanda o maior número de horas trabalhadas, bem como requer a maior capacidade tecnológica quando da sua execução.

Na obra de (MENGES, MOHREN 93 p. 92) encontra-se uma classificação bastante abrangente em função dos tipos de moldes existentes na atualidade. Segundo o autor, dependendo do material a ser processado fala-se freqüentemente em:

- moldes de injeção ( para termoplásticos );
- moldes para termofixos;
- moldes para elastômeros (borracha);

- moldes estruturais para plástico expandido.

Independente do tipo de material que será injetado, os tipos de moldes, e portanto as soluções construtivas adotadas, são basicamente as mesmas. Este fator irá sim implicar em fatores como folgas, material da cavidade, dimensão dos canais de entrada, sistema de refrigeração ou aquecimento do molde, etc.. Na Tabela 1, abaixo, tem-se quatro critérios a serem levados em consideração quando da classificação dos moldes.

Classificação de acordo com:	Fatores que influenciam	Versão do projeto*	Designação do molde
Número de linhas de junção	Geometria do moldado Número de cavidades Tipo de sistema de fechamento Sistema de extração	Moldes de duas placas Moldes de três placas Placa extratora (duas linhas de junção)	Molde padrão Molde projetado para rasgamento do moldado* Molde com placa extratora Molde em pilha ( "Stack Mold" )
Sistema Extrator	Forma do moldado Material plástico Parâmetros de processamento Tamanho do lote Posição do moldado em relação às linhas de junção	Partes móveis Cavidades separadas Mecanismo de extração com núcleo rotativo (roscado) Placa extratora	Molde com partes móveis Molde de cavidades divididas Molde com sistema de extração por núcleo rotativo ("Unscrewing mold") Molde com placa extratora
Sistema de troca de calor	Máquina injetora Tempo de ciclo Material plástico Economia	Canal quente Canal isolado	Molde de canal quente Molde de canal isolado
Transmissão de forças	Rigidez do molde Geometria do moldado Pressão específica de injeção Material plástico	Cavidades separadas Travamento mecânico do molde* Pinos - guia	Molde de cavidades separadas Molde padrão

**Tabela 1: Classificação dos moldes de acordo com características primárias de projeto (MENGES, MOHREN 93)**

Através destes critérios é possível dividir os moldes existentes em 11 grupos, referentes à uma designação, como pode-se ver na Tabela 2.

Designação	Terminologia
1. Molde Padrão	Projeto mais simples; uma linha de junção; movimento de abertura unidirecional; extração primariamente por gravidade, com pinos ou buchas ejetoras.
2. Molde com placa extratora	Similar ao nº1, mas a extração é feita com placa extratora.
3. Molde com partes móveis	Uma linha de junção; movimento de abertura na direção principal e na transversal com o auxílio de cames ou pinos - guia inclinados.
4. Molde com sistema de extração por placa impulsora*	Similar ao nº1, mas a separação dos canais de injeção do moldado é feita com o movimento de uma placa adicional em movimentação transversa.
5. Molde de cavidades divididas	Uma linha de junção; movimento de abertura na direção principal e transversal; as metades das cavidades deslizam em planos inclinados e podem suportar forças laterais.
6. Molde com mecanismo de extração por núcleo rotativo (roscado)	Possui um movimento de rotação para a extração de um moldado que possui um filete de rosca.
7. Molde projetado para rasgamento do moldado*	Duas linhas de junção resultantes depois da extração dos canais e do moldado; movimento de abertura unidirecional em dois estágios.*
8. Molde em pilha ( "Stack Mold" )	Placas das cavidades empilhadas com várias linhas de junção.
9. Molde de canais isolados	Duas linhas de junção; sem canais de alimentação convencionais, mas canais com maior área de secção transversal, permitindo a formação de um núcleo quente isolado por uma camada resfriada circunvizinha.
10. Molde de canal quente	O canal de alimentação está localizado em um tubo aquecido por resistências elétricas.
11. Moldes especiais	Combinação dos nºs 2 a 10, para moldes com necessidades especiais que não permitem uma solução trivial.

**Tabela 2: Terminologia que define a classificação dos moldes**

(MENGENS, MOHREN 93)

Por fim, outra maneira que ainda deve-se levar em consideração, quando se for realizar uma classificação em função do molde, é a separação em função dos fatores relevantes ao processo.

A máquina que se vai empregar para injetar as peças de cada molde é escolhida em função principalmente de fatores como a pressão de fechamento do molde que por sua vez é função das características do material a ser injetado e da área projetada do moldado, do peso do moldado juntamente com os canais de injeção, que irá determinar a capacidade mínima de plastificação da máquina, e por fim o tamanho do molde, que será fator determinante na colocação deste nas máquinas injetoras, principalmente nas dotadas de colunas.

### **5.3. Classificação em função do sistema CAD/CAM empregado:**

O terceiro aspecto que pode-se levar em consideração para classificar em campos de atuação as ferramentarias nacionais, é o sistema CAD/CAM empregado para o modelamento da peça, projeto do molde, ou geração das trajetórias de usinagem da cavidade.

De acordo com (JACOBS, 92), (O'HALLORAN, 93) e (AHRENS, 94), os sistemas CAD/CAM se apresentam em cinco possíveis formas diferentes, quais sejam:

1. 2D, ou planar, similar a um projeto normal em folha de papel, onde as informações são guardadas na forma de pontos em 2D, linhas em 2D, círculos em 2D, Splines em 2D, etc..

2. 2½ D, onde tem-se vários desenhos em 2D ligados entre si. As informações são guardadas em forma similar às do item 1,

somadas com a informação de como os vários desenhos 2D estão unidos. Ou seja, são desenhos planares de diversas camadas de um objeto, ou que possuem uma cota  $Z$ , buscando desta maneira representá-lo por inteiro.

3. 3D "wireframes", similar a uma estrutura feita de palitos e canudos, neste tipo de sistema são apenas representados os pontos e as arestas da peça, na forma de pontos 3D, linhas 3D, círculos 3D, Splines 3D, texto 3D, etc., só que neste sistema o usuário não consegue obter informações sobre as superfícies nem o volume delimitado pelas arestas do sólido.

4. Superfícies 3D, similar a construir os sólidos com papel celofane, com espessura zero e sem massa, este tipo de modelador, mais complexo que o de wireframes, permite representar além dos pontos e arestas, as superfícies que formam a peça. Porém ainda não se pode obter informações como o volume ou centro de gravidade dos objetos representados. As superfícies são guardadas na forma de superfícies regradadas, superfícies de revolução, superfícies de Bezier, NURBS, etc..

5. Sólidos 3D, similar a construir um objeto utilizando massa de modelar, que é alterada de forma a representar as características construtivas do objeto. A primeira categoria deste tipo de modelador CAD é a representação CSG (Constructive Solid Geometries), onde as informações são armazenadas como uma coleção de primitivas (cones, cubos, esferas, pirâmides, etc.) modificadas por operações booleanas. A segunda classe de modelamento sólido tridimensional, também conhecido como "B-

Representation", são pacotes de wireframes melhorados, onde as arestas são unidas formando faces, e a topologia é definida pelas normais destas superfícies, sendo que o sistema armazena nestas normais os dados referentes à massa, sendo assim possível obter informações como volume, centro de gravidade, momento de inércia, etc.. A terceira classe é um modelo composto das duas primeiras classes e por fim a quarta classe é a representação Voxel, onde as propriedades de massa são associadas a cada pixel.

Cabe lembrar que os tipos de modelador sólido mais utilizados são o "CSG" e o "B-Representation".

Pode-se afirmar que os sistemas, apresentados acima em ordem crescente de complexidade, possuem limitações, ou seja, a cada nível que se sobe em complexidade, se pode representar um número maior de peças (ou representar de maneira melhor as mesmas peças) mais complexas.

Através do que já foi levantado nos trabalhos de (KOIKE, 95), (CORRÊA, 95) e (VOLPATO, 93), que realizaram pesquisa nesta mesma área, foi possível concluir que também os sistemas CAD/CAM podem diferenciar o "potencial" de uma ferramentaria, ou seja, se uma dada ferramentaria possui somente um sistema CAD/CAM 2D, será muito difícil para esta gerar, com uma boa precisão, um programa de usinagem de uma peça que apresente um elemento de forma como uma superfície de forma livre.

Por outro lado, a ferramentaria que possuir um sistema modelador de sólidos, com uma biblioteca customizada de

componentes para moldes, poderá, em um tempo menor, realizar o projeto e a programação de usinagem da cavidade e dos demais componentes do molde, de uma maneira bastante rápida e otimizada.

O que cabe levantar aqui é que não é necessário se possuir o melhor modelador de sólidos que exista, mas sim, fazer uso, e saber fazer uso do sistema que se possui. Segundo (SPAULDING, 90), após cerca de uma semana de treinamento em tempo integral em um sistema CAD/CAM, o empregado já pode produzir trabalho útil. Após três meses utilizando o sistema, esta pessoa já pode estar utilizando o sistema em quase todo o seu potencial.

De acordo com (DIESSLIN e O'CONNOR, 90), a implantação de sistemas computacionais nas empresas tem reduzido o tempo para achar coisas - peças, ferramentas, sistemas de fixação, etc.- de maneira que grandes economias são alcançadas com a redução das perdas com processamento de informações e pelo controle dos custos.

Desta maneira, e devido à grande variação nos custos para a implantação dos sistemas computacionais já referidos, custos estes diretamente proporcionais ao potencial que estes possam apresentar, tanto em termos de software quanto de hardware, deve-se classificar as empresas também em função do tipo de sistema que possuem, assumindo-se o fato de que estas utilizam o sistema ao limite de seu potencial.

A classificação das empresas se dará em termos dos recursos do sistema que utilizam, não do que possuem, já que foi

constatado que diversas empresas não utilizam os softwares ao máximo de sua capacidade, ficando estes, muitas vezes subutilizados, representando assim um mau investimento de capital.

Nesta mesma classificação ainda podem-se incluir as ferramentarias que dispõem de máquinas com sistemas CAD/CAM acoplados ao comando da própria máquina, já que existem sistemas 2D, 2½D e sistemas 3D, da mesma maneira como se estes modeladores se encontrassem em estações de trabalho diferentes.

## 6. SISTEMÁTICA DE SELEÇÃO:

No capítulo anterior foram citadas três maneiras pelas quais se pode fazer a separação das ferramentarias em grupos. A escolha de qual maneira uma ferramentaria vai utilizar, para selecionar o campo em que mais tem condições de competir com o mercado, se dará em função das características organizacionais da própria empresa.

Para auxílio às empresas, desenvolveu-se uma sistemática que pode ser empregada, de uma maneira geral, para uma primeira classificação.

Pode-se, a princípio, dividir as ferramentarias, que, em comparação a outras empresas são consideradas de pequeno ou médio porte (VOLPATO, 93), em pequenas, médias e grandes ferramentarias.

Como *pequenas ferramentarias* consideram-se as que, muitas vezes junto a apenas uma transformadora, são especializadas na manutenção de moldes, mas que, ocasionalmente, fabricam moldes, sem que esta seja a sua maneira básica de subsistência, e que por isso não dispõem de equipamentos dedicados unicamente à confecção dos moldes.

O pessoal encontrado nestas ferramentarias consiste basicamente em técnicos de manutenção, operadores de máquinas ferramenta, e ajustadores, mas que, em função do contato contínuo com os moldes em manutenção, possuem conhecimento empírico a respeito do projeto e confecção dos mesmos.

Pode-se enquadrar em pequenas ferramentarias também aquelas que não possuem grande conhecimento técnico na tecnologia dos moldes para plástico, assim como aquelas que não se utilizam de sistemas CAD/CAM para o modelamento e posterior usinagem das cavidades, sendo que a programação das máquinas de comando numérico se dá manualmente (MDI) ou através de empresas que prestam este tipo de serviços.

As *grandes ferramentarias* são as que possuem capacitação técnica para a execução de todos os trabalhos a ela apresentados, independente da solução a ser empregada e do tamanho dos componentes do molde a serem usinados. Normalmente prestam serviços diretamente às montadoras de automóveis ou grandes empresas de transformação. Possuem equipamento específico para a fabricação de moldes, assim como máquinas CNC, e executam todo o serviço, desde o projeto até o try-out do molde. Contam com sistemas CAD/CAM específicos para a área de moldes e podem, para construir um molde, receber apenas o modelo da "casca" da peça, realizando o projeto do molde e o modelamento das partes necessárias.

Como *médias ferramentarias* considera-se, das que sobrevivem única e exclusivamente da fabricação de moldes, as que fabricam moldes utilizando sistemas CAD/CAM ou programação auxiliada diretamente no comando, mas que, devido a limitações técnicas, não possuem capacidade de produzir moldes de grande porte, moldes com dispositivos complexos, ou ainda moldes com soluções complexas.

Das três metodologias que foram levantadas no último capítulo, para promover a classificação das ferramentarias, a que mais se adapta às *pequenas ferramentarias*, é a *da classificação em função do tipo de peças* que é produzido.

Isto se deve ao fato, de, como já foi mencionado, estas pequenas ferramentarias trabalham normalmente ligadas diretamente a um transformador. Normalmente as empresas transformadoras trabalham com famílias de peças, como por exemplo um conjunto de baldes ou vasilhames, que diferem entre si apenas pelo tamanho, sendo assim, é mais fácil para estas ferramentarias utilizarem uma classificação baseada no sistema apresentado para peças de fundição. Adaptando de maneira a possibilitar a sua utilização. Esta classificação, pode ser usada em função da classificação adotada pela transformadora para classificar os produtos de suas linhas de produção.

Assim, quando surgir a necessidade da fabricação de um molde para uma nova peça ou produto, através do código desta, se irá buscar informação a respeito das peças que possuem características em comum. De posse destas características será determinada a melhor solução empregada para a confecção do molde.

Caso o novo molde se enquadre em uma situação onde a tecnologia e os equipamentos necessários para a execução deste, estejam disponíveis na empresa, será possível a execução do mesmo. Caso contrário, será necessário recorrer a uma outra ferramentaria para que este molde seja executado.

Esta classificação também permitirá uma melhor organização em termos da manutenção dos moldes, padronizando componentes para os diversos grupos de peças fabricadas.

Com relação à dúvida levantada no início deste trabalho, a respeito da melhor maneira para se realizar a programação da cavidade, seja ela através de cópia, digitalização ou programação via CAD/CAM, no caso das pequenas empresas a escolha se vai dar em função da máquina de comando numérico que a empresa possuir.

Caso a dúvida seja para adquirir uma máquina, ou substituição de um comando, para as pequenas empresas a solução, mais indicada é a aquisição de uma máquina que permita a programação de peças diretamente no comando, ou seja, um comando que disponha de recursos CAD/CAM, ainda que simples. Estas novas máquinas, normalmente permitem a realização, através da aquisição de alguns dispositivos opcionais que não chegam a encarecer tanto a máquina, da digitalização das peças, o que por sua vez permite uma fabricação similar ao processo convencional de cópia.

Para as *médias ferramentarias*, que normalmente já possuem um sistema CAD/CAM, ou máquinas com comandos que possuam este recurso, a melhor maneira de *classificação é a referente ao tipo de moldes que pode executar*, em função dos detalhes construtivos e da tecnologia envolvida em cada tipo diferente de molde.

Na fabricação, em médias ferramentarias, a utilização de sistemas CAD/CAM, dotados de bibliotecas de componentes, irá facilitar, e muito, o desenvolvimento dos projetos.

Normalmente nestas empresas a demanda de produtos sendo fabricados é maior e não se pode assim, contar com apenas uma estação de trabalho com CAD/CAM, principalmente se esta estiver ligada à um comando de máquina. Mas nada impede que se tenha uma estação de trabalho baseada junto ao comando e outras estações, baseadas em PC's ou estações gráficas, trabalhando em conjunto.

Esta classificação, baseada no molde, irá permitir uma maior especialização em um tipo de solução construtiva de moldes, como por exemplo a aplicação de canais quentes, desta maneira a ferramentaria buscará dominar todos os aspectos relevantes a este campo e assim poderá participar de forma mais ativa no mercado.

Para as *grandes ferramentarias*, principalmente as que prestam serviços para a indústria automotiva, a *classificação mais adequada se dará em função dos sistemas CAD/CAM* empregados por ela ou pelos solicitantes do serviço.

Já que estas dominam as soluções para a fabricação de moldes, e como o tamanho destes não é um entrave para a fabricação, estas estarão limitadas pela capacidade dos sistemas em modelar as superfícies, ou ainda em tratar com o interfaceamento de dados dos diversos fabricantes de sistemas CAD/CAM.

Nas grandes ferramentarias a tendência é que cada vez menos se tenha o fresamento por cópia ou digitalização pelo que já foi mencionado em função da confecção de moldelos. O que resta é a programação via CAD/CAM em estações ou diretamente nas máquinas.

Em se tratando de peças simples, ou componentes construtivos dos moldes, que não as cavidades, o que mais é interessante é a programação diretamente na máquina. Restando assim para os sistemas CAD/CAM dedicados, o modelamento de superfícies complexas, projeto de moldes com soluções não convencionais, análises CAE, etc..

A maneira que cada empresa vai adotar, para se enquadrar em uma fatia do mercado, irá depender dela mesma. O que buscou-se levantar aqui foram idéias básicas, a fim de indicar uma direção para um início de estudos. Não são regras básicas. Nada impede que uma empresa média utilize o sistema de classificação em função do sistema CAD/CAM empregado, nem que uma grande empresa realize uma classificação dos seus serviços em função de uma classificação e codificação das peças.

O bom senso deve levar as pessoas envolvidas a encontrar a melhor solução a ser adotada, e adaptar esta solução da melhor maneira possível para que a empresa se coloque em uma certa fatia do mercado.

O fato importante aqui não é a classificação em si, mas a idéia de tomar conta e se especializar em uma certa área, já que aquelas que não tomarem concicência desta tendência tendem a perder mercado.

### **6.1. Estudo de Caso:**

O estudo de caso, que foi realizado como conclusão deste trabalho, se constituiu no modelamento, programação e usinagem de uma cavidade, diretamente em uma máquina de comando numérico.

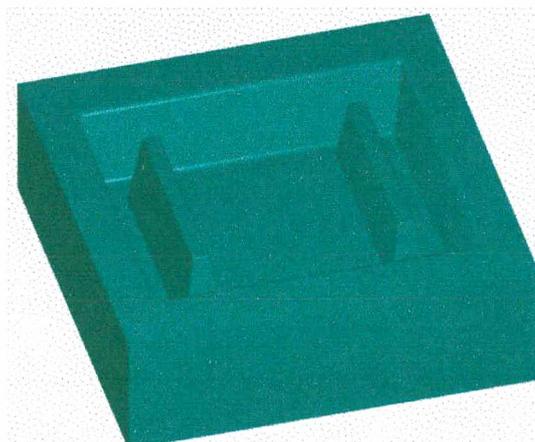
Com isso visa-se demonstrar que, com o advento dos novos comandos dotados de sistemas CAD/CAM, peças com um grau de complexidade médio, podem ser modeladas e usinadas sem a necessidade da empresa fazer uso de sistemas baseados em estações ou PC's.

Mostra-se, com isso, que a infra-estrutura necessária para uma ferramentaria fica bastante reduzida, sendo que, para a programação de uma cavidade, utilizando um sistema CAD/CAM incorporado a um comando numérico, necessita-se apenas do comando e do próprio operador da máquina.

Já a programação que utiliza sistemas CAD/CAM em estações de trabalho distintas, irá necessitar de: estação dotada de sistema CAD, estação dotada de sistema CAM, estação para controle/gerenciamento do DNC, sendo que estas estações devem estar interligadas entre si através de uma rede (KOIKE, 95).

A usinagem, deste estudo de caso, foi realizada em um centro de usinagem DANFORD TRIAC PC (dotado de comando FANUC), que é uma máquina de pequenas dimensões, externa à Universidade, devido à impossibilidade de se utilizar plenamente as características do NbH-65, disponível no USICON, que ainda necessita de ajustes após o processo de troca de comando.

Neste estudo de caso, escolheu-se uma peça típica da indústria de moldes (Figura 6-1) que contava com características tais como ângulo de saída, "trimming" de várias superfícies, mais de dois arredondamentos se encontrando em um único ponto, etc., a fim de fazer plena utilização das características de modelamento dos sistemas disponíveis, bem como verificar limitações na programação diretamente no comando da máquina.



**Figura 6-1: modelo da peça utilizada no estudo de caso**

A idéia inicial de se realizar modelamento e programação da usinagem da peça diretamente no comando de um centro de usinagem dotado de sistema CAD/CAM, não foi possível de se concretizar plenamente, haja visto que não se conseguiu máquina com tais características que estivesse disponível para este experimento.

Para contornar tal situação, simulou-se em outro PC como se a programação estivesse ocorrendo diretamente no comando da máquina através da utilização do programa de CAM denominado CAMSTATION, desenvolvido pela AUDACES em cooperação com o GRUCON, sendo que o modelo da peça foi desenvolvido no modulo Modler do MICROSTATION 95, ambos rodando em PC's.

Este sistema possui módulos de programação em 2D e 3D, sendo de pequeno tamanho, o que permite, se necessário, a sua instalação em um comando de máquina, contando com as mesmas características que já foram citadas neste trabalho, dos sistemas que muitos fabricantes já apresentam nos seus comandos numéricos.

Para a usinagem da peça as atividades de desbaste e acabamento foram subdivididas em algumas operações, visando obter programas de usinagem de menor tamanho, possibilitando assim uma melhor avaliação de cada estratégia adotada.

Para o desbaste, foram utilizados uma fresa de topo reto e o módulo de CAM 2D, com os parâmetros que estão descritos na Tabela 3. Para isto foi necessário criar um modelo simplificado da cavidade, em 2½D, permitindo assim gerar as trajetórias da ferramenta. Para o desbaste da peça foram utilizados três programas.

O acabamento foi programado utilizando-se o módulo de CAM 3D. Uma das limitantes apresentadas para a geração do acabamento foi o tempo necessário para o cálculo da trajetória da ferramenta. Apesar de se estar utilizando um microcomputador PENTIUM 133 MHz, a geração dos cálculos para uma estratégia de usinagem demorava entre 40 minutos e três horas.

Outro fator que pode ser aqui mencionado é que este programa requer, como dado de entrada, o espaçamento lateral entre os passes consecutivos da ferramenta, caso se deseje, para o acabamento, limitar o valor máximo das alturas das cristas

(cusp tolerance), deixadas pelas ferramentas de ponta esférica, deve-se utilizar a equação deduzida na Figura 6-2.

$$ae = f(R, c)$$

$$R^2 = \left(\frac{ae}{2}\right)^2 + (R - c)^2$$

$$R^2 = \frac{ae^2}{4} + R^2 - 2(R * c) + c^2$$

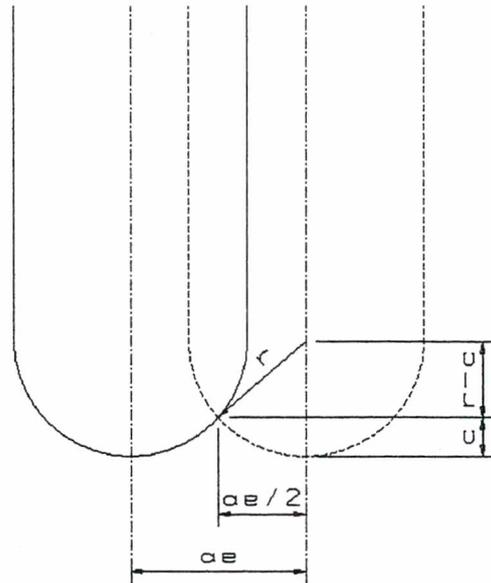
$$R^2 - R^2 = \frac{ae^2}{4} - 2(R * c) + c^2$$

$$0 = \frac{ae^2}{4} - 2(R * c) + c^2$$

$$\frac{ae^2}{4} = 2(R * c) - c^2$$

$$ae^2 = 8(R * c) - 4c^2$$

$$\therefore ae = \sqrt{8(R * c) - 4c^2}$$



**Figura 6-2: dedução do espaçamento lateral em função do raio e da altura de crista desejada**

Para o acabamento da peça foram utilizadas duas fresas de ponta esférica (ball nose), sendo a primeira de diâmetro de 6 mm e a segunda com diâmetro de 3mm. Os parâmetros utilizados são apresentados abaixo na Tabela 3. Para atingir o acabamento desejado para a superfície da peça foram utilizadas duas operações.

O programa gerado pelo CAMSTATION, foi simulado utilizando o programa Danford Milling, fornecido pelo fabricante do centro

de usinagem, para que fosse possível determinar a existência de alguma inconsistência na programação, o que poderia gerar problemas com a peça sendo usinada.

**BLOCO:** 100X100X32

**MATERIAL:** ALUMÍNIO

	DESBASTES INICIAIS	DESBASTE COMPLEMENTAR	ACABAMENTO 1	ACABAMENTO 2	ACABAMENTO 3
TIPO DE FRESA	TOPO RETO	PONTA DE BOLA	PONTA DE BOLA	PONTA DE BOLA	PONTA DE BOLA
POSIÇÃO NO MAGAZINE	1	2	2	2	3
DIÂMETRO	6 mm	6 mm	6 mm	6 mm	3 mm
AVANÇO	200 m/min	200 m/min	200 m/min	200 m/min	150 m/min
AVANÇO DE ENTRADA	50 m/min	50 m/min	50 m/min	50 m/min	50 m/min
ROTAÇÃO	3200 RPM	3200 RPM	3200 RPM	3200 RPM	3200 RPM
ESPESSURA DE CORTE	0.8 mm	0.8 mm	-	-	-
INCREMENTO LATERAL	4	2.1	2.8	1	0.15
Z DE AVANÇO RÁPIDO	2	2	2	2	2
ESTRATÉGIA USINAGEM	RASTER	PROFILE	45	135	45
SOBREMETAL	0	0.2	0.1	0.1	0
TAMANHO DO PROG.	83459bytes	430968 bytes	450635 bytes	575850 bytes	3461824 bytes
TEMPO DE USINAGEM	2 55' 45"	1 47' 55	48' 30	2 02' 21''	inacabado*

**Tabela 3: Parâmetros da programação da usinagem da cavidade**

Através desta usinagem foi possível verificar que, para se chegar aos objetivos almejados, ao se projetar este experimento, será necessário realizar novos ensaios, utilizando-se uma máquina mais adequada. Isto se deve ao fato de, durante a usinagem, ter-se notado que a máquina apresenta, um erro sistemático no posicionamento das coordenadas, fazendo com que a usinagem, principalmente durante o acabamento, não seguisse a trajetória programada.

Ao investigar-se o porquê deste erro, verificou-se que, por se tratar de um equipamento mais simples, projetado apenas para ensino, este não conta com um sistema de retroalimentação do posicionamento dos motores de passo dos eixos, implicando assim em um certo erro, principalmente se forem programarmos incrementos laterais de ferramenta pequenos. Por isto não levamos a término a usinagem de acabamento, conforme indicado na Tabela 3 por um \*.

Desta maneira não se pode afirmar que o sistema de programação, diretamente no comando, seja plenamente utilizável e recomendável para a aplicação em pequenas ou médias ferramentarias.

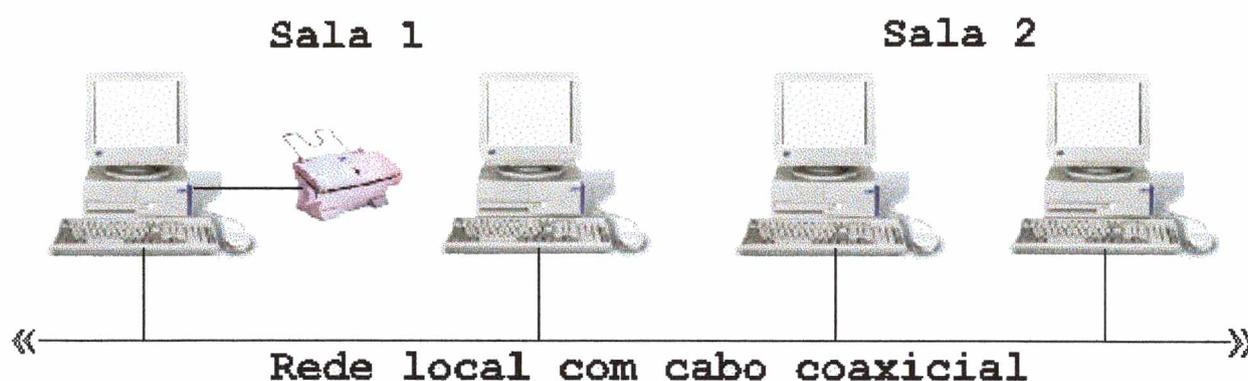
Outro fator que nos leva a considerar a necessidade de novos experimentos é o tempo de processamento para a geração das trajetórias, que foi demasiadamente grande, principalmente na determinação das trajetórias de acabamento.

Para dirimir a dúvida da aplicabilidade destes sistemas de programação será necessário utilizar a programação em um comando que realmente conte com estes recursos, já que a simulação realizada não se mostrou satisfatória.

## **6.2. Teste da integração dos sistemas:**

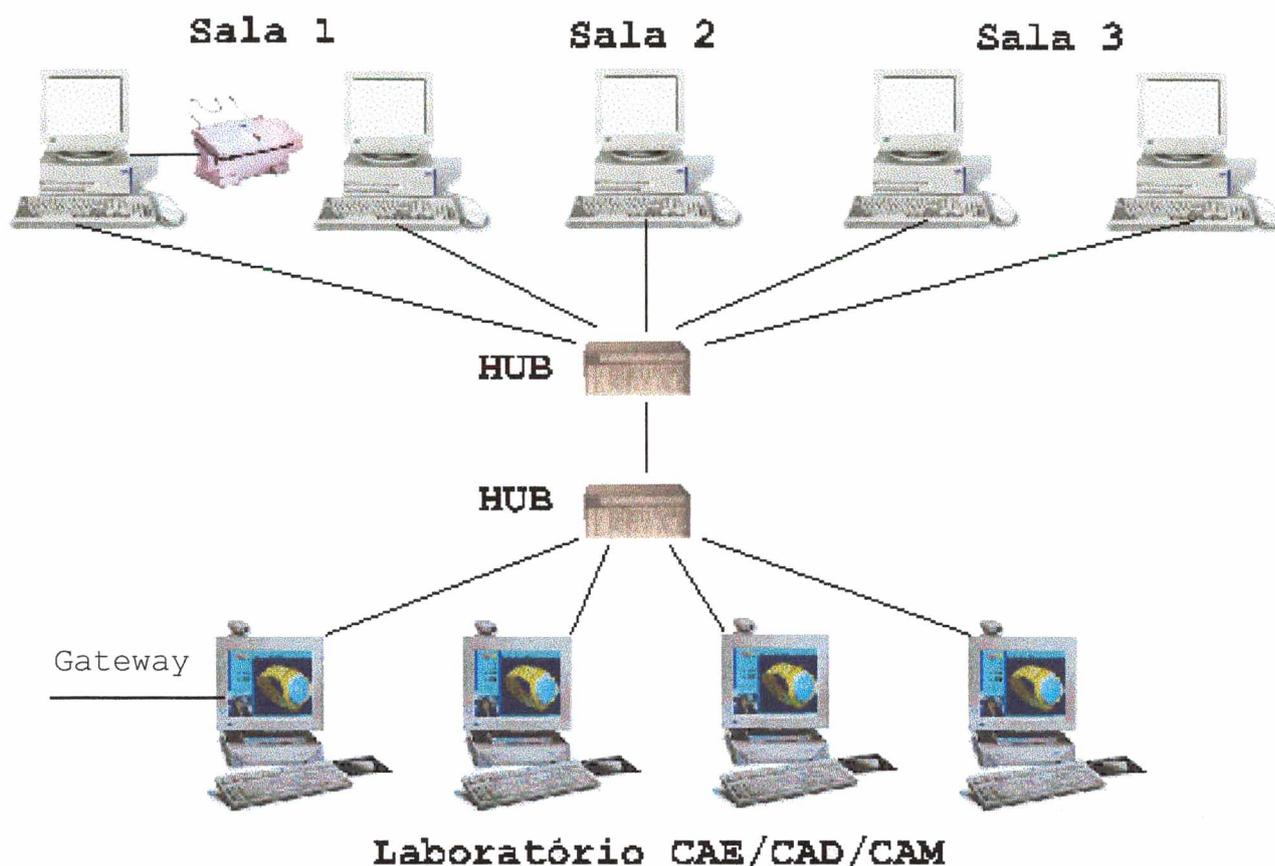
A programação para o fresamento de cavidades de moldes, utilizando a metodologia de integração desenvolvida no CIMJECT, implica na disponibilidade de uma série de pré-requisitos, que foram providenciados, no decorrer deste trabalho, para se poder fazer uso e testar a integração entre os diversos sistemas

A ligação dos computadores se deu primeiramente para o compartilhamento das informações armazenadas nos discos rígidos das diversas máquinas do laboratório, assim como o compartilhamento de uma única impressora disponível (Figura 6-3).



**Figura 6-3: ligação em rede dos recursos disponíveis**

Após o sistema ter sido implantado e estar funcionando, utilizando-se cabos coaxiais, devido à modificações da rede do prédio da mecânica, foi feita uma mudança para o sistema de cabos de par trançado (Figura 6-4), que possuem melhores características de resistência a interferências externas. Ficando assim, ligados entre si, todos os computadores disponíveis, utilizando um protocolo do sistema operacional Windows 3.11 (TCP-IP), que por sua vez permitiu o acesso aos discos das estações, bem como interligação à rede da UFSC e por conseqüência à INTERNET.



**Figura 6-4: topologia da rede utilizando cabos de par trançado**

O segundo passo, para a integração dos sistemas, foi obter um sistema DNC, para a ligação das duas máquinas de comando numérico (torno e centro de usinagem) disponíveis no USICON. O GRUCON/CIMJECT já havia adquirido, juntamente com um sistema CAD/CAM, um sistema DNC, denominado DUCT DNC-1 da DELCAM, o qual foi bastante estudado. Porém, para sua implantação seria necessária a utilização de um microcomputador próximo às máquinas (e ligado a estas), que também estivesse ligado à rede da UFSC, para que as informações pudessem ser transmitidas entre os laboratórios. Como não se dispunha deste microcomputador não foi possível realizar a ligação da maneira desejada.

da UFSC, para que as informações pudessem ser transmitidas entre os laboratórios. Como não se dispunha deste microcomputador não foi possível realizar a ligação da maneira desejada.

Foi tentada a transmissão de dados levando um microcomputador ao laboratório USICON, inicialmente para a ligação do torno de comando numérico. Porém foi constatado um problema, na placa de buffer remoto, que nem com o auxílio do pessoal da assistência técnica da ROMI de Joinvile foi resolvido. A solução, que foi encontrada para este problema, foi a realização de um "zeramento" de todos os parâmetros de comunicação do comando, permitindo assim a utilização da saída de transmissão de dados normal da máquina, através da interface RS-232.

A ligação do centro de usinagem apresentou as mesmas limitações. Devido à demora na colocação em operação do novo comando, em função de problemas técnicos, não foi possível a ligação deste em um micro para se testar a importação e exportação de programas. No caso do centro de usinagem contou-se também com um sistema de importação e exportação de dados específico para o comando, chamado Tp-300, fornecido pela MAXITEC, que também ainda não foi testado pelos mesmos motivos.

Haja visto que não seria possível realizar o teste de transmissão de informações dos micros ou das estações até as máquinas, decidiu-se realizar a simulação de uma técnica bastante empregada junto às ferramentarias, a transmissão de dados entre programas CAD/CAM diferentes.

Uma empresa que possui um sistema "A" realiza o modelamento da peça da qual se deseja fabricar o molde. Este modelo é enviado via rede a uma ferramentaria que possui um sistema "B", para que esta faça o projeto do molde e realize a usinagem da cavidade e demais elementos construtivos. Esta ferramentaria realiza o projeto do molde, mas terceiriza a usinagem da cavidade, enviando a uma prestadora de serviços, que possui um sistema "C", o modelo da cavidade a ser usinada.

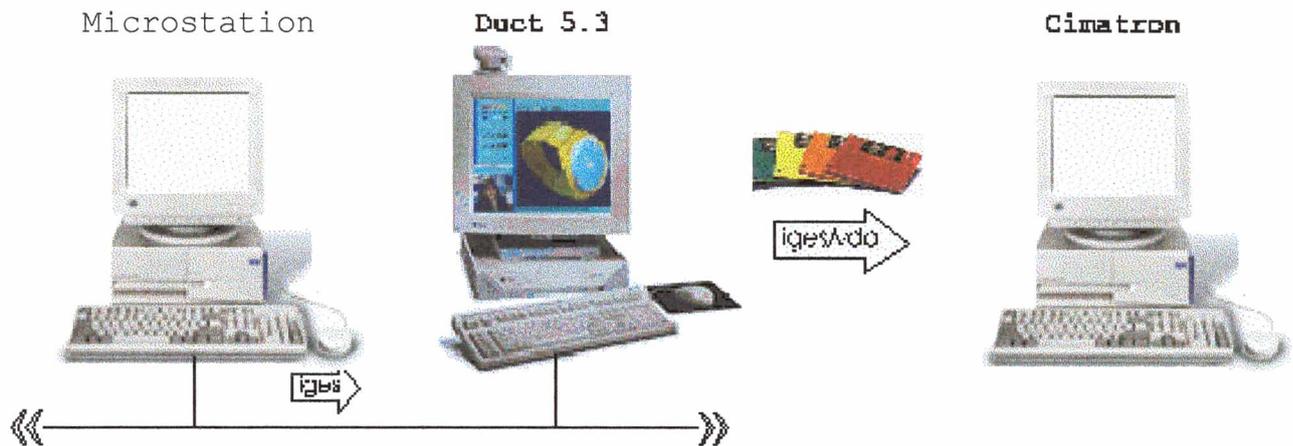
Para verificar o funcionamento desta integração na prática, realizou-se o seguinte experimento, esquematizado na Figura 6-5.

O sistema "A", escolhido por possuir características que permitiram um fácil modelamento da peça selecionada, foi o Modler, um pacote acessório ao Microstation 95, que permite o modelamento em sólido utilizando características paramétricas. Este sistema está baseado em plataforma PC.

Este modelo foi exportado via rede (através do serviço de e-mail) para o sistema "B", que possui características específicas para a fabricação de moldes, como foi citado por (VOLPATO, 93), sendo este o DUCT 5.3 da DELCAM. Este sistema está baseado em estação gráfica.

A importação do modelo se deu utilizando a interface IGES que estes programas possuem em comum. Através desta foi possível transmitir o modelo da peça sem problemas, sendo que todas as entidades transmitidas puderam ser lidas e alteradas sem problemas.

Feito isto, o modelo foi exportado novamente, agora para os modelos IGES e VDA. Estes modelos gerados pelo DUCT foram levados, via magnética (disquete), já que este sistema não está ligado à rede, até uma estação no laboratório de CAD/CAM da Escola Técnica Federal de Santa Catarina, que dispõe do sistema "C", o Cimatron it rodando em um PC, Ambos foram importados sem problemas.



**Figura 6-5: teste de integração dos sistemas disponíveis**

Neste último sistema, que representaria, no referido estudo de caso, a empresa responsável pela usinagem da cavidade, seria realizada a programação da usinagem da peça (geração do código G), ou seja o trabalho de CAM.

Fecha-se com isto este ciclo de integração, e como foi verificado na prática, mesmo utilizando-se sistemas bastante distintos e baseados em plataformas diferentes, foi possível a transferência e manipulação dos arquivos relativos às peças.

## 7. CONCLUSÃO:

Após uma análise geral de todas as informações reunidas na pesquisa bibliográfica e durante o desenvolvimento deste trabalho, pode-se concluir que:

- a tecnologia que envolve o fresamento de cavidades de moldes é bastante complexa. Por serem muitas as variáveis envolvidas, em decorrência dos materiais e ferramentas empregados (ou disponíveis no mercado), é necessário se dispor de pessoal especializado para que os problemas sejam atacados (e resolvidos) da melhor maneira possível. Desenvolver pessoal com este tipo de especialização, assim como informações para o mercado é uma tarefa difícil, mas que deve ser assumida pelas instituições de ensino e pesquisa, num processo de estreita cooperação com as empresas do ramo, bem como, fabricantes de máquinas e ferramentas de usinagem.

O fresamento por cópia e a digitalização ainda são muitíssimo utilizados nas ferramentarias, principalmente por serem tecnologias bastante dominadas, sendo, especialmente o fresamento por cópia, inclusive considerado como "meio convencional" de fabricação de cavidades.

Com o advento das novas metodologias da prototipagem rápida e com a criação de empresas especializadas no modelamento de peças, existe uma tendência a uma diminuição no tempo de geração

e modificação dos modelos físicos. Mas, por se tratar de uma nova tecnologia, que depende de sistemas CAD/CAM, ainda pouco empregados pelas ferramentarias, e de equipamento especializado, ainda parece estar distante o momento em que a maioria das ferramentarias adotarão definitivamente esta nova tecnologia como um auxílio ao projeto e à fabricação, na mesma proporção em que as tecnologias de comando numérico são utilizadas hoje, principalmente pelo receio de investir em algo que, aparentemente, é mais complicado de implementar e dar retorno a curto prazo, além de outras dificuldades como, por exemplo, encontrar pessoal especializado no mercado.

No fresamento com máquinas CNC, um fator importante para o processo é o tempo de processamento de bloco do comando. Este fator tem grande influência no acabamento das superfícies, bem como na possibilidade ou não da máquina conseguir executar a usinagem realmente com os parâmetros que foram escolhidos durante o planejamento do processo.

Em termos de ferramentas para a usinagem de cavidades de moldes, uma nova tecnologia que está surgindo é a que faz uso de um inserto circular que é rigidamente fixo em um forte porta ferramenta de aço liga. Ao contrário dos insertos brazados, este novo inserto circular é posicionado com um parafuso e sustentado contra o fundo da fenda de inserção para suportar as forças de corte.

Na usinagem, para permitir que se realizem mais passes, com menor avanço, utilizando preferencialmente ferramentas de menor diâmetro, sem que se aumente demasiadamente o tempo de usinagem dos moldes, se tem buscado novas tecnologias. Uma das que se adapta de forma adequada para a este caso é a usinagem em alta velocidade.

As estratégias a serem utilizadas no desbaste ou no acabamento são definidas principalmente objetivando um menor tempo de usinagem, um melhor acabamento e também a redução de fatores desfavoráveis como vibração induzida, grande variação de espessura de corte, etc..

- os recursos hoje disponíveis nos comandos das modernas máquinas CNC estão evoluindo muito rapidamente, ao que tudo indica, em direção a uma total integração da manufatura. Pelo que foi estudado pode-se observar uma grande preocupação com a concentração de mais tecnologia e conhecimento diretamente nas mãos de quem opera a máquina, ou seja, a tendência é de levar ao operador os recursos de modelamento e programação, antes disponíveis apenas no setor de projeto e planejamento de processo das ferramentarias.

Nos últimos tempos tem-se falado muito em interfaces amigáveis (friendly interface), principalmente no campo da

informática. No que diz respeito aos comandos das máquinas, esta tendência também se torna presente. É ponto pacífico entre os fabricantes consultados que a integração "homem-máquina" deve ser melhorada ao extremo.

Nos modernos comandos ainda se considera como vantagem competitiva a maior facilidade na entrada manual de dados. Novos teclados mais resistentes ao ambiente industrial tem surgido. A utilização de teclas de funções (soft keys), associadas a monitores, facilitam e muito as operações de entrada de dados e edição de programas, bem como a navegação entre as telas disponíveis nos comandos.

São fatores que se pode considerar úteis para a indústria de moldes para plástico, no que diz respeito à inovações nos novos comandos numéricos das máquinas CNC: número de eixos comandados, capacidade de armazenamento de programas, resolução de entrada de dados, capacidade de interpolação, tempo de processamento de blocos, leitura adiante, gerenciamento de ferramentas, fabricação e programação em paralelo, usinagem com ciclos fixos, simulação gráfica, reserva e área da peça bruta, determinação do tempo de usinagem, controle adaptativo e entrada de programa.

- assim como os CNC's tem tido grande desenvolvimento, também os sistemas CAD/CAM tem se desenvolvido muito. Os

recursos agora disponíveis permitem um modelamento mais fácil, bem como melhores condições para se realizar as programações de usinagem, sendo mais flexíveis e possuindo recursos de otimização mais bem estruturados. Cabe aqui também levantar que o aparecimento de bibliotecas de componentes totalmente parametrizadas (utilizadas no modelamento em sólido), tendem a diminuir em muito o tempo de projeto de moldes para a indústria plástica.

As tecnologias CAD/CAM vieram auxiliar de uma maneira espetacular as empresas que precisam desenvolver e produzir componentes ou produtos em um pequeno intervalo de tempo.

É um passo enorme o que tem de ser dado quando uma empresa decide implantar um sistema CAD/CAM. Não consiste em apenas adquirir os equipamentos e programas, treinar pessoal e partir para a utilização das novas tecnologias. É preciso que se mude a maneira de pensar e de agir de toda a empresa para que, com estas novas tecnologias, se consiga um ganho de qualidade e produtividade.

Um fator que tem pressionado e muito as ferramentarias, para a aquisição de sistemas CAx, é a necessidade de acompanhar o desenvolvimento tecnológicos das grandes empresas, principalmente no campo automobilístico, que, desde há alguns anos, vem implantando estas novas tecnologias.

A utilização de sistemas CAD/CAM, para a usinagem de cavidades, com a tendência atual da utilização cada vez maior de "free-form surfaces", seja ela diretamente no comando da máquina, ou em um complexo de diversas estações de trabalho, vai implicar em muito trabalho, treinamento e empenho do pessoal que vai utilizar o sistema.

No que diz respeito à usinagem de cavidades, as partes mais importantes do processo são o modelamento da peça e o planejamento do processo de usinagem. O modelamento será uma função dos recursos disponíveis e da capacidade de representação do software, bem como do conhecimento do operador na utilização deste software. O planejamento do processo, além de depender do conhecimento do operador sobre o software, irá depender fortemente do conhecimento de características ou parâmetros de usinagem de quem está programando a peça. Para se usinar uma cavidade podem-se adotar diversas estratégias, utilizando uma ampla faixa de parâmetros de corte, bem como escolha de ferramentas de formas ou dimensões distintas.

A utilização dos sistemas DNC, além de possibilitarem o envio adequado de grandes programas ao comando das máquinas, permite um controle eficiente do sistema de manufatura, determinando o grau de utilização, bem como permitindo programações futuras com maior precisão

- as filosofias que tem surgido, principalmente a partir da década de oitenta, tem permitido uma melhor estruturação das informações e do gerenciamento tanto das empresas em si, como do mercado que as envolve. A aplicação da Tecnologia de Grupo, voltada a um aspecto mais "macro", envolvendo as empresas em função de sua capacidade produtiva, é uma maneira de buscar a especialização e o domínio de uma faixa de mercado específica. A sua utilização depende da difusão, adaptação e implantação de tais idéias no mercado, para que assim, se tenha uma avaliação real de sua validade.

Produzir moldes de tamanhos muito diferentes e com graus de complexidade com grande distinção implica em possuir diversas máquinas capazes de suportar diferentes tipos de carga, com diferentes capacidades, possuir sistemas CAD/CAM/CNC que se adaptem a mudanças tão bruscas de complexidade, bem como possuir pessoal especializado nas diversas soluções que são possíveis para a construção de moldes.

A tecnologia de grupo é geralmente considerada como uma filosofia ou conceito que identifica e explora as similaridades de peças ou processos no projeto e na fabricação, fazendo com que cada célula de produção seja projetada e gerida para a produção de uma família de peças.

Ao separar as ferramentarias em campos, em função das peças que produzem, pode-se utilizar a tecnologia de grupo, reunindo as peças que possuem similaridades de forma, dimensão etc..

A classificação das pequenas ferramentarias deve ser feita em função do tipo de peças que é produzida, utilizando a mesma metodologia adotada pela transformadora para qual produz os moldes.

A melhor maneira para se realizar a programação da cavidade, no caso das pequenas empresas, vai-se dar em função das máquinas de comando numérico que estas vierem a possuir. Caso se deseje adquirir ou substituir uma máquina ou comando, para as pequenas empresas a melhor solução é a aquisição de uma máquina que permita a programação de peças diretamente no comando.

As médias ferramentarias, que normalmente já possuem um sistema CAD/CAM, ou máquinas com comandos que possuam este recurso, a melhor maneira de classificação é a referente ao tipo de moldes que pode executar, em função dos detalhes construtivos e da tecnologia envolvida em cada tipo diferente de molde.

Para as grandes ferramentarias, principalmente as que prestam serviços para a indústria automotiva, a classificação

mais adequada se dará em função dos sistemas CAD/CAM empregados por ela ou pelos solicitantes do serviço.

O bom senso deve levar as pessoas envolvidas a encontrar a melhor solução a ser adotada, e adaptar esta solução da melhor maneira possível para que a empresa se coloque em uma certa fatia do mercado.

- a realização de um estudo de caso envolvendo diversos recursos, como softwares, computadores, estações, sistemas DNC, máquinas de comando numérico, além é claro de pessoal apto a utilizá-los, está sempre sujeita a problemas. A idéia inicial que se tinha, de uma pesquisa com aplicação prática, era a de comparar a resolução de um problema de programação da usinagem, de uma dada peça, utilizando somente o comando da máquina, com a programação desta mesma peça empregando os sistemas CAD/CAM disponíveis (fora da máquina). Em função de problemas de disponibilidade de máquina e de alguns recursos que seriam necessários, teve-se que adotar outra estratégia, mas os resultados encontrados com os recursos disponíveis, mostram que este estudo teve validade, e muito se pode aprender.

- a integração de sistemas já é uma realidade, como foi provado pela circulação de um mesmo modelo entre três sistemas distintos, o que permite que mais empresas ou pessoas possam ter

um acesso mais fácil à informação necessária à continuidade de seu trabalho.

Como sugestão para novos trabalhos a serem desenvolvidos pode-se indicar:

- aprimoramento do sistema CAMSTATION, a fim de se ter um sistema voltado diretamente à programação da usinagem por fresamento de cavidades de moldes, implementando principalmente mais recursos para o controle da geração das trajetórias.

- desenvolvimento de pesquisa na usinagem de cavidades com a utilização de ferramentas de ponta de bola, buscando um equacionamento matemático (ou experimental), para o valor da altura de crista em função do espaçamento lateral e do diâmetro da ferramenta, em planos inclinados ou superfícies de forma livre, bem como testar tecnologias existentes para a usinagem em alta velocidade.

- buscar maneiras de otimizar a integração entre sistemas distintos. Pesquisando mais a fundo a utilização da engenharia simultânea, o compartilhamento de arquivos, assim como a ligação das pessoas envolvidas no processo, utilizando as redes de computadores para a comunicação.

Uma melhor escolha e implantação dos sistemas de programação para o fresamento de cavidades de moldes, adaptada à necessidade de cada empresa, tende a levar a indústria nacional de moldes ao mesmo patamar tecnológico em que se encontram seus concorrentes externos, permitindo assim uma concorrência mais equilibrada.

Vale lembrar que tanto o estudo de caso quanto o teste da integração dos sistemas disponíveis, foram realizados apesar de problemas com os recursos disponíveis.

## 8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

- AHRENS, Carlos H. **Características desejáveis para a implantação e o emprego de sistemas CAE/CAD/CAM no setor de moldes de injeção de plásticos.** Florianópolis, 1994. Tese (Doutoramento em Engenharia Mecânica) - Área de Fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.
- BEARD, Tom. CNC's in the fast lane. **Modern Machine Shop**, USA, p. 53-62, Jul. 1989.
- CINCINNATI, Vertical CNC machining centres, 1995. **Catálogo de Produtos.**
- CORREIA, Wagner Souza. **Análise da viabilidade do emprego de sistemas CAD/CAM na fabricação de cavidades para moldes de injeção em plataforma PC com estudo de casos.** Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.
- DERFLER JR, Frank; FREED, Les. **Como funcionam as redes.** USA, Editora Quark, 2ed. 1993.
- DIADUR, Catálogo geral, 1992. **Catálogo de Produtos.**
- DISSLIN, Rich; O'CONNOR, Fran. Meeting future challenges. **Modern Machine Shop**, USA, p. 92-98, julho, 1990.
- EXAME INFORMÁTICA. **Novas armas para engenharia.** São Paulo: Ed. Abril, Ano 10, num. 108, p.54-58, março, 1995.
- FAGOR, Automation, 1996. **Catálogo de Produtos.**
- FIDIA, CNC, M30, F1/CNC, CNC/10/20/30, HI-MILL, 1995. **Catálogo de Produtos.**

GALLIST, Rudolf. High-speed machining: where it's headed. **Modern Machine Shop**, USA, p. 66-78, Outubro, 1989.

GETTELMAN, Ken M. Copy milling inserting itself. **Modern Machine Shop**, USA, p. 76-83, Outubro, 1991.

HARRINGTON, Joseph Jr. NC what's all about? **Management Guide to NC**, USA, p. 1-7, Numerical Control Society. 1971.

HEIDENHAIN, TNC contouring control, janeiro 1996. **Catálogo de Produtos**.

JACOBS, Paul F. **Rapid prototyping & manufacturing - fundamentals of stereolithograph**, Society of manufacturing Engineers, 1992.

KIEF, Hans B.; WATERS, Frederick. **Computer Numerical Control, a CNC reference guide**, Singapura, McGraw Hill, 1992.

KOIKE, Tetsu. **Integração do projeto e da fabricação de moldes para injeção de plásticos com auxílio de tecnologias CAD/CAE/CAM**. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.

KÖNIG, Wilfried. **Fertigungsverfahren - Studium und praxis, band 3.**, Düsseldorf, Germany: VDI-Verlog, 1990, 221. (Tecnologia de Fabricação, vol.1 - Tornear, Fresar e Furar) Tradução de: WEINGAERTNER, Walter L. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 1981.

LÓPEZ, José Ramón Alique. **Control Numérico**. Espanha. Marcombo: 1981.

- LORINI, Arlete. O avanço do Plástico. **Amanhã**, Porto Alegre: p. 21-26, set. 1995.
- LORINI, Flávio José. **Tecnologia de grupo e organização da manufatura**, Florianópolis, Ed. da UFSC, 1993.
- MACHADO, Aryoldo. **Comando numérico aplicado às máquinas-ferramenta**. 3ª Ed. São Paulo: Ícone, 1989.
- MAZAK, Super machine tools, CNC system Mazatrol M Plus, CNC system Mazatrol T Plus, sine data. **Catálogo de Produtos**.
- MENDES, Victor H. É bom que o CNC seja rápido. Mas como se mede esta rapidez? **Máquinas e Metais**. São Paulo: Aranda Ed., p. 16-17, julho 1991.
- MENGES, Georg; MOHREN, Paul. **How to make injection molds**. 2. Ed. Munich, Germany: Carl Hanser Verlag, 1993.
- MITCHELL, William A. When and where to think high-speed milling. **Modern Machine Shop**, USA, p. 55-63, outubro, 1991.
- O'HALLORAN, Joe. Mechanical design is the mainstay of the CAD industry. **CADCAM**, USA, p. 76-81, março, 1993.
- RAAB, Simon. Coordinate measurements accelerate reverse engineering. **Machine Design**, USA, p. 50-53, Novembro, 1994.
- RIBEIRO JR, Augusto. **Utilização do método AHP como auxílio para seleção de sistemas CAx: testes de benchmark**. Florianópolis, 1995. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.

ROSA, Edson da; FORCELINI, Fernando; OGLIARI, André; BACK, Nelson. Novos enfoques para a concepção de produtos com o uso de sistemas CAE/CAD/CAM. **Máquinas e Metais**, São Paulo: Aranda Ed. p.22-25, março, 1990.

SIEMENS, Facts and figures, CNC report, Sinumerik 840C, Sinumerik/Simodrive - Automation systems for machine tools, 1995, **Catálogo de Produtos**.

SPAULDING, Dave. From start to finish with CAD/CAM. **Modern Machine Shop**, p.82-88, julho de 1990.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscas, fresas, brochas, rebolos e abrasivos**. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1992.

TRAUB, Traub-ips nuevo procedimiento de programación aplicable en el taller. 1987. **Catálogo de Produtos**.

VOLPATO, Neri. **Recursos CAD/CAM voltados ao modelamento e à usinagem de cavidades para moldes, com estudo de casos de aplicação**. Florianópolis, 1993. Dissertação (Mestrado em Eng. Mecânica) - Área de fabricação, Universidade Federal de Santa Catarina.

WANG, H.P. & LI, J.K. **Computer-Aided Process Planning, Advances in Industrial Engineering**, Vol. 13, Elsevier, 1991.

WATKINS, Carl. A automação no chão-de-fábrica torna o crescimento possível e traz vantagens. **Máquinas e Metais**, São Paulo: Aranda Ed. p.48-53, junho 1995.