

UM MODELO DE DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS CAPP PARA A INDÚSTRIA METAL-MECÂNICA

Ferreira, Joao C. E. - Rezende, Dárcio de F. - Pacheco, Fernando S.
Universidade Federal de Santa Catarina
Departamento de Engenharia Mecânica
GRUCON, Caixa Postal 476, 88040-900, Florianópolis, SC, Brasil
Tel: +(5548) 231-9387, Fax: +(5548) 234-1519, E-mail: jcf@grucon.ufsc.br

RESUMO

No presente trabalho é proposto um modelo de desenvolvimento de sistemas de planejamento de processos assistido por computador (sistemas CAPP), cujas características são: (a) ele é generativo, isto é, o plano de processo é gerado a partir de regras armazenadas numa base de conhecimento; (b) as regras são cadastradas a partir de informações obtidas de processistas, e de métodos de fabricação da indústria; (c) a peça é modelada num sistema CAD baseado em "features", e esta representação é lida pelo sistema CAPP; (d) o sistema CAPP lê as informações sobre máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação diretamente de um banco de dados; (e) as operações são utilizadas como base para as decisões referentes ao planejamento de processos. Ao final do artigo é apresentada uma aplicação deste modelo no desenvolvimento de um sistema CAPP aplicado a uma indústria.

INTRODUÇÃO

O planejamento de processos é a atividade responsável pelas decisões sobre os processos a serem executados na matéria-prima visando obter a peça acabada segundo as especificações de projeto. Portanto, ela é uma atividade de grande importância na indústria, e ela é feita por profissionais experientes, chamados processistas. Entretanto, uma grande parte dos produtos produzidos por empresas correspondem a tamanhos de lote com menos de 50 unidades, e também a variedade de peças em tais empresas é bem elevada. Para tais indústrias, o planejamento de processos é efetuado freqüentemente, e sem dúvida para isso deve haver o auxílio do computador, para acelerar o planejamento e para reduzir ou eliminar erros nessa atividade. Tendo em vista o problema acima, propõe-se no presente trabalho apresentar um modelo de desenvolvimento de sistema CAPP para a sua implementação na indústria. Ao final do artigo é apresentada uma aplicação deste modelo no desenvolvimento de um sistema CAPP indústria.

MODELO PROPOSTO PARA O CAPP

Neste trabalho apresenta-se um modelo para o desenvolvimento de sistemas CAPP. Ao final do artigo faz-se uma aplicação do modelo a um caso específico, onde os detalhes do *software* desenvolvido são apresentados.

Características do Modelo

Vários são os critérios que podem ser utilizados para caracterizar um sistema CAPP. A seguir mostra-se

como cada critério foi adotado para o presente trabalho.

- Abordagem do sistema: um sistema CAPP pode ser variante ou generativo. O modelo de sistema proposto consiste de um sistema CAPP generativo.
- Sistema estático ou dinâmico: os planos de processo podem ser gerados com uma certa antecedência (estáticos) ou em tempo real (dinâmicos). O modelo de sistema proposto prevê a geração de planos de processo estáticos.
- Domínio de peças: o sistema proposto se aplica a peças rotacionais que sejam executadas em células de manufatura com estratégia de usinagem bem definida.
- Funções executadas: o modelo prevê a execução das seguintes tarefas: análise do desenho da peça; seleção de superfícies de referência para a fabricação; seleção de métodos de usinagem; divisão da rota de processo em etapas; seleção de máquinas; seleção de ferramentas; seleção de dispositivos de fixação.
- Modelo de informações: para que o sistema possa identificar as características de cada peça, é necessário que se defina uma forma eficiente de armazenamento de informações tanto geométricas quanto tecnológicas e do seu envio do CAD para o CAPP. Utiliza-se para isso a tecnologia de features, uma vez que ela é adequada para esse propósito. No presente trabalho define-se features como um conjunto de informações referentes à forma, assim como outros atributos de uma peça [Salomons et al. 1993]. A cada etapa do ciclo produtivo podem estar associados diferentes conjuntos de informações.

Sendo assim, faz-se a distinção entre features de projeto e de manufatura (ver figura 1).

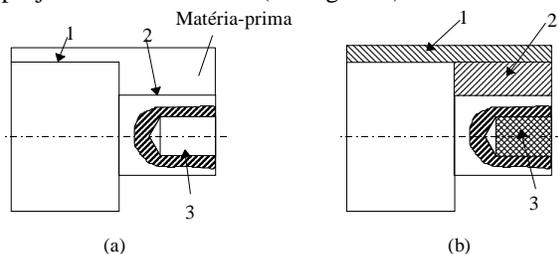


Figura 1. Features de (a) projeto e (b) de fabricação

Comunicação CAD/CAPP

Com o objetivo de efetuar-se a criação do desenho de projeto da peça, utiliza-se um módulo CAD baseado em features, onde as peças são construídas a partir de uma biblioteca paramétrica de features predefinidas. Uma descrição detalhada do módulo CAD pode ser encontrada em Ferreira et al. (1998).

O plano de processos para a fabricação de uma determinada peça é feito com base no desenho de fabricação, o qual é obtido a partir do desenho de projeto. A transformação do desenho de projeto em desenho de fabricação é denominada “mapeamento de features”. É oportuno ressaltar que o mapeamento de features é função da célula de fabricação escolhida, sendo portanto uma parte móvel do sistema.

Técnica de Programação

A tarefa de planejamento de processos tem uma característica bastante peculiar: não existe um algoritmo predefinido para a geração de planos de processo. Assim, faz-se necessária uma metodologia de programação que permita a utilização de heurísticas que representem a forma de pensar do processista.

A tecnologia de sistemas especialistas, na qual uma das formas de representação do conhecimento consiste do uso de regras do tipo IF THEN, é bastante conveniente para problemas que não tenham solução algorítmica, que é o caso do planejamento de processos. Nessa tecnologia, a seqüência de execução não é previamente conhecida e o fluxo de controle é dado pelo disparo das regras que têm suas premissas satisfeitas. Portanto, esta técnica de programação foi adotada neste sistema.

A Estrutura do Sistema

A Operação de Usinagem como a Base para o Planejamento de Processos

No presente sistema, a quase totalidade das etapas de planejamento de processos é feita com base nas operações que são atribuídas às features (mais de uma operação pode ser atribuída à mesma feature).

A seguir descreve-se os atributos associados a cada operação:

- **Nome:** indica o tipo de operação (cilindramento, faceamento, sangramento, etc). É utilizado para a seleção de máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação.

- **Índice:** número inteiro que indica a seqüência de operações. Cada operação é criada com um índice aleatório. Durante o seqüenciamento, as operações têm seus índices remanejados de forma que operações com índices menores sejam executadas no início.

- **Ferramentas:** contém os nomes das ferramentas que poderão ser utilizadas para a execução da operação. Com base no conjunto ferramentas de cada operação é que se escolhe a ferramenta que será realmente utilizada em cada operação.

- **Dispositivos de Fixação:** contém os nomes dos dispositivos de fixação que poderão ser utilizados para a execução da operação. A seleção de um dispositivo específico é feita a partir das regras de seleção de dispositivos de fixação.

- **Tipo da Máquina:** é utilizado para especificar qual o tipo de máquina mais conveniente para a execução da operação. É uma característica utilizada para selecionar a máquina específica.

- **Máquinas:** contém os nomes das máquinas que poderão ser utilizadas para a execução da operação. A seleção de uma máquina específica é feita a partir das regras de seleção de máquinas.

- **Posição:** classifica as operações quanto à posição da ferramenta em relação à peça trabalhada. Pode assumir os seguintes valores: externa, interna ou fora de centro.

- **Direção de corte:** classifica as operações quanto à direção do avanço da ferramenta ao cortar a peça. Pode assumir os valores: longitudinal, transversal ou perfil.

- **Lado de corte:** indica o posicionamento da aresta cortante da ferramenta a ser utilizada em relação à peça. Pode assumir os valores: esquerda, direita, ou central.

- **Feature:** contém o nome da *feature* à qual a operação está associada.

- **Qualidade :** indica a qualidade superficial que deverá ser atingida pela operação. Pode ser desbaste, semi-acabamento ou acabamento;

- **Diâmetro, Comprimento, Largura e Profundidade:** são possíveis dimensões de uma operação.

As operações foram divididas em detalhadas e gerais. As detalhadas são aquelas executadas sobre as features que compõem a peça (p.ex. cilindrar eixo), enquanto as gerais são aquelas executadas à matéria-prima como um todo (p.ex. endireitar na prensa hidráulica). O enfoque do trabalho é dado às operações detalhadas, que de agora em diante serão tratadas simplesmente por operações.

A Estratégia de Usinagem como a Chave para a Base de Conhecimento

Propõe-se que a definição das regras que compõem a base de conhecimento seja feita a partir da estratégia de usinagem a ser utilizada. Desta forma, o engenheiro de conhecimento, que é o profissional encarregado de construir a base de conhecimento, busca extrair do processista a estratégia utilizada e não o conjunto de regras.

As regras serão posteriormente definidas de tal forma que a estratégia de usinagem seja respeitada, garantindo assim a consistência da base de conhecimento.

A Personalização como Meio de Adaptação à Realidade Industrial

O funcionamento do sistema divide-se em duas fases: (a) a definição da peça; e (b) geração do plano de processos. Para definir a peça, utiliza-se a biblioteca de features de projeto existente, e tal biblioteca pode ser suficientemente genérica segundo o desejo do usuário, isto é, ela não precisa estar confinada, por exemplo, a uma célula de manufatura específica. Desta forma, pode-se criar uma única biblioteca de features de projeto que atenda a todas as famílias de peças com que se pretende trabalhar, e portanto esta é considerada uma parte fixa do sistema.

Quanto à geração do plano de processos para a peça, as decisões dependem de condições específicas do sistema de manufatura considerado, como: máquinas e ferramentas existentes, estratégia de usinagem utilizada, etc. Desta forma, o sistema CAPP possui uma parte móvel, que deve ser adaptada a cada sistema de manufatura em que é utilizado. As partes constituintes do sistema CAPP são mostradas na figura 2.

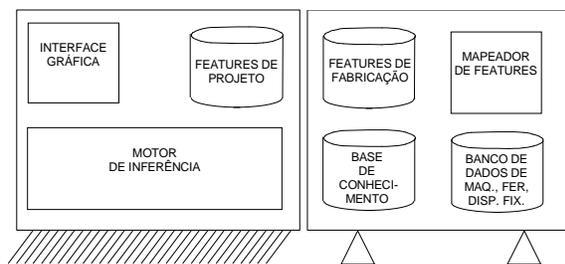


Figura 2. Arquitetura do sistema CAPP mostrando partes fixas e móveis que o constituem

Como mostrado na figura 2, o sistema CAPP apresenta as seguintes partes fixas (que não precisarão ser alteradas de um sistema de manufatura para outro): interface gráfica; biblioteca de features de projeto; motor de inferência. As partes móveis apresentam dependência direta com as

características da célula em que o sistema será implementado. As partes que deverão ser ajustadas para cada sistema de manufatura em que o sistema seja utilizado são: biblioteca de features de fabricação; mapeador de features de projeto em features de fabricação; base de conhecimento, a qual reflete a estratégia de usinagem; bancos de dados de máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação.

Admitindo-se que tal modelo seja implementado numa célula de fabricação que produz peças de características rotacionais, considera-se que a implementação do sistema CAPP numa outra célula destinada à fabricação de peças rotacionais será simplesmente uma questão de adaptação de alguns módulos, pois a estrutura geral será mantida. Assim, o tempo envolvido na adaptação do sistema será bem menor que aquele requerido para o seu desenvolvimento completo.

APLICAÇÃO DO MODELO PROPOSTO A UM CASO ESPECÍFICO

Com o objetivo de demonstrar a viabilidade do modelo proposto, apresenta-se a seguir a sua aplicação a um caso específico. Dados de uma célula de manufatura de uma empresa do setor metal-mecânico, fabricante de colheitadeiras, plantadeiras e tratores, foram utilizados como base para o desenvolvimento dessa aplicação. Apresenta-se a seguir as características da célula de manufatura para a qual o sistema foi adaptado. Também são apresentados detalhes das partes móveis do sistema que foram adequadas às particularidades da referida célula.

A Família de Peças

O sistema se aplica a peças rotacionais, que podem ser obtidas por operações de torneamento e furação. Uma particularidade apresentada pela família de peças desta célula é que todas as peças apresentam escalonamento somente em um sentido.

Algumas classes representando as features de projeto utilizada para modelar as peças desta célula são mostradas na figura 3.

A Célula de Manufatura

Uma definição detalhada dos meios de produção presentes em cada célula de fabricação é de suma importância.

Dentre os recursos que devem ser considerados, os mais importantes são: máquinas, ferramentas e dispositivos de fixação disponíveis. A célula para a qual o sistema foi adaptado apresenta as seguintes características:

- **máquinas:** As máquinas que compõem a célula consideradas são as seguintes: 1 serra automática; 1 prensa hidráulica; 1 torno universal; 3 tornos CNC

com alimentadores de barras; 2 furadeiras de bancada; 1 furadeira de coluna.

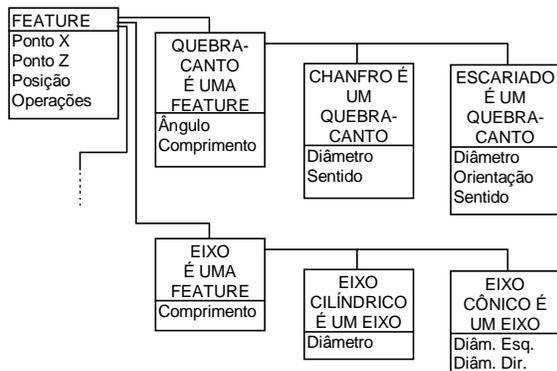


Figura 3. Algumas das features presentes no sistema e seus atributos

- **ferramentas de corte:** para a execução das peças da célula, foram selecionadas ferramentas de metal duro revestido para operações de torneamento, e ferramentas de aço rápido para operações de furação e rosqueamento [Sandvik 1993; Stemmer 1995]
- **dispositivos de fixação:** estes consistem de pinças de fixação de barras e dispositivos específicos de furação.

Estratégias de Usinagem

A célula para a qual o sistema foi adaptado se presta à fabricação de peças de pouca precisão que apresentam escalonamento em um único sentido. A estratégia utilizada para a geração de planos de processo para as peças desta célula se baseia nos seguintes pontos:

- os equipamentos são capazes de garantir a precisão requerida para as peças. Assim as tolerâncias das peças não são levadas em consideração para a escolha das máquinas;
- devido à utilização de alimentadores de barras nos tornos, as operações de torneamento são feitas numa única fixação;
- todas as operações de torneamento são feitas da direita para a esquerda;
- as operações de furação devem, na medida do possível, ser feitas no torno;
- todas as operações de torneamento são feitas antes de qualquer operação que seja feita numa furadeira;
- todas as operações de roscar externo são feitas no torno;
- todas as operações de roscar interno são feitas numa furadeira, com a utilização de um cabeçote de rosqueamento;
- as peças devem sofrer um passe final de acabamento para garantir que não haja rebarbas;
- todas as barras e tubos devem ser cortados em pedaços de 2 metros;

- todas as barras devem ser endireitadas;
- todas as barras e tubos devem ter suas pontas chanfradas com ângulo de 30° a fim de que possam ser facilmente colocadas no alimentador de barras.

As Operações Executadas na Célula

A seguir apresentam-se os conjuntos de operações gerais e detalhadas que são executadas na célula:

(a) Operações Gerais:

Serrar: operação executada numa serra automática onde o material (barra ou tubo) é cortado em pedaços menores (2 metros cada).

Endireitar: operação executada numa prensa hidráulica onde as imperfeições de alinhamento da barra são minimizadas.

Chanfrar: operação executada num torno universal onde o material (barra ou tubo) tem sua ponta chanfrada com um ângulo de 30° a fim de que possa ser introduzido no alimentador de barras.

(b) Operações Detalhadas:

Cilindrar, Facear, Sangrar, Cortar, Roscar Externo, Roscar Interno, Perfilar, Furar, Escarear, Chanfrar Esquerda.

Base de Conhecimento

O sistema CAPP desenvolvido com base na célula de manufatura da empresa tem a sua base de conhecimento dividida em módulos, os quais são ilustrados na figura 4.

Os módulos representados em retângulos são chamados de “módulos de decisão”, enquanto aqueles que estão em cilindros são chamados de “módulos de informação”. Os módulos de decisão contêm todas as regras e funções necessárias para a tomada de decisões quanto ao módulo específico (p.ex. seleção de ferramentas), enquanto os módulos de informação contêm as declarações das classes e instâncias das classes.

A cada etapa de funcionamento do sistema associa-se um conjunto de regras diferente. A seguir apresenta-se uma descrição das tarefas relacionadas a cada etapa, assim como o funcionamento de cada módulo associado.

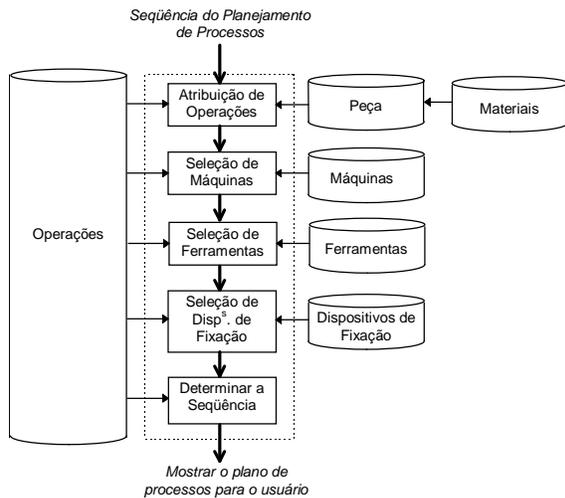


Figura 4. Comunicação dos módulos do sistema especialista

Atribuição de operações de usinagem a cada feature: a operação de usinagem é a base para a geração do plano de processos de uma peça. Nessa etapa, atribui-se a cada *feature* um conjunto de operações que possibilitam a sua fabricação. A seguir apresentam-se algumas regras presentes neste módulo.

Atribuição de uma operação de desbaste a um eixo cilíndrico com diâmetro inferior ao do material:

Se

na peça existe uma feature eixo cilíndrico e esse eixo cilíndrico tem diâmetro < diâmetro da matéria-prima da peça

Então

criar uma operação com as seguintes características:

Nome = "Cilindrar";

Qualidade = "Desbaste";

Feature = Nome da instância da classe eixo cilíndrico;

Posicao = "Externo";

Direcao = "Longitudinal";

LadoCorte = "Esquerdo;

count = count + 1; índice = count.

associar essa operação à feature em questão.

Seleção da máquina utilizada para cada operação: nessa etapa, deve-se definir a máquina que será utilizada para a execução de cada operação em cada *feature*. A seleção da máquina é definida em duas etapas, quais sejam: Tipo da máquina; Máquina específica.

A seguir apresentam-se uma regra criada para a definição da máquina a utilizar numa dada operação.

Definição de que o tipo de máquina a utilizar, para uma operação que tem posição externa, é um torno:

Se

existe uma operação que tem Posição = Externo

Então

associar ao atributo TipoMáquina dessa operação o valor "Torno"

Seleção da ferramenta utilizada para cada operação: o banco de dados de ferramentas foi projetado de forma a agrupar as ferramentas que podem ser utilizadas para um dado tipo de operação em uma única classe. Assim, por exemplo, as ferramentas que se prestam à execução de operações de cilindrimento são agrupadas em uma classe de ferramentas de cilindrar.

Uma vez que tenham sido atribuídas operações às features, a escolha das ferramentas que podem ser utilizadas para a execução de cada operação é feita numa classe específica para aquele tipo de operação, com base em atributos presentes na operação e na ferramenta. Caso nenhuma das ferramentas presentes no banco de dados seja adequada à execução da operação, o sistema cria automaticamente uma ferramenta com as características desejadas e atribui à ferramenta criada a especificação *inexistente*. Assim, consegue-se identificar ferramentas que devem ser adquiridas.

Após a definição das ferramentas que podem ser utilizadas, deve-se selecionar aquelas que serão efetivamente utilizadas. Para isso, foi desenvolvido um algoritmo procedural, o qual busca reduzir o número de trocas de ferramentas. Caso duas ou mais ferramentas resultem no mesmo número de trocas, aplicam-se critérios de desempate, dentre os quais incluem-se a maior quantidade de material removido pela ferramenta, e também aquela que resulta numa maior rigidez na usinagem. Detalhes deste algoritmo são encontrados em [Rezende 1996].

Seleção do dispositivo de fixação utilizado para cada operação: as operações para as quais serão escolhidos dispositivos de fixação são aquelas feitas num torno ou numa furadeira. As operações feitas num torno terão sempre como dispositivo de fixação a pinça utilizada para fixar a matéria-prima (barra ou tubo), enquanto que as operações feitas numa furadeira terão dispositivos específicos para cada peça.

A seguir apresenta-se uma regra presente neste módulo.

Seleção do dispositivo de fixação a utilizar, para uma operação de escarear que tem tipo de máquina furadeira, quando a *feature* associada tem orientação radial.

Se
 existe uma operação com Nome = “Escarear”; e
 essa operação tem TipoMaquina= “Furadeira”; e
 a *feature* associada à operação tem Orientação = “Radial”.
Então
 associar ao atributo DispFixação desta operação o valor “DC_S_04842” (código de um dispositivo de fixação utilizado)

Definição da seqüência de operações: Como mencionado anteriormente, quando uma operação é criada, um número inteiro, chamado “índice de seqüência”, é atribuído a ela. O seqüenciamento das operações é feito através de regras que alteram os índices de cada operação, de forma a garantir que se uma operação “A” deve ser executada antes de uma operação “B” então o índice de “A” deve ser menor que o índice de “B”. O processo de seqüenciamento termina quando mais nenhuma regra for satisfeita. Como um exemplo, considere as seguintes operações atribuídas à mesma *feature*:

Op1 (desbaste) com índice Ind1; Op2 (acabamento) com índice Und2; Ind1 > Ind2. Esses índices devem ser trocados, e tem-se a seguinte regra para isso:

Se
 existe uma operação Op1 que está associada à *feature* Ftr1 e
 Op1 tem Qualidade = “Desbaste” e
 Op1 tem Índice = Ind1 e
 existe uma operação Op2 que está associada à mesma *feature* Ftr1 e
 Op2 tem Qualidade = “Acabamento” e
 Op2 tem Índice = Ind2 e
 Ind1 > Ind2.
Então
 associar ao atributo Índice de Op1 o valor Ind2 e
 associar ao atributo Índice de Op2 o valor Ind1.

A seguir são ilustrados os atributos de duas operações que são comparadas de forma a decidir se seus índices devem ser trocados.

Aplicação do Sistema CAPP a uma Peça

Com o objetivo de mostrar o funcionamento do sistema num caso prático, apresenta-se a geração do plano de processos de fabricação para uma das peças que é feita na célula para a qual o sistema foi adaptado (figura 5). O plano de processo gerado para essa peça, após a tomada de decisões de cada um dos módulos do sistema especialista, é ilustrado

na tabela 1. O sistema levou aproximadamente 30 segundos para chegar a esse plano de processo, e a empresa considerou bom o plano de processo gerado.

<i>Operação com atributo (antes)</i>	<i>Operação com atributo (depois)</i>
(posição= “externa” e nome ≠ “corte” and ≠ chanframento à esquerda”)	(posição = “interna” ou “fora de centro”)
(<i>feature</i> =f1 e qualidade = “desbaste”)	(<i>feature</i> =f1 e qualidade = “acabamento”)
(posição = “externa” e qualidade=q1 e pontoZ=Z1)	(posição = “externa” e qualidade=q1 e pontoZ-Z1 < 0.0)
(tipo de máquina = “torno” e nome = n1)	(tipo de máquina = “torno” e nome = “corte”)

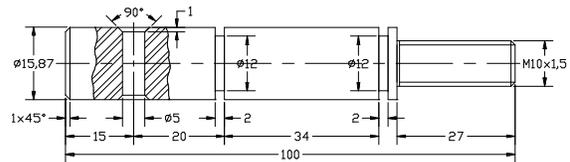


Figura 5. Desenho de projeto da peça exemplo.

CONCLUSÕES E FUTUROS TRABALHOS

Devido à amplitude de domínio dos sistemas CAPP desenvolvidos até o momento, a sua adaptação às particularidades de cada empresa se torna complicada e por isso a quantidade de sistemas CAPP utilizados de forma comercial é ainda bastante reduzida.

Diante deste quadro, este trabalho se propôs a apresentar um modelo de desenvolvimento de sistemas CAPP no qual a adaptação do sistema à realidade de cada empresa pudesse ser facilmente realizada. O modelo utilizado para a construção do software se baseia nos seguintes pontos: Modelo de informações baseado em *features*; Técnica de programação por sistemas especialistas; A operação de usinagem como base para o planejamento de processos; A estratégia de usinagem como chave para a base de conhecimento.

A personalização como forma de adaptação à realidade industrial: A célula para a qual o sistema foi adaptado é ligeiramente diferente da célula presente na empresa. Em visita recente àquela empresa, foram observadas algumas mudanças naquela célula, e portanto pequenos ajustes

Tabela 1. Plano de processo gerado para a peça exemplo.

PLANO DE PROCESSO PARA A PEÇA EXEMPLO				
GRIMA/GRUCON/EMC/UFSC		No. DO PRODUTO:DQ-05495		PAGINA: 1
		No DA PEÇA:CQ-18403		DE
		DESCRIÇÃO:EIXO		TOTAL:1
MATERIAL: ABNT 1045 TREF. h11 D15.87			PEÇAS POR METRO:9	QUANTIDADE:100
No.OP	OPERAÇÃO	MÁQUINA	FERRAMENTA	FIXAÇÃO
10	SERRAR	S. A.	-----	-----
20	ENDIREITAR	P. H.	-----	-----
30	CHANFRAR	T.U.	TNMG-22-04-08-GC415 PTTNL-2525M22	-----
40	FACEAR DESBASTE	TNS	CNMG-12-04-08-QM-GC415 PCLNL-2020K12	PINCA_15.5
50	CILINDRAR DESBASTE	TNS	CNMG-12-04-08-QM-GC415 PCLNL-2020K12	PINCA_15.5
60	FACEAR ACABAMENTO	TNS	CNMG-12-04-08-MF-GC415 PCLNL-2020K12	PINCA_15.5
70	ROSCAR EXTERNO	TNS	R166.0G-16MMO1-150-GC1020 R166.0FGZ-2525-16	PINCA_15.5
80	SANGRAR	TNS	N151.2-200-20-5G-GC235 LF151.22-2020-20	PINCA_15.5
90	SANGRAR	TNS	N151.2-200-20-5G-GC235 LF151.22-2020-20	PINCA_15.5
100	CHANFRAR ESQUERDA	TNS	L151.2-250-08-5F-GC235 LF151.23-2020-25	PINCA_15.5
110	CORTAR	TNS	L151.2-250-08-5F-GC235 LF151.23-2020-25	PINCA_15.5
120	FURAR	FC34	R410.5-0500-30-01-TIN	DISP. ESPEC.
130	ESCAREAR	FB59	ESCAREAR_90	DC-S-04842
140	ESCAREAR	FB59	ESCAREAR_90	DC-S-04842

(manutenção de regras), são necessários para que o sistema seja adaptado à célula. Ajustes semelhantes (alteração de regras por mudança na estratégia de usinagem, atualização dos bancos de dados de ferramentas, máquinas e dispositivos de fixação) serão necessários para que o sistema seja adaptado a outras células. O modelo proposto para o sistema permite que tais alterações sejam facilmente implementadas, já que prevê a existência de uma parte móvel no sistema (figura 2). Assim, a adaptação do sistema à realidade de cada empresa fica garantida através da sua personalização.

A verificação da validade do modelo apresentado neste trabalho foi baseada em uma célula específica de manufatura. Seria muito interessante que fossem levantadas estratégias utilizadas em outros domínios (peças com maior precisão, geometrias mais variadas, etc), no sentido de criar uma biblioteca de bases de conhecimento associadas a estratégias freqüentemente utilizadas. Tal biblioteca poderia ser utilizada no momento da adaptação do sistema a uma nova célula.

Os resultados apresentados por um sistema especialista dependem diretamente da qualidade de sua base de conhecimento. A verificação da consistência das regras que compõem tal base de conhecimento é ponto fundamental na garantia de sua qualidade. Para que não seja necessária a

realização de testes exaustivos, pode-se pensar no desenvolvimento de uma metodologia que permita a verificação automática da consistência das regras.

Os planos de processo gerados neste trabalho são off-line. Para que seja possível gerar planos on-line, a ligação do sistema CAPP com um sistema de planejamento da produção é fundamental. A literatura apresenta trabalhos neste sentido: ZHANG (1993) e CHO et al. (1994), mas uma solução definitiva ainda não foi apresentada.

SOFTWARE E HARDWARE UTILIZADOS

Como recurso de *hardware* utilizado cita-se: IBM PC AT 486 DX2 66, 8MB RAM, 340MB *Winchester*. Como recursos de *software* utilizados citam-se: AutoCAD R12 para DOS; Borland C++ 4.5; CLIPS 6.02 (shell para o desenvolvimento de sistemas especialistas).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CHO H., DEREBAIL, A., HALE, T. (1994). **A Formal Approach to Integrating Computer-Aided Process Planning and Shop Floor Control.** ASME Journal of Engineering for Industry, Vol. 116, 108-116.
- FERREIRA J.C.E., BUTZKE A.U. e FURLAN NETO F. (1998). **Un Sistema CAD para la Representación de una Familia de Piezas**

Rotacionales Industriales. Revista Internacional de Información Tecnológica, Chile, Vol 9, No. 2, mar/abr.

REZENDE D.F. (1996). **Planejamento de Processos de Fabricação Assistido por Computador Através de um Sistema Especialista Baseado na Tecnologia de Features: um Modelo de Desenvolvimento Voltado para a Realidade Industrial.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil, setembro.

SALOMONS O.W.; VAN HOUTEN F.J.A.M.; KALS, H.J.J. (1993). **Review of Research in Feature-Based Design.** Journal of Manufacturing Systems, Vol. 12, No 2, 113-132.

SANDVIK COROMANT (1993). **Herramientas de Tornear: Productos para el Mecanizado del Metal.** Dinamarca, Catálogo de Productos.

STEMMER, C.E. (1995). **Ferramentas de Corte I.** 3a. ed. Editora da UFSC, Florianópolis, Brasil.

GU P., ZHANG Y. (1994). **OOPPS: An Object-Oriented Process Planning System.** Computers Industrial Engineering, Vol. 26, No. 4, 709-731.