



## SIMULAÇÃO GRÁFICA DE CNC PARA OPERAÇÕES DE USINAGEM COM OBJETIVO EDUCACIONAL

**Sérgio Luis Rabelo de Almeida** – slrabelo@terra.com.br

Instituto de Tecnologia Mauá – Escola de Engenharia

Praça Mauá 1

09580 900- São Caetano do Sul - SP

**Marco Stipkovic Filho** – kovic@osite.com.br

Escola Politécnica da USP – Departamento de Engenharia Mecatrônica

Av. Prof. Luciano Gualberto, 2231

05508-900 – São Paulo - SP

**Olívio Novaski** – novaski@fem.unicamp.br

Faculdade de Engenharia Mecânica - UNICAMP

Rua Mendeleiev, s/n - Campus Universitário– Campinas – SP

***Resumo:** Este trabalho tem por objetivo relatar o desenvolvimento de softwares educacionais para promover e facilitar o ensino de processos de usinagem com o uso de tecnologia CNC, em instituições de nível técnico e superior. A justificativa principal reside no fato de que existe uma carência de recursos computacionais didáticos de origem nacional (nativos em língua portuguesa), de baixo custo e desempenho compatível com a base computacional instalada em escolas, as quais sejam capazes de promover o ensino e aprendizagem de processos de usinagem. Optou-se pela tecnologia CNC como facilitadora deste processo, uma vez que se trata de uma forma flexível e programada, passível de implementação via software. Uma pesquisa de mercado foi conduzida para melhor entender as necessidades de consumo deste mercado, e como resultados foram estabelecidos os requisitos de projeto. Foram implementados módulos para torneamento e fresamento, constituídos de uma interface de edição e outra de simulação, baseadas em núcleos de modelamento.*

***Palavras-chave:** CNC, Programação, Usinagem, Edição e Simulação*

### 1. INTRODUÇÃO

O desenvolvimento e utilização de softwares didáticos como ferramentas auxiliares para cursos de engenharia e tecnologia tem interessado muitas Universidades e Escolas ao longo do mundo, de visando melhoria da formação de profissionais. Países como Israel, EUA e Alemanha têm diversas empresas que especializaram em gerar soluções para esta área, cujo Mercado tem crescido significativamente.

No campo da manufatura, especificamente nos processos de fabricação por usinagem, este fato tem especial conotação uma vez que esta disciplina tem importância significativa nos currículos de engenharia de diversas Universidades como também na formação de nível



técnico. Escolas de Engenharia renomadas como a Escola Politécnica da USP, Mackenzie, Unicamp e Mauá tem um conjunto de disciplinas para os cursos de graduação que versam sobre usinagem.

Esta realidade observada no segmento educacional nada mais é que uma resposta aos recentes movimentos no ramo industrial em direção a automação, a fim de aumentar a flexibilidades dos processos e reduzir custos. Pesquisas recentes mostraram um aumento de 43,6% das máquinas CNC no país nos últimos dois anos, sendo de 6,3 a média de máquinas de comando numérico por empresa (fonte: Máquinas e Metais).

Especificamente, quando mencionamos Escolas e Universidades, estas disciplinas relacionadas a usinagem possuem carga teórica e de laboratório, sendo intensivo o uso de máquina-ferramentas, em geral CNC. Tais máquinas sejam industriais ou didáticas, tem alto custo de aquisição e conseqüentemente, são em número reduzido quando comparado ao número de alunos no laboratório. Um alternativa mais barata então é o uso de simuladores de usinagem.

Embora existam diversos softwares para auxiliar na programação destas máquinas (ditos softwares CAM – “Computer Aided Manufacturing”), estes não foram desenvolvidos para o ensino e aprendizagem de usinagem ou tecnologia CNC, e em geral, também não estão disponíveis em português. Adicionalmente estes produtos têm licenças demasiadamente caras e preparam o profissional exclusivamente para o uso de determinada interface.

Um das iniciativas no desenvolvimento interno de soluções para a área foi realizada pelo Núcleo de Informática Educacional do SENAI - RS, onde surgiram produtos para simulação de CNC 2 e 3 eixos. No entanto, sua proposta original foi de utilizar um pseudocódigo CNC que não encontra respaldo nas linguagem utilizadas por desenvolvedores de comandos numéricos do mercado, nem permitem realizar análises do processo de usinagem em si, como por exemplo, cálculos de forças e potências, ou mesmo estimar rugosidade superficial.

Outros produtos de software, foram desenvolvidos vinculados a máquinas CNC didáticas (Boxford, Denford e Intelitek), não se acham disponíveis em português e restringem-se aos comandos das próprias máquinas.

## **2. TÓPICOS DE PROCESSOS DE USINAGEM**

### **2.1 Torneamento**

O torneamento pode ser considerado uma operação de usinagem que produz peças cilíndricas, para obtenção de superfícies de revolução, tipicamente externas. Neste caso a peça é dotada de um movimento de rotação, enquanto a ferramenta, de um único gume de corte, se desloca no plano que contém o eixo de rotação da peça. A seguir um exemplo de operação de torneamento:

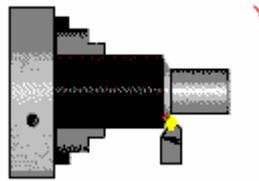


Figura 1 – Exemplo de operação de torneamento cilíndrico externo

De acordo com o tipo de ferramenta e os movimentos realizados, podem-se obter várias modalidades de torneamento, onde se incluem: torneamento cônico, torneamento radial (sangramento), faceamento, perfilamento etc.

Adicionalmente, existem as operações de rosqueamento e mandrilamento, derivadas do torneamento também de grande importância. A primeira promove abertura de filetes helicoidais em peças cilíndricas e a segunda permite a geração de superfícies de revolução internas a partir de ferramentas de barra.

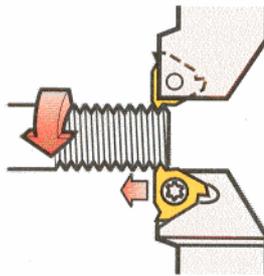


Figura 2 – Exemplo de operação de rosqueamento cilíndrico externo

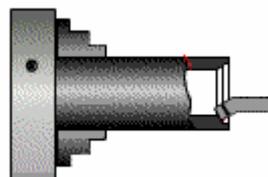


Figura 3 – Exemplo de operação de mandrilamento cilíndrico

## 2.2 Fresamento

O fresamento é uma operação de usinagem que produz peças e características variadas. Neste caso, a ferramenta que possui várias arestas de corte (fresa), é dotada de um movimento de rotação e translação simultâneas, capazes de gerar superfícies planas, angulares ou curvas sobre a peça. A seguir alguns exemplos de operações de fresamento:

As operações de fresamento podem ser classificadas de acordo com a posição dos dentes ativos da fresa em:

Fresamento tangencial ou periférico: onde os dentes ativos da ferramenta estão dispostos na parte cilíndrica da mesma, produzindo uma superfície usinada paralela ao eixo de rotação da fresa.

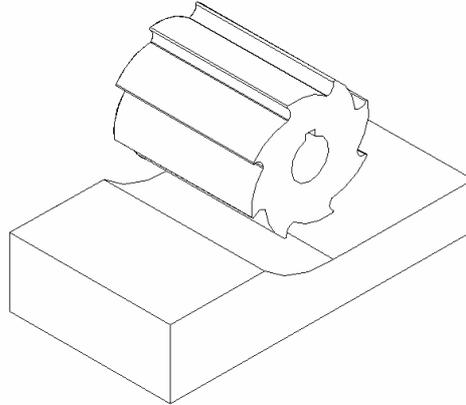


Figura 4 – Fresamento tangencial

Fresamento frontal ou de faceamento: onde os dentes ativos da ferramenta estão dispostos na parte frontal da mesma, produzindo uma superfície usinada perpendicular ao eixo de rotação da fresa.

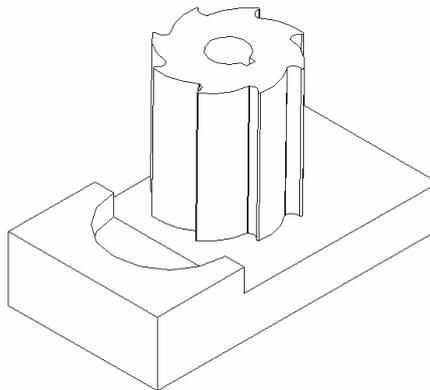


Figura 5 – Fresamento frontal

Fresamento de topo: onde os dentes ativos da ferramenta estão dispostos tanto na parte cilíndrica como na parte frontal da mesma, produzindo uma superfície usinada em direções perpendicular e paralela ao eixo de rotação da fresa.

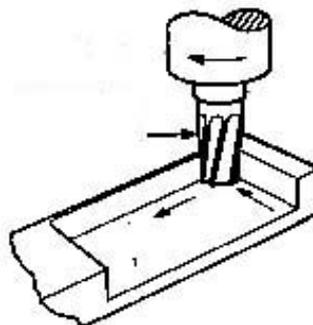


Figura 6 – Fresamento de topo

Adicionalmente, podemos diferenciar dois tipos de métodos de fresamento: concordante ou discordante, se o movimento de avanço se dá na mesma direção do movimento de corte, ou em sentidos contrários, respectivamente. Outras operações de fresamento podem ser realizadas dependendo da geometria da fresa em questão, gerando características tais como dentes de engrenagem, ranhuras e rasgos, perfis angulares etc.

### **3. PESQUISA DE MERCADO**

Previamente a especificação de projeto, foi conduzida uma pesquisa de mercado para identificar os fatores críticos de sucesso de um empreendimento com este foco bem como quais características seriam desejáveis a um software de simulação de processo.

A pesquisa foi elaborada junto a instrutores e coordenadores de área de ensino em usinagem e CNC. As principais conclusões foram:

#### **Quanto ao empreendimento:**

##### **3.1 Tecnologia adequada com a necessidade didática do software**

Para ser competitivo no mercado de software didático para automação industrial é necessário estar disponível em português, pois a maioria dos estudantes da área não possui conhecimento de outros idiomas, como o inglês. É necessário também que esse possua comandos de ajuda, os quais facilitam o aprendizado do aluno. Além disso, é importante que o software seja compatível com um número significativo de máquinas e que rode em programas atuais.

##### **3.2 Processo ativo de prospecção e vendas**

É necessário que a empresa possua uma boa estrutura de prospecção, vendas e distribuição. Demonstrações e palestras sobre o software são ferramentas indispensáveis, pois estas aumentam a compreensão sobre o mesmo, despertando assim, o interesse pelo produto. Uma equipe de vendas bem treinada e com capacidade de atender diversos clientes potenciais espalhados em diferentes regiões é de extrema importância, pois aumenta a capacidade de distribuição e venda do software.

##### **3.3 Assistência técnica ágil e eficiente**

O serviço pós-venda é fundamental nesse mercado, pois os usuários muitas vezes não têm o conhecimento técnico necessário para instalar, desinstalar e lidar com possíveis problemas cotidianos do software. Dessa forma, um bom serviço de assistência técnica gera segurança e satisfação, o que conseqüentemente fideliza o cliente.

##### **3.4 Política de preços competitiva e adequada aos segmentos de mercado específicos**

A política de preços a ser adotada deve ser elaborada segundo informações sobre o mercado e a concorrência. É importante buscar um nicho de mercado que não esteja sendo trabalhado adequadamente e que tenha necessidade de um produto compatível ao seu.

#### **Quanto ao produto:**

##### **3.5 Boa diagramação e parte gráfica**



Os clientes potenciais e os usuários de algum software apontaram a diagramação e a parte gráfica como algo muito importante no aprendizado, pois facilitam a visualização do programa e aumentam o interesse do aluno em aprender.

### **3.6 Simulação real**

A simulação mais próxima possível do funcionamento da máquina permite a melhor compreensão dos alunos sobre o processo de usinagem como um todo. Além disso, ele faz com que o aluno esteja mais preparado para o mercado de trabalho.

### **3.7 Treinamento**

As escolas técnicas, escolas SENAI e universidades destacaram o treinamento dos seus professores e instrutores como algo importante, pois estes, ao compreender melhor o programa, potencializam o aprendizado dos estudantes.

### **3.8 Atualizações constantes**

O mercado de softwares é muito versátil e se modifica com muita rapidez. Dessa forma, é importante que versões atualizadas do software sejam criadas e disponibilizadas para os clientes em um intervalo de tempo igual ou menor do que o período gasto pelo mercado.

### **3.9 Material didático em português**

É importante que juntamente com o software, a empresa ofereça um material didático a fim de facilitar a compreensão dos alunos e aumentar o número de ferramentas disponíveis para o professor em sala de aula. Além disso, esse instrumento possibilitaria que o aluno que não possui um computador pudesse estudar em sua casa.

## **4. ANÁLISE TÉCNICA**

### **4.1 Requisitos de Projeto**

Com base em alguns resultados da análise mercadológica, pode estabelecer os requisitos principais para o projeto de desenvolvimento dos softwares didáticos de processos de usinagem. As especificações são:

#### **Simulações realísticas**

Implementar simulações realísticas das modalidades de processos de usinagem mais comuns de aplicação industrial, e revistas no capítulo 1 introdutório deste relatório, a saber:

- Torneamento externo geral de desbaste e acabamento
- Mandrilamento geral de desbaste e acabamento
- Corte e ranhuramento interno e externo
- Rosqueamento interno e externo em torneamento
- Fresamento frontal, tangencial e topo
- Furação convencional, de centro e alargamento
- Rosqueamento interno com macho-máquina

#### **Tecnologia CNC**

Utilizar como suporte, a tecnologia CNC focada:

Na linguagem de programação CNC, norma ISO 4342 – 1985 e complementada pelos fabricantes líderes de mercado Siemens (Sinumerik) e GE Fanuc.

Nos recursos de máquinas ferramentas CNC para torneamento e fresamento (centros de usinagem)



### **Seleção de ferramentas e condições de usinagem**

Disponibilizar recursos de seleção de ferramentas de metal duro e condições de usinagem adequadas, baseadas nas restrições processuais, conforme os tópicos de planejamento de processo.

### **Predição de esforços de usinagem e rugosidade superficial**

Implementar módulo para predição de esforços de usinagem e condições de acabamento superficial para fresamento e torneamento, com a aplicação de tecnologias de inteligência artificial.

### **Preço**

Os preços de venda não devem ser superiores a R\$ 900,00 (aproximadamente U\$ 250,00, no câmbio atual) por módulo disponibilizado.

### **Desempenho**

O desempenho do software deve ser compatível com o parque médio de hardware existente nas Escolas Técnicas e Universidades, admitido Pentium II – 500 MHz, 64 MB RAM

### **Compatibilidade**

Compatível com sistema operacional Windows 98/ME e 2000

### **Recursos adicionais**

Recursos de ajuda, instalação e interface em português.

## **5. RESULTADOS**

Tendo em vista, os requisitos preliminares do projeto, foram desenvolvidas duas versões de software de simulação de processos de usinagem: uma para operações de torneamento e outra para operações de fresamento e furação, esta última com processos de simulação tridimensional, utilizando um núcleo de modelagem terceiro (ACIS).

Ambos os protótipos rodam em ambiente Windows, e interpretam códigos básicos de programação CNC normalizados e definidos por um fabricante específico (no caso, a GE FANUC).

A linguagem de programação utilizada para definição das interfaces e rotinas de simulação foi o VB, juntamente com controles de planilha. (“spreadsheet”).

### **5.1 Diagrama básico do fluxo de dados**

A seguir ilustramos um diagrama de fluxo de dados das versões implementadas.

A preocupação no processo fora provar a competência da equipe em desenvolver as rotinas de simulação e seleção geométrica das ferramentas de usinagem, e sim demonstrar a viabilidade técnica do projeto.

Os algoritmos que permitem seleção de parâmetros de usinagem adequados bem como a estimativa dos esforços de usinagem e rugosidade superficial, embora tenham sido estudados, não puderam ser implementados nesta fase.

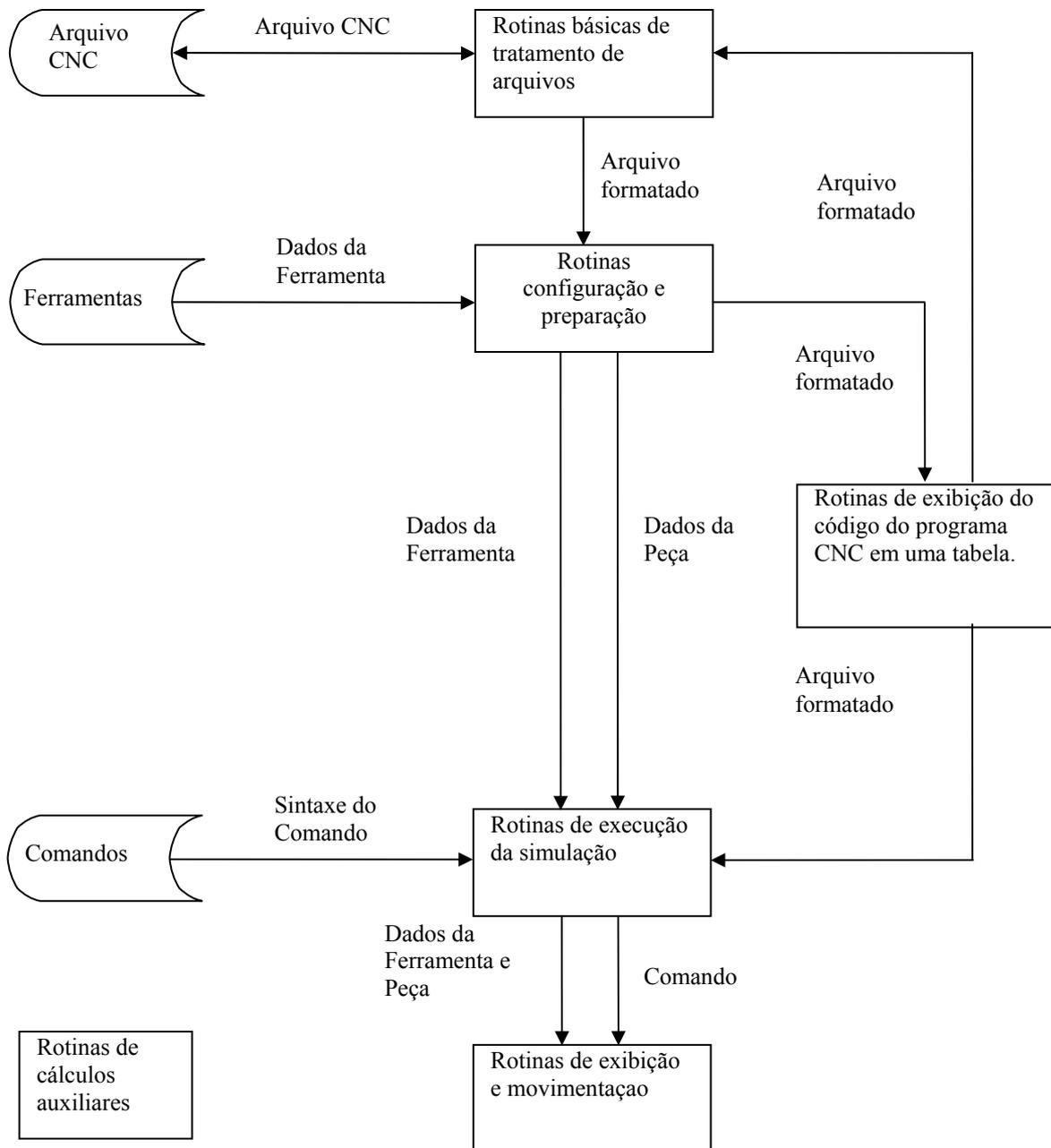


Figura 7– Diagrama de Fluxo de Dados

*Rotinas básicas de tratamento de arquivos:* responsáveis por ler, gravar e formatar o arquivo CNC original em um formato reconhecido pelo programa. Utilizou-se neste caso um arquivo texto formatado como fonte.

*Rotinas de configuração e preparação:* permitem ao usuário configurar a peça (dimensões, formato, etc) e a máquina (velocidade, processador, etc).

*Rotinas de exibição do código do programa CNC em uma tabela:* de posse do arquivo formatado, o programa tem condição de exibir para o usuário uma imagem do programa no formato de uma tabela. Nessa tabela o usuário pode ler e alterar o programa e posteriormente salvá-lo ou não.

*Rotinas de execução da simulação:* executa a simulação do programa que estiver ativo na tabela, permitindo que o usuário simule um programa antes que este seja salvo. Nesse ponto, são feitas as verificações de sintaxe, bem como os devidos cálculos matemáticos para a verificação de cada comando, antes que os mesmos sejam executados.

*Rotinas de exibição e movimentação:* se o comando estiver correto, as rotinas desse módulo tem a função de exibir o resultado da simulação. No caso do CNC 2D, as rotinas deste módulo são implementadas através do uso de APIs do Windows. No CNC 3D, foi utilizado um componente terceirizado (neste protótipo, foi utilizada a tecnologia ACIS). Assim são possíveis as simulações de interpolações lineares, circulares e compostas.

*Rotinas de cálculos auxiliares:* Essas rotinas não possuem ligação com outros módulos do sistema. Elas existem para que o usuário possa efetuar cálculos que lhe auxilie a construir um programa CNC corretamente. Tais cálculos envolvem operações matemáticas básicas, bem como cálculos trigonométricos.

O programa possui ainda, duas fontes de dados externas. Uma delas é a base de dados que contém a sintaxe de todos os comandos de uma determinada máquina. Essa é a base denominada Comandos que é utilizada no processo de verificação e execução de um programa CNC. O comando utilizado como exemplo utiliza sintaxe ISO/GE Fanuc.

A outra base, denominada Ferramenta, é responsável por armazenar as dimensões e formatos de cada uma das ferramentas suportadas pelo programa.

Adicionalmente, foram adotados, pela relação custo-benefício, os softwares para geração de instalação IS e para sistemas de ajuda E-help.

A seguir ilustramos as interfaces básicas do simulador para 3 eixos:

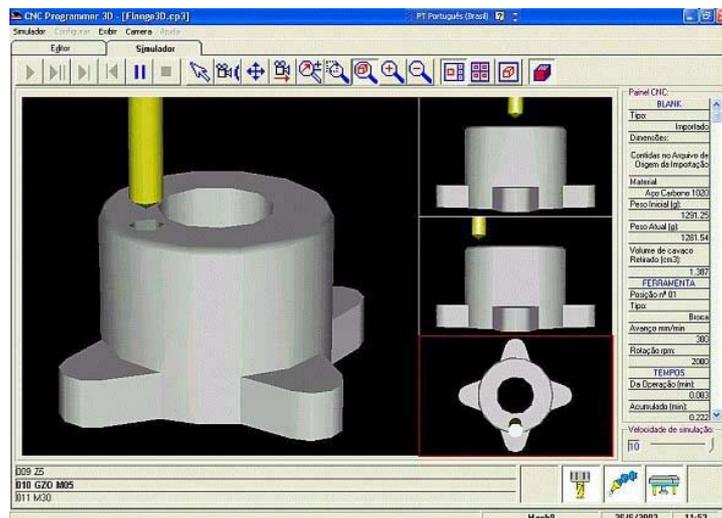


Figura 8– Interface de simulação - CNC 3D

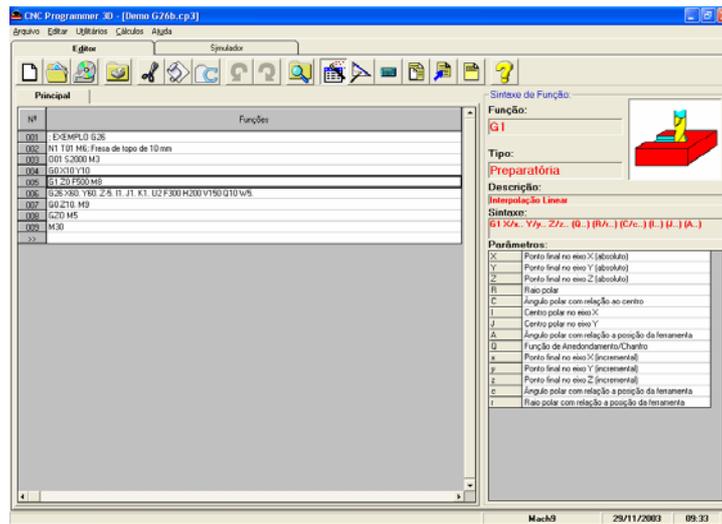


Figura 9– Interface de edição textual do código - CNC 3D

### Agradecimentos

Agradecemos a FAPESP pelo financiamento desta pesquisa através do programa PIPE

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CHOUDHURY, S.K., APPA RAO, I. V. K. Optimization of cutting parameters for maximizing tool life. International Journal of Tools and Manufacture. v.39, p. 343 - 353, 1999

SMITHEY, D. W., KAPOOR, S. G., DEVOR, R. E. A worn tool force model for three-dimensional cutting operations. International Journal of Tools and Manufacture. v.40, p. 1929-1950, 2000

COPPINI, N. L.; MARCONDES, F. C.; DINIZ, A. E. Tecnologia da usinagem dos materiais, 2. ed, São Paulo, Artliber editora, 2000

KO, J. H. et al. Development of a Virtual Machining System – part 1: approximation of the size effect for cutting forces prediction. International Journal of Tools and Manufacture. v.42, p. 1595 - 1605, 2002

ELGIN, S. ; ALTINTAS, Y. Mechanics and dynamics of general milling cutters. Part II: inserted cutters. International Journal of Tools and Manufacture. v.41, p. 2213 - 2231, 2001

NOVASKI, O. Introdução à engenharia de fabricação mecânica, 2. ed, São Paulo, Edgard Blücher, 1998

SANDVIK. Catálogo de produtos para usinagem. Ferramentas rotativas. Sandvik Coromant. 1999

BAEK, D. K. ; TAE, J. K., HEE, S. K Optimization of feedrate in face milling using a surface roughness model. International Journal of Tools and Manufacture. v.41, p. 451 - 462, 2001



FILHO, J. C., DINIZ, A. E., Influence of cutting conditions on tool life and surface finish in face milling process. Journal of the Brazilian Society of Mechanical Sciences. V. 24. march, 2002

GROOVER, M. Automation, Production Systems and Computer Integrated Manufacturing, 2. ed, Prentice Hall, 2000

REVISTA MÁQUINAS E METAIS. V inventário de máquinas-ferramentas, n. 431, Aranda Editora, dez, 2001

PHAM, D. T. ;. Artificial intelligence in engineering. International Journal of Tools and Manufacture. v.39, p. 937 - 949, 1999

BRICENO, J. F., HAZIM, M., MUKHOPDHYAY, S. Selecting an artificial neural network for efficient modeling and accurate simulation of the milling process. International Journal of Tools and Manufacture. v.42, p. 663 - 674, 2002

BALIC, J., KOROSSEC, M. Intelligent tool path generation for milling of free faces using neural networks. International Journal of Tools and Manufacture. v.42, p. 1171 - 1179, 2002  
Metodologia Via Redes Neurais para a Estimativa da Rugosidade e do Desgaste de Ferramentas de Corte no Processo de Fresamento Frontal. 2001, 205 pag. Tese de Doutorado – Universidade Federal de Uberlândia. 01/03/2001 – Uberlândia.

STIPKOVIC, M, F. Usinagem, E E Mauá, EPUSP, Apostila, 1995, 5. edição.



## **CNC GRAPHICS SIMULATION OF MACHINING PROCESSES FOR EDUCATIONAL APPLICATION**

**Abstract:** *The objective of this paper is to report the development of a educational software which is able to simulate the most common machining process, based on CNC technology. It targets becoming an auxiliary tool on professional labour training (engineers or technicians) in optimized machining process planning. A market research was conducted to better understand the costumers' needs in Brazilian market in such specific area. As result, basic requirements were established, and the first version is ready for the market. It was implemented an easy to use editing spreadsheet where the CNC program can be written as well as a realistic simulation interface, built over a proprietary and 3D commercial geometric kernel.*

**Key-words:** *CNC, programming, editing, simulation, machining*