

# ASPECTOS RELEVANTES PARA A IMPLEMENTAÇÃO DE UM AMBIENTE COMPUTACIONAL CAD/CAPP/CAM ORIENTADO A PROCESSOS DE FURAÇÃO

**Alexandre Garcia Costa da Silva**

**Alberto José Álvares**

Universidade Brasília, Departamento de Engenharia Mecânica, GRACO - Grupo de Automação e Controle, 70910-900, Brasília, DF, Brasil. E-mail: [garcia@graco.unb.br](mailto:garcia@graco.unb.br)

## **Resumo**

Este trabalho apresenta os aspectos mais interessantes, dificuldades encontradas e soluções adotadas na implementação de um ambiente computacional CAD/CAPP/CAM (Projeto, Planejamento de Processo e Manufatura Auxiliados por Computador respectivamente), orientado aos processos de furação. O ambiente se utiliza da interface gráfica do software AutoCad e de sua linguagem de programação, a Autolisp, e busca também a aplicação do método generativo de planejamento de processo. Neste método, o computador define o sequenciamento de operações, melhor conjunto máquina-ferramenta e parâmetros de usinagem, tentando simular a capacidade decisória humana. São discutidas ainda as vantagens e desvantagens associadas à utilização do AutoCad/Autolisp, os métodos de seleção de parâmetros de usinagem, a forma adotada para o banco de dados de ferramentas e, por fim, as instabilidades inerentes ao algoritmo de ordenamento de entidades.

**Palavras-chave:** CAPP, CIM, Automação

## **1. INTRODUÇÃO**

O progresso tecnológico, experimentado pela humanidade nos últimos anos, tem permitido ao homem superar seus limites dia após dia. A possibilidade de projetar, simular e construir um produto através do computador fez com que cada vez mais pessoas se dedicassem ao cumprimento desta tarefa.

Na abordagem da CIM (*Computer Integrated Manufacturing* ou Manufatura Integrada por Computador) o objetivo é integrar, através dos computadores, todas as áreas de uma empresa, desde a produção até a administração, oferecendo maior coalisão entre seus diversos departamentos. Desta maneira consegue-se otimizar os processos envolvidos já que todas as áreas da empresa têm acesso às informações de produção

Em trabalho recente, Ferreira *et al* (1999) afirma que uma das etapas da produção que requer maior tempo de dedicação é o planejamento de processo. Nele são tomadas decisões como a seleção do melhor conjunto máquina-ferramenta, dispositivos de fixação e sequenciamento de operações. Segundo Normann & Rosa (1989), é nesta etapa também que se decide os parâmetros de usinagem adequados à confecção da peça

Desta maneira, a geração automática do planejamento de processo através do CAPP (Planejamento de Processo Auxiliado por Computador) é desejável, e sua integração com as demais tecnologias da CIM (especialmente com o projeto e a manufatura – CAD/CAM) se torna uma combinação ideal para atingir as metas pretendidas.

## **2. O PLANEJAMENTO DE PROCESSO AUXILIADO POR COMPUTADOR**

De acordo com o que foi dito, o planejamento de processo auxiliado por computador é capaz de resolver ou, ao menos, diminuir o problema do excesso de esforços despendidos durante o processo de produção. Chang (1985) define o planejamento de processo como a tecnologia que estabelece os processos e parâmetros que serão usados na conversão da matéria prima em peça acabada, de acordo com um projeto mecânico.

O CAPP é considerado ainda por Álvares (1997) como a chave de ligação entre o projeto e a manufatura, podendo conferir ao sistema um alto grau de automatização, sem a qual cada tecnologia funcionaria como uma ilha isolada.

Existem três formas tradicionais de implementação de planejamento de processo sendo elas a variante, a generativa e a híbrida.

A forma variante se aproveita da semelhança geométrica ou de processos de fabricação que envolvem uma peça. Seguindo estes critérios, as peças são separadas em famílias (Tecnologia de Grupo – GT) cujo plano de processo padrão será recuperado e adaptado para a criação do sequenciamento de operações de uma peça semelhante.

Já na forma generativa, cada peça é tratada como sendo única não havendo, portanto a necessidade de criação e codificação de famílias. Allen (1989) descreve o CAPP generativo como a rápida criação de planos de processo através de uma série de algoritmos pré-definidos. Zdeblick (1989) adota uma abordagem diferente, definindo-o como um sistema de computação inteligente que capturou as habilidades lógicas e decisórias dos planejadores experientes.

A forma híbrida é a combinação entre as duas anteriores, aproveitando as vantagens apresentadas por ambas e constituindo-se em uma maneira barata, flexível e de fácil implementação.

A escolha da forma de implementação de CAPP depende da variedade de peças produzidas pela empresa, conforme explica Nolen (1989). Se for possível caracterizar um grupo estreito e coeso de peças, cujos elementos e combinações podem ser processados por um grupo finito de regras de decisão, então se aplica o CAPP generativo. Se, ao contrário, o grupo de peças é excessivamente variado, adota-se a forma variante.

Um dos grandes problemas na utilização da forma generativa é a variedade de processos e geometrias que podem ser utilizados. O processo de furação favorece a aplicação desta abordagem já que seu tratamento é de razoável facilidade.

## **3. A INTEGRAÇÃO CAD, CAPP E CAM: SOLUÇÕES CLÁSSICAS ADOTADAS**

A integração entre as tecnologias da CIM é a primeira das grandes dificuldades a serem superadas no desenvolvimento de ambientes integrados. Desde que foram desenvolvidas separadamente e em diferentes épocas, cada qual apresenta seus próprios padrões e estágios de implementação, que muitas vezes são incompatíveis.

Para algumas destas tecnologias, entretanto, já existem soluções comerciais como o software *SmartCam*, que efetivou a integração CAD/CAM.

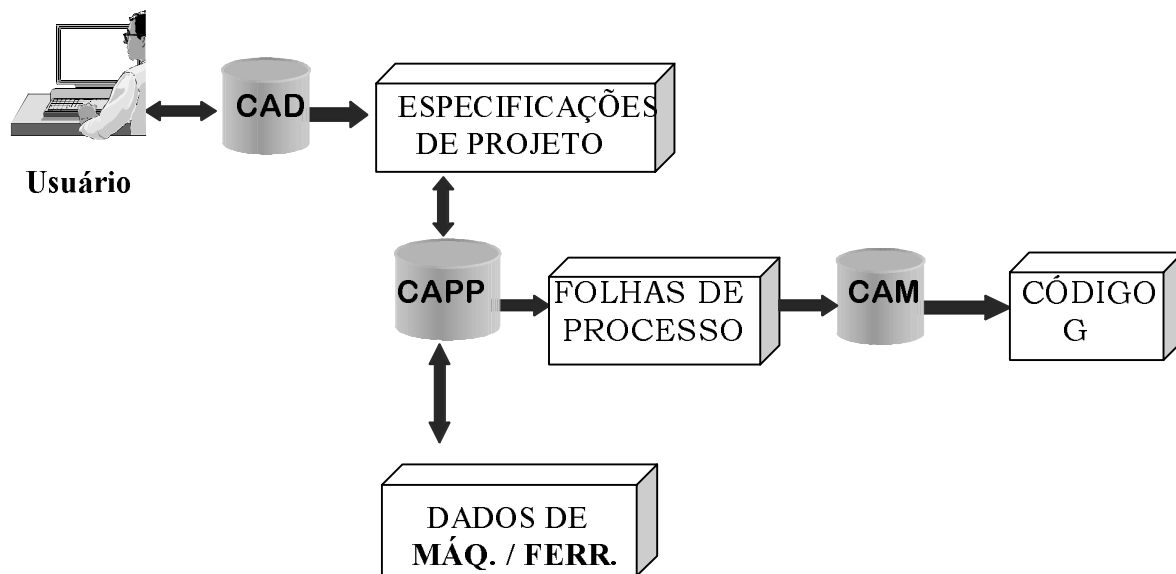
Um dos fatos que interfere na união do CAPP a estas outras duas tecnologias é o tratamento dado a um desenho pelo CAD. Estes aplicativos tratam o desenho como um conjunto de entidades geométricas que são descritas parametricamente. Esta abordagem é eficiente para o CAD, mas não para o CAPP. O planejamento de processo exige que sejam dadas a ele informações tecnológicas além das geométricas já existentes.

Normann & Rosa (1989) sugeriram como solução para este problema a criação, dentro do ambiente CAD, de um "sub-ambiente" capaz de adicionar as informações necessárias.

A passagem de dados tecnológicos para entidades geométricas entra no conceito de *features*. Segundo Silva & Batocchio (1997) *features* são entidades geométricas definidas, que carregam consigo, além de seus parâmetros dimensionais, informações consistentes sobre o objeto que se está modelando. Assim, conforme Silva *et al.* (1997), para definir um furo, um bloco de informações deve ser adicionado no CAD, contendo dados referentes à fabricação daquele furo.

Neste contexto, a solução clássica para este problema seria a utilização de *features* para a criação das entidades compostas no ambiente CAD, exportação destas entidades utilizando um padrão (IGES por exemplo), criação de um banco de dados relacional contendo os dados de ferramenta e condições de usinagem e, por fim, gerar o código de controle numérico.

Uma abordagem para o funcionamento do ambiente pode ser vista na figura 1.



**Figura 1.** Proposta de funcionamento do ambiente CAD/CAPP/CAM.

#### 4. METODOLOGIA ADOTADA NO NOVO AMBIENTE

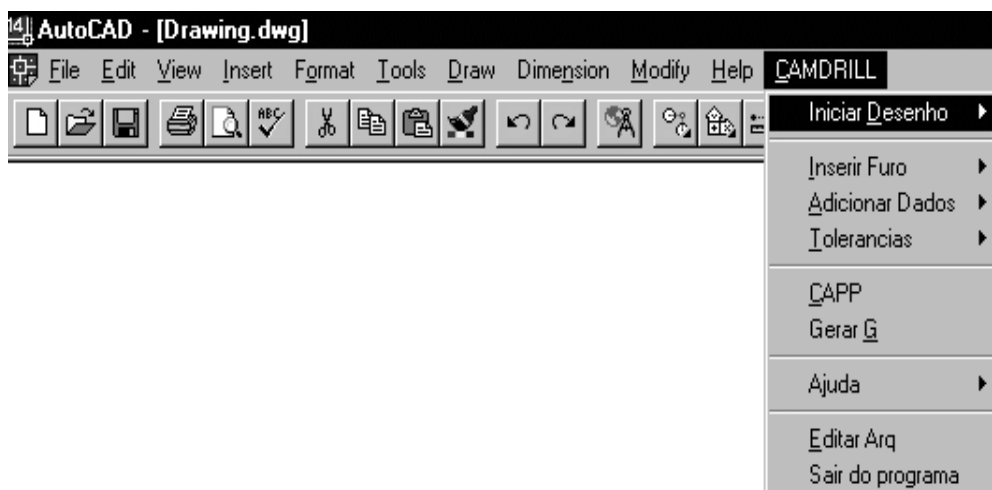
Para viabilizar a integração entre estas três tecnologias da CIM foi desenvolvido um aplicativo, denominado CAMdrill, cujos aspectos de implementação bem como as dificuldades encontradas para tanto serão discutidas a seguir.

Em virtude da existência de poderosos *softwares* comerciais de CAD, não há sentido em iniciar o desenvolvimento de um aplicativo CAD/CAPP/CAM partindo desde o princípio. Pode-se utilizar uma interface gráfica, poderosa e comercial já desenvolvida, adaptando-a às novas necessidades. O AutoCad, da Autodesk é um forte candidato a este tipo de aplicação em virtude de possuir estrutura semi-aberta e linguagem de programação própria, a Autolisp. Sua flexibilidade permite a criação de menus, barras de ferramentas, novos comandos ou ainda um novo ambiente, especialmente desenvolvido para uma determinada finalidade.

No caso do aplicativo desenvolvido buscou-se manter as características originais do AutoCad, evitando a criação de um novo ambiente. Porém, para facilitar a interface com o usuário optou-se pela utilização de um menu em detrimento da criação de comandos simples.

O novo menu criado pode ser observado na figura 2.

O novo "ambiente" precisa combinar as informações geométricas com informações de fabricação. O AutoCad apresenta um recurso bastante interessante que é a utilização do campo de dados estendidos das entidades.

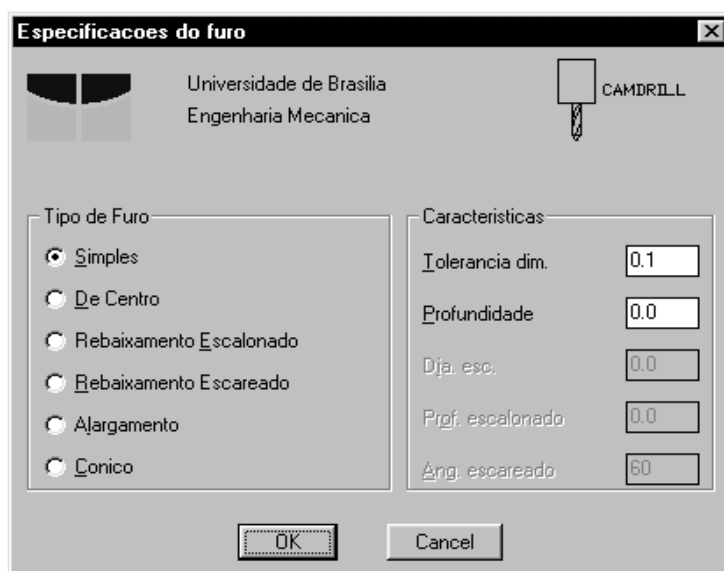


**Figura 2.** Menu criado para abrigar as novas funções.

O campo de dados estendidos é uma abertura proposital, deixada na descrição de cada entidade, para que o usuário ou outros recursos do próprio AutoCad insiram informações que normalmente não fazem parte da descrição geométrica destas entidades. Isso as torna *features*.

Um exemplo de utilização deste campo é o módulo de renderização do AutoCad. A utilização dos dados estendidos com a finalidade almejada neste trabalho já foi utilizada por Silva *et al.*(1997).

Visando manter a interface amigável com usuário, adotou-se a utilização de caixas de diálogo para comunicação. Um exemplo destas caixas pode ser observado na figura 3. A caixa da figura 2 requer ao usuário que informe o tipo de furo e sua tolerância dimensional.



**Figura 3.** Caixa de diálogo padrão.

Depois de inseridas as informações necessárias a cada entidade, deve-se escolher entre dois possíveis caminhos: permanecer na interface do AutoCad, utilizando a Autolisp, ou exportar o desenho através do padrão.DXF e utilizar uma nova linguagem de programação para interpretar o arquivo, efetuar o planejamento de processo e gerar o código G (linguagem

de programação das máquinas de comando numérico computadorizado - CNC).

Novamente buscando manter o ambiente transparente ao usuário, CAMdrill permanece na interface do AutoCad e efetua o planejamento de processo e a geração do código utilizando a Autolisp.

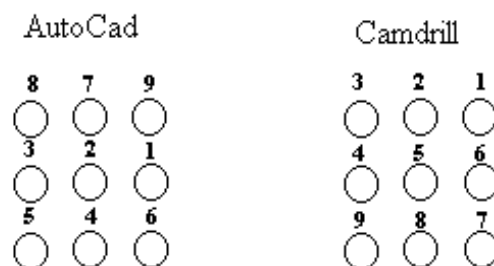
Existe alguma desvantagem em adotar esta opção visto que a Autolisp é voltado para o controle de ações típicas do AutoCad e, desta maneira, torna complicadas determinadas tarefas que seriam facilmente desenvolvidas por outras linguagens de programação. Exemplos claros disto são o ordenamento das entidades e o desenvolvimento das caixas de diálogo.

Na maioria das linguagens de programação, um problema frequentemente encontrado como a classificação de números em ordem crescente, possui solução simples e a presença de números repetidos não costuma prejudicar a obtenção dos resultados. Supondo que estes números representem diâmetros de furos, a Autolisp trata um diâmetro repetido como sendo o primeiro furo encontrado com tal diâmetro. Assim, ao deparar-se com 5 furos de 10 mm, por exemplo, o ordenamento fornecido pela Autolisp voltaria 5 cópias do primeiro furo desta dimensão.

Para solucionar este problema, o ordenamento por diâmetros na Autolisp deve ser vinculado ao número da entidade correspondente, provocando a dificuldade citada.

O método de ordenamento das entidades é um outro ponto de discussão muito importante.

O AutoCad utiliza um ordenamento interno de entidades, à medida que são desenhadas, que não é interessante para o planejamento de processo. Quando se desenha, por exemplo, uma matriz quadrada de furos 3x3, as nove entidades são armazenadas em seu banco de dados de entidades e disponibilizadas para edição. Quando estas mesmas nove entidades são escolhidas pelo usuário em uma seleção e apagadas na ordem em que foram organizadas, observa-se o ocorrido na figura 4.



**Figura 4.** Ordenamento de entidades pelo AutoCad e por CAMdrill.

Em virtude disso, novas funções de desenho foram criadas para realizar o pré-ordenamento das entidades. Ao desenhar a mesma matriz através de CAMdrill, o usuário obterá a segunda ordem exposta na figura 4. Sendo assim, ao mesmo tempo em que os grupos de entidades são inseridos no desenho, o ordenamento dos mesmos é realizado, facilitando o tratamento a ser dado pelo CAPP.

Infelizmente, esta abordagem traz consigo um fato desagradável que é a impossibilidade de tratar adequadamente desenhos já prontos, que não tenham sido feitos sob o novo ambiente. A utilização destes resulta na geração de um planejamento de processo com caminho de ferramenta não otimizado.

Outra desvantagem é que o pré-ordenamento dificulta o tratamento posterior a ser dado às entidades (pré-furação, etc.) inserindo instabilidades no algoritmo de planejamento de processo.

Utilizando o pré-ordenamento, os furos que foram inseridos dentro de um grupo já se encontram em ordem de fabricação. Os demais furos, feitos separadamente, passam por um

algoritmo de ordenamento segundo a menor distância relativa entre os mesmos. Após o ordenamento de entidades, o CAPP verificará as melhores condições de usinagem a serem adotadas na fabricação dos furos.

O formato do banco de dados de ferramentas e dados de usinagem é outro aspecto que merece especial atenção. Uma das formas sugeridas como solução clássica consiste em usar um banco de dados relacional do tipo SQL e a intenção inicial de CAMdrill era adotar as ferramentas oferecidas pelo AutoCad, no caso o banco de dados DB3. Entretanto, ao longo de seu desenvolvimento as limitações de tempo e recursos sugeriram uma nova abordagem para este tópico. O banco de dados desenvolvido é baseado em arquivos texto ascii e contém o número de classificação de ferramenta, seu diâmetro nominal e a tolerância dimensional que a mesma é capaz de atingir.

Com isso, limitou-se bastante a quantidade de informações disponíveis e tornou-se mais fácil à implementação. A pesquisa de informações é simples e baseada no processo de furação utilizado. Conforme o processo, é feita uma busca nas ferramentas correspondentes até que se encontre uma com diâmetro equivalente.

Segundo Ferreira (1999), os parâmetros de usinagem podem ser retirados de manuais de fabricantes, da utilização de métodos de otimização ou ainda através da criação de regras de decisão para uma usinagem eficiente.

CAMdrill utiliza dados retirados do manual de fabricante (Manual Técnico de Ferramentas da SKF – 1987) e utiliza as equações sugeridas nele para o cálculo das condições de usinagem. Em sua maioria, as equações são as mesmas utilizadas na tecnologia de fabricação, contendo parâmetros de correção para determinadas situações. Além disso, algumas regras de decisão foram seguidas para tratar adequadamente furos profundos e entidades que necessitem de pré-furação.

Os resultados fornecidos pelo novo ambiente são dois arquivos texto, contendo o planejamento de processo e o código G gerado para a fabricação da peça. Os nomes dos arquivos são escolhidos pelo usuário como pode ser visto na caixa de diálogo exposta na figura 5. Também é solicitado a ele que informe um ponto de troca de ferramentas (que depende da máquina de comando numérico que está sendo utilizada).

A caixa de diálogo 'Especificacoes da peça' possui o seguinte layout:

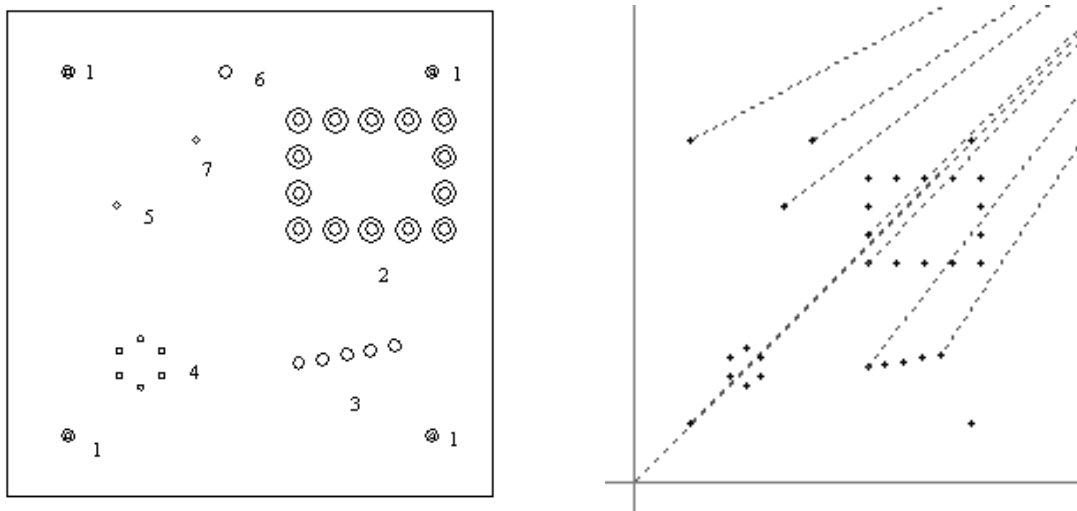
- Logo da Universidade de Brasília e o texto 'Universidade de Brasília Engenharia Mecânica'.
- Logo do CAMDRILL.
- Seção 'Nome dos Arquivos de Saída' com dois campos de entrada: 'Planejamento de Processo' e 'Código G'.
- Seção 'Ponto de Troca de Ferramenta' com campos de entrada para as coordenadas x, y e z, cada um com o valor '0.0'.
- Botões 'OK' e 'Cancel' na base.

**Figura 5.** Caixa de diálogo solicitando o nome dos arquivos de saída.

Para verificar o funcionamento do ambiente, uma peça teste foi desenhada e seu código G simulado. A peça exemplo e o resultado da simulação podem ser vistos na figura 6.

Na peça exemplo foram utilizados os seguintes furos:

- 1) Matriz retangular de furos com diâmetro 5 mm, profundidade de 10 mm, escalonados com diâmetro 10 mm e profundidade de escalonamento 5 mm;
- 2) Matriz retangular vazada de furos com 10 mm de diâmetro, profundidade de 20 mm, escareados com diâmetro de 12 mm, 60°;
- 3) Vetor diagonal de furos a 10°, 10 mm de diâmetro, profundidade 20 mm com alargamento;
- 4) Matriz polar de furos simples com 5 mm de diâmetro e 10 mm de profundidade;
- 5) Furo unitário de centro com 5 mm de diâmetro e 5 mm de profundidade;
- 6) Furo unitário alargado com 10 mm de diâmetro e 10 mm de profundidade;
- 7) Furo unitário simples com 5 mm de diâmetro e 30 mm de profundidade.



**Figura 6.** Peça exemplo e respectivo resultado de simulação.

Nota-se, na figura 6, que o caminho de ferramenta sai da tela do computador às vezes. Isso ocorre porque o ponto de troca de ferramenta sugerido na simulação foi nas coordenadas (700 700,700). Verifica-se também que o furo de número 5 não foi fabricado. Quando a tolerância exigida pelo usuário é menor do que a que é possível obter com o conjunto máquina-ferramenta adotado, CAMdrill sugere, na folha de plano de processo, que este furo seja realizado em separado dos demais e não o inclui no código G. O furo 7 possui características de furação profunda e, por isso, é utilizado o ciclo G82 para sua fabricação.

Um último tópico que sugere discussão é o código G em si. Criado com o objetivo de ser o mais abrangente possível, tornou-se tão abrangente que existem versões incompatíveis entre si. Talvez haja então, dependendo do conjunto máquina ferramenta a ser utilizado, a necessidade de promover algumas adaptações no código gerado, para que este trabalhe adequadamente.

## 5. CONCLUSÕES

O novo ambiente criado mostrou-se capaz de efetivar satisfatoriamente a integração CAD/CAPP/CAM. É possível, através dele, trabalhar alguns dos principais processos de furação de maneira amigável ao usuário e também transparente, à medida que funciona inteiramente sob o ambiente do AutoCad.

O sistema CAMdrill também promove tratamento adequado a situações comuns do planejamento de processo de furação como a confecção de furos profundos e a pré-furação de entidades.

O conceito de *features* aliado à utilização da área de dados estendidos das entidades mostrou-se uma excelente solução para aplicações deste tipo já que confere ao sistema bastante flexibilidade. Isto pode ser demonstrado em fatos como a possibilidade de substituir os dados das entidades em qualquer momento e, caso o usuário exporte as entidades para tratamento posterior, os dados permanecem junto ao desenho e às respectivas entidades.

Isto também sugere que a utilização de um sistema CAD semi-aberto como o AutoCad é aconselhável. O CAD é a base para a integração entre as tecnologias CIM porque é dele que partem as principais informações que serão utilizadas. A manipulação destas informações e sua disponibilização para as outras tecnologias constituem a chave para a integração.

Apesar da utilização de um banco de dados extremamente limitado e aplicação sobre um único tipo de processo de fabricação, a implementação do CAPP generativo mostrou-se válida e aplicável em ambientes industriais.

A metodologia de pré-ordenamento adotada não é aconselhável. Embora tenha cumprido os objetivos propostos, o pré-ordenamento dificulta o tratamento posterior da entidade limitando a liberdade do usuário quer seja pela impossibilidade de utilização de desenhos antigos ou pela inserção de instabilidades no sistema em determinadas situações.

Enfim, conclui-se com este trabalho que é viável a integração CAD/CAPP/CAM, utilizando o método generativo de planejamento de processo, ao menos para os processos de furação.

## 6. REFERÊNCIAS

- Allen, Dell K., 1989, "An Introduction to Automated Process Planning", B. Young University.
- Álvares, Alberto J. e outros, 1991, "CIM – Computer Integrated Manufacturing, Aspectos Relevantes Para sua Implantação - Parte I", CERTI, Santa Catarina.
- Chang, T.C. e Wysk, R.A., 1985, "An Introduction to Automated Process Planning Systems", Prentice-Hall Inc., New Jersey.
- Ferreira, J.C.E. e outros, janeiro de 1999, "Parâmetros de Usinagem e Geração do Programa NC em CAD/ CAPP/CAM", Revista Máquinas e Metais, pp. 54-63.
- Nolen, James, 1989, "Computer-Automated Process Planning For Word-Class Manufacturing", Marcel Dekker, New York, 434p.
- Normann, A. e Rosa, J.M.D. , julho de 1989, "O Processo de Furação é Otimizado Pelo CAPP", Revista Máquinas e Metais, nº 282, ano XXV.
- Silva, A. D. e outros, 1997, "Aplicação de um Sistema CAD Para Geração e Simulação de Programas Para CNC", Universidade Federal de Uberlândia.
- Silva, N.A. e Batocchio, A. , dezembro de 1997, "O Modelamento Baseado em Features Leva à Integração Entre Projeto e Manufatura", Revista Máquinas e Metais.
- Zdeblick, W. J., 1989, "Planejamento de Processo Com Auxílio do Computador", revista Commline.