

Simulação de máquinas-ferramentas virtuais e sua importância na usinagem de superfícies complexas

Carlos Eduardo Miralles, cmiralles@hotmail.com¹

Klaus Schützer, schuetzer@unimep.br¹

André Luís Helleno, alhelleno@unimep.br²

¹Universidade Metodista de Piracicaba, Rod. Santa Bárbara/Iracemápolis, km 1, CEP 13.450-000 - Santa Bárbara d'Oeste - SP,

²Universidade Metodista de Piracicaba, Rod. Santa Bárbara/Iracemápolis, km 1, CEP 13.450-000 - Santa Bárbara d'Oeste - SP,

Resumo: Na usinagem de superfícies complexas, utilizando a tecnologia de fresamento multieixos, a geração de programas NC (Numerical Control) isentos de problemas, tais como colisões e violações de limite dos eixos da máquina-ferramenta, tem como consequência um elevado tempo para a verificação dos mesmos, geralmente utilizando a máquina-ferramenta para a realização dessa verificação. Uma importante ferramenta para o auxílio da programação NC e verificação proporcionando maior segurança do processo de usinagem, é a simulação de máquinas-ferramentas virtuais. O objetivo deste artigo é demonstrar a importância da simulação de máquinas-ferramentas virtuais dentro do processo de usinagem com máquinas-ferramentas multieixos, apresentando os tipos de simulação e suas características principais, e também demonstrar um caso prático de simulação cinemática virtual de uma máquina-ferramenta com 5 eixos, que permitiu como resultado, a otimização na geração do programa NC e a redução do tempo de verificação desse programa.

Palavras-chave: Usinagem de superfícies complexas, Simulação Virtual, Fresamento 5 eixos.

1. INTRODUÇÃO

A geração de programas NC (Numerical Control) para máquinas-ferramentas multieixos que estejam livres de colisões ou invasões da ferramenta na geometria da peça, não é uma tarefa simples de ser realizada.

O sistema CAM (Computer Aided Manufacturing) gera a trajetória da ferramenta sem levar em consideração os movimentos característicos da máquina-ferramenta a ser utilizada.

Após o pós-processamento da trajetória da ferramenta gerada pelo sistema CAM, o programador não tem o conhecimento pleno dos movimentos gerados, sendo necessário a verificação do programa NC através de testes de usinagem na própria máquina-ferramenta, o que acrescenta um grande risco de colisão entre eixos, peça e ferramenta, além de ocasionar um maior tempo para análise e verificação desses possíveis erros do programa NC.

Uma importante ferramenta para a verificação de erros em um programa NC é a simulação virtual de máquinas-ferramentas, ela permite analisar e corrigir erros do programa NC através da simulação virtual dos movimentos dos eixos da máquina-ferramenta, permitindo um menor tempo de ajuste do programa e menor risco de colisão da máquina-ferramenta.

O objetivo deste artigo é proporcionar uma visão geral sobre simulação de máquinas-ferramentas virtuais, demonstrando os tipos de simulação e suas características principais, e também demonstrar um caso prático de simulação virtual de uma máquina-ferramenta apresentando seus respectivos resultados.

2. Máquinas-ferramentas

Com o advento de novas tecnologias e a crescente demanda de produtos ergonômicos, aerodinâmicos ou com formas inovadoras, tem obrigado as empresas a produzirem moldes, matrizes ou peças com formas e superfícies complexas.

As máquinas mais utilizadas nas indústrias são as fresadoras e centros de usinagem com 3 eixos para a usinagem de superfícies complexas (Maurício, 2008). Peças com vários planos de trabalho, muitas vezes implicam em vários posicionamentos de fixação na mesa da máquina para a usinagem dos mesmos, ocasionando:

- Maior tempo de *setup*, que em alguns casos, ultrapassa o tempo de usinagem;

- Maior imprecisão do produto final;
- Necessidade em projetar dispositivos de fixação, aumentando o custo do produto final;
- Processo com maior dependência do operador de máquina.

Devido aos fatores citados, há uma grande tendência das empresas em adquirir máquinas multieixos, tais como centros de usinagem de 5 eixos ou máquinas multitarefa para a usinagem de superfícies complexas e peças com vários planos de trabalho. Essas máquinas possuem algumas vantagens como:

- Maior flexibilidade do processo;
- Considerável redução do tempo de preparação da máquina e peça;
- Usinagem mais precisa;
- Melhor acabamento superficial devido a possibilidade de utilização de um único sistema de fixação.

Porém, a usinagem de peças através de máquinas multieixos é complexa, todo o processo de usinagem deve ser levado em consideração, desde o modelo geométrico CAD (*Computer Aided Design*), que pode influenciar na geração da trajetória da ferramenta e qualidade superficial da peça usinada, até a programação CAM, onde a geração da trajetória da ferramenta ainda possui grande dependência do conhecimento e interação do programador (Gomes, 2005).

É necessário que o programador tenha o pleno conhecimento da máquina-ferramenta a ser utilizada, como sua estrutura, dispositivos de fixação e limites de movimento (Gomes, 2005; Silva, 2006; Wang, 2006).

Com a complexidade de programação ocasionada por esses fatores citados anteriormente, o processo de usinagem multieixos requer maior cuidado com relação à verificação da trajetória da ferramenta, pois erros de programação podem ocasionar colisões entre peça, ferramenta, dispositivos de fixação e a própria máquina-ferramenta.

No caso da usinagem com máquinas-ferramentas de 3 eixos, o processo de geração e verificação da trajetória da ferramenta é menos complexo comparado a usinagem com máquinas ferramentas multieixos, pois o programador possui um maior controle e previsão sobre a movimentação dos eixos. Os sistemas CAM permitem a visualização gráfica da trajetória da ferramenta, mostrando até a retirada do material. Para o processo de usinagem com 3 eixos esse tipo de verificação é bastante satisfatório.

Já na usinagem com máquinas-ferramentas multieixos, além da complexidade de operação, para programação dessas máquinas, é necessário a utilização de softwares CAM que contenham operações específicas para este tipo de usinagem. Muitas vezes, a verificação de erros na trajetória da ferramenta é realizada apenas pela visualização gráfica do sistema CAM entre peça e ferramenta, partindo para a usinagem em “vazio” (bloco à bloco) ou resina como mostra a Figura 1, o que aumenta o risco de colisão entre a peça, ferramenta e partes da máquina (Lauwers, 2003).

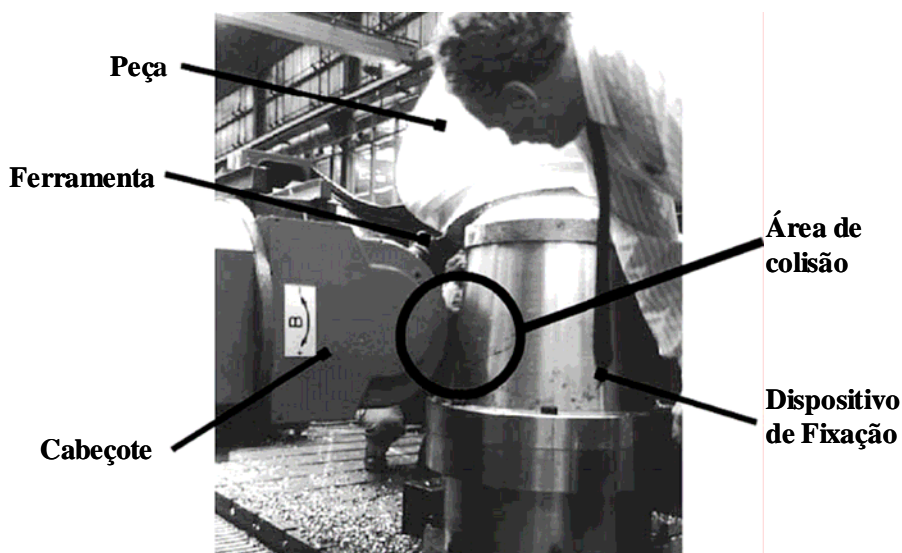


Figura 1: Verificação de erros do programa NC através da usinagem em resina (Lauwers, 2003)

Para diminuir os riscos de colisão da máquina-ferramenta multieixo, é necessário não só apenas fazer a verificação gráfica da trajetória da ferramenta sobre a peça a ser usinada, mas também a simulação virtual da máquina-ferramenta e seus movimentos.

Além de diminuir os riscos de colisão, a simulação virtual de máquinas-ferramentas é uma excelente ferramenta no auxílio da programação NC, pois permite melhor visualização espacial dos componentes da máquina-ferramenta e melhor entendimento dos seus movimentos.

A Figura 2 mostra exemplos de simulação em software CAM, a Figura 2 A mostra a visualização gráfica da peça e ferramenta para a verificação do programa NC, neste tipo de simulação, a ferramenta faz os movimentos em torno da peça restringindo o entendimento completo dos movimentos da máquina-ferramenta; a Figura 2 B mostra a simulação cinemática de uma máquina-ferramenta virtual que permite a verificação do comportamento da máquina-ferramenta de forma realística:

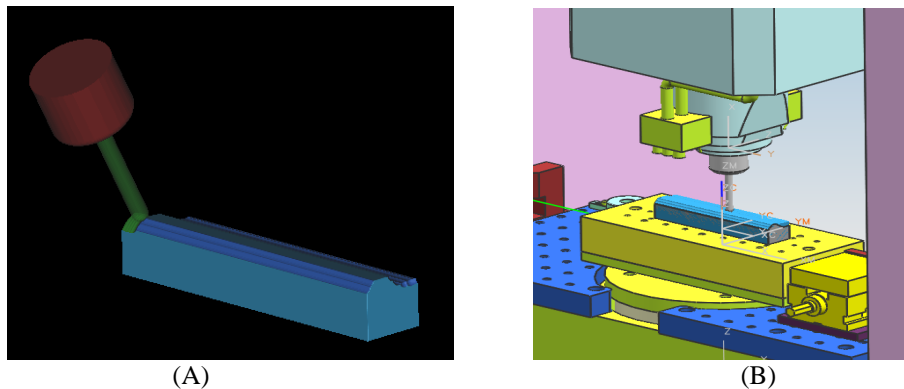


Figura 2: (A) Visualização gráfica entre peça e ferramenta; (B) Simulação com máquina-ferramenta virtual.

2.1. Simulação de usinagem com máquina-ferramenta virtual

A usinagem de peças complexas com máquinas multieixos não é uma tarefa de fácil realização, o processo tradicional ocorre da seguinte forma:

- Geração da peça em um sistema CAD, onde a qualidade do modelo geométrico possui influência sobre o processo de usinagem, pois peças com superfícies descontínuas e com má qualidade superficial podem ocasionar problemas na geração da trajetória da ferramenta e eventual colisão (Gomes, 2005);
- Geração da trajetória em um sistema CAM, onde são estipulados os tipos de tolerância CAM para cada método de usinagem (desbaste, pré-acabamento e acabamento), tipos de estratégia de corte, os dados de ferramentas e suportes (*holders*). Através do sistema CAM é gerado o arquivo contendo a trajetória da ferramenta (*CL - Cutter Location*).
- Verificação de erros da trajetória da ferramenta através visualização gráfica entre a peça e ferramenta (Figura 2 A).
- Pós-processamento, onde ocorre a tradução da trajetória da ferramenta em linguagem que a máquina-ferramenta entenda, gerando o programa NC.
- Realização de testes com usinagem em “vazio” ou em resina na própria máquina-ferramenta, o que aumenta o risco de colisão;
- Modificação do programa NC, caso ocorra a detecção de problemas.

Este ciclo se repete até que o programa NC esteja isento de problemas, em consequência, além do risco de colisão ser alto, o tempo de ajuste do programa é maior, com isto, o desenvolvimento e aplicação de uma máquina-ferramenta virtual, visando a melhoria deste processo de usinagem, demonstra ser altamente vantajoso.

A simulação de usinagem com máquina-ferramenta virtual permite ao programador verificar a trajetória da ferramenta e analisar as possíveis falhas dentro da programação, permite analisar a transição entre métodos de usinagem, além da otimização do processo de programação e usinagem.

A Figura 3 mostra um fluxograma de programação CAM para máquinas multieixos:

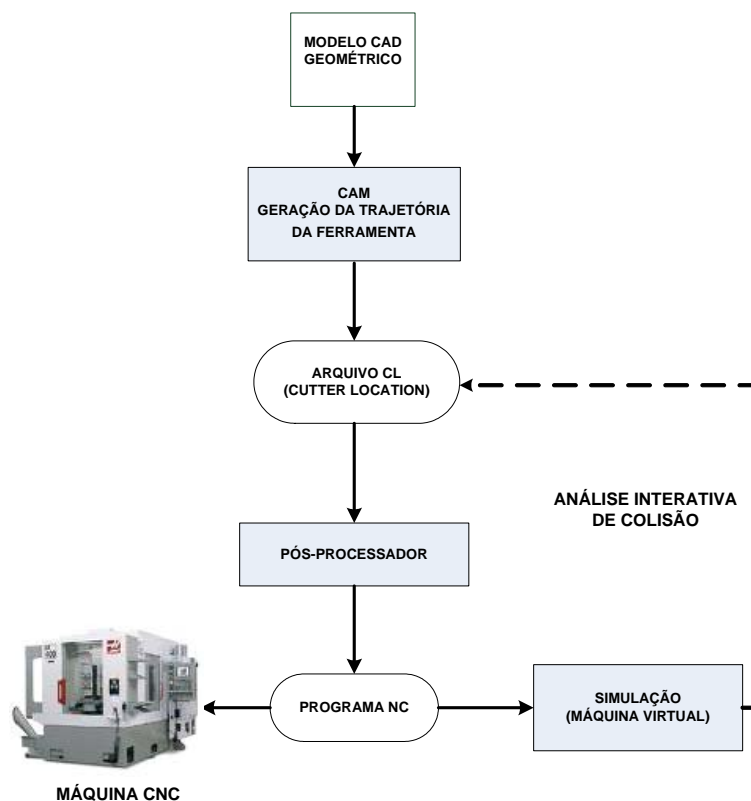


Figura 3: Etapas para programação NC em máquinas multieixos (Lauwers, 2003)

2.2. Tipos de simulação.

A simulação de usinagem com máquina-ferramenta virtual pode ser de dois tipos:

- Simulação cinemática;
- Simulação dinâmica.

A simulação cinemática de máquinas-ferramentas virtuais, como o próprio nome diz, simula os movimentos e limites reais dos eixos de uma máquina-ferramenta, permitindo a visualização realística do posicionamento da peça em relação aos dispositivos de fixação e eixos, e análise, também de forma realística, do comportamento cinemático da máquina-ferramenta com relação ao programa NC gerado.

O desenvolvimento das máquinas-ferramentas virtuais não é uma tarefa simples, para a simulação cinemática realística das máquinas é necessário realizar a modelagem da máquina-ferramenta em um sistema CAD, desenvolver um controle numérico virtual (*VNC - Virtual Numerical Control*), e integrar ambos ao sistema CAM.

No mercado, há softwares que possuem módulos para a criação de pós-processadores e VNCs que integram os modelos geométricos de máquinas-ferramentas e controles numéricos virtuais aos sistemas CAM, porém de acordo com alguns autores (Su, 2006; Zhu, 2006; Ong, 2002) é possível o desenvolvimento de simuladores de máquinas-ferramentas virtuais baseado em algoritmos através de software de programação ou através da internet como plataforma de desenvolvimento utilizando uma linguagem de modelamento de realidade virtual e *Java*, como explicado por Ong (2002).

A simulação dinâmica de máquinas-ferramentas virtuais consiste não só apenas na movimentação dos eixos, mas também das forças e velocidades que atuam no processo de usinagem. Através da simulação dinâmica, é possível analisar, além dos possíveis problemas do programa NC, forças de corte atuantes no processo de usinagem, vibrações e estabilidade da máquina-ferramenta, possibilitando a otimização do processo de usinagem (Ong, 2002; Altintas, 2007).

Para o desenvolvimento de máquinas-ferramentas virtuais que possuam simulações dinâmicas, é necessário tanto a implementação dos movimentos e limites reais da máquina-ferramenta, como algoritmos de programação que simulem as forças de corte, a deflexão de ferramenta e máquina de acordo com o material usinado.

Segundo Pörnbacher (2008), é possível otimizar o processo de usinagem através de processos de simulação. Além dos sistemas CAM que permitem o desenvolvimento de máquinas-ferramentas virtuais para a simulação cinemática, existem softwares que simulam as forças de usinagem e sistema de fixação da máquina-ferramenta.

A simulação descrita pelo autor (Pörnbacher, 2008) não é dinâmica, pois a análise é feita em etapas como simulação cinemática da máquina-ferramenta virtual, que indica a ocorrência de colisão máquina, depois é feita a simulação das forças de usinagem, os parâmetros para esta simulação são adquiridos através de dispositivos de medição fixados na máquina-ferramenta real, e a verificação da estabilidade do sistema de fixação da peça através da análise pelo método de elementos finitos. Segundo o autor, os resultados fornecem informações importantes para a segurança e otimização do processo de usinagem.

3. Metodologia

Conforme o objetivo deste artigo, para a demonstração de um caso prático de simulação cinemática, foi utilizado o software Unigraphics NX3 com seus respectivos módulos CAD, CAM, Machine Tool Builder e Post Builder.

A máquina-ferramenta utilizada como base para realização da simulação virtual é uma Hermle C600U com 5 eixos, o modelo geométrico da máquina ferramenta foi disponibilizado pelo Centro de Competência em Manufatura, localizado no Instituto Tecnológico da Aeronáutica, este modelo geométrico contém todos os componentes da máquina-ferramenta tais como: eixos, dispositivos de fixação, sistemas de refrigeração, todas com dimensões exatas da máquina real.

Posteriormente, foi desenvolvido o comando numérico virtual que juntamente com o modelo geométrico CAD da máquina-ferramenta, foram integrados ao sistema CAM.

Para verificação da eficiência da máquina-ferramenta virtual, foi desenvolvida uma peça teste em um sistema CAD e posteriormente foi realizada a programação NC com duas operações: desbaste e acabamento.

O método de desbaste proporcionou movimentos de 2 ½ eixos, utilizou uma estratégia de corte “zig-zag” com passos longitudinais em relação à peça. O método de acabamento proporcionou movimentos com 4 eixos simultâneos, utilizou uma estratégia de corte “zig-zag” com passos transversais em relação à peça e posicionamento da ferramenta normal à superfície complexa.

4. Caso prático

Com base em um centro de usinagem com 5 eixos, o qual possui movimentos lineares X, Y, Z em seu cabeçote e movimentos de rotação A e B em sua mesa, a máquina virtual desenvolvida tem o intuito de simular sua cinemática para análise de colisão e estratégia de corte.

Iniciou-se o desenvolvimento da máquina virtual através do modelo geométrico CAD, que contém todos os componentes modelados de acordo com as medidas da máquina-ferramenta real, todas essas peças da máquina ferramenta virtual foram montadas em um único arquivo de forma que as posições dos eixos da máquina estejam no ponto zero ou posição de troca de ferramenta, para que a simulação da máquina virtual tenha seu início de movimentação dos eixos a partir dessa posição, como ocorre no início da usinagem em uma máquina-ferramenta real.

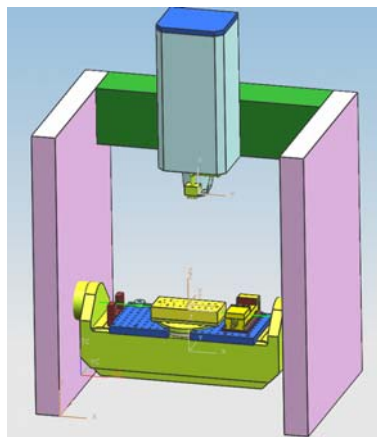


Figura 4: Montagem final da máquina virtual (posição zero máquina).

Através do módulo *Machine Tool Builder* do sistema CAM, foram adicionados os sentidos de giro e translação, positivo e negativo de cada eixo com seus respectivos limites de acordo com as características da máquina-ferramenta real, as junções entre eixos, peça e dispositivo de fixação e ferramenta e cabeçote, como mostra a Figura 5.

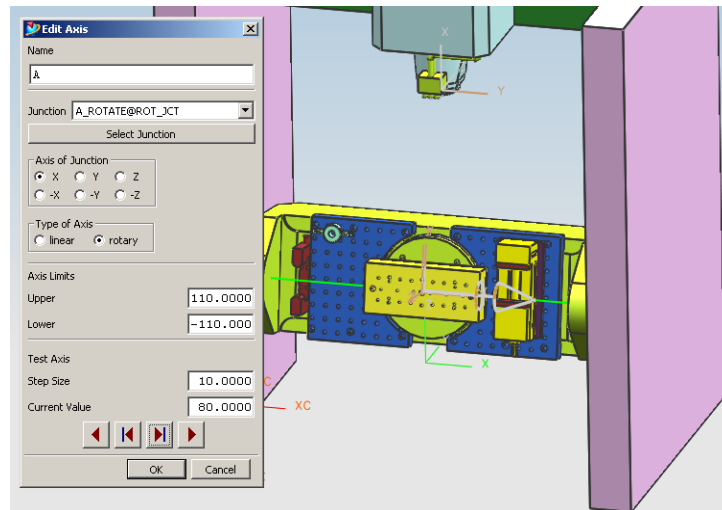


Figura 5: Exemplo de adição de movimento, sentido e limite do eixo.

Após a máquina-ferramenta virtual montada, a mesma foi adicionada na biblioteca de máquinas-ferramentas do NX3.

O VNC foi desenvolvido através do módulo *Post Builder* do NX3, onde foi realizado o mapeamento de todos os eixos e junções da máquina virtual, o que tornou possível a simulação cinemática idêntica a máquina ferramenta real.

Uma peça teste foi modelada para testar os movimentos da máquina virtual, seu programa NC foi gerado através do módulo CAM, onde estão contidos os métodos de desbaste (2 ½ eixos) e acabamento (4 eixos).

5. Resultado e discussão

A primeira verificação da trajetória da ferramenta foi realizada através da visualização gráfica entre peça e ferramenta como mostra a Figura 6, que permitiu detectar um erro de programação NC, neste caso, a invasão da ferramenta na geometria da peça teste, portanto, foi necessário corrigir o erro apresentado.

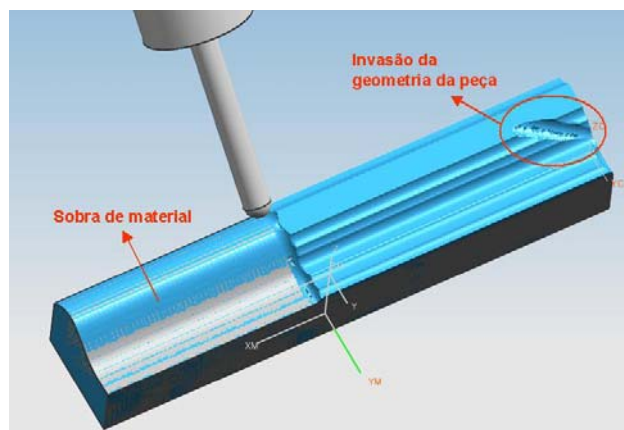


Figura 6: Ocorrência de invasão da geometria (visualização gráfica).

Após o pós-processamento do arquivo CL gerado pelo módulo CAM, no procedimento convencional, o programador teria que verificar novamente a trajetória da ferramenta através de usinagem em “vazio”, ou em resina, e analisar os possíveis erros de programação com relação à inclinação da ferramenta, com o conseqüente risco de colisão ou invasão da ferramenta na geometria da peça e maior tempo de ajuste do programa.

No caso da peça teste, após a geração da trajetória da ferramenta e verificação gráfica entre peça e ferramenta, a mesma foi submetida a simulação com a máquina-ferramenta virtual, como mostra a Figura 7.

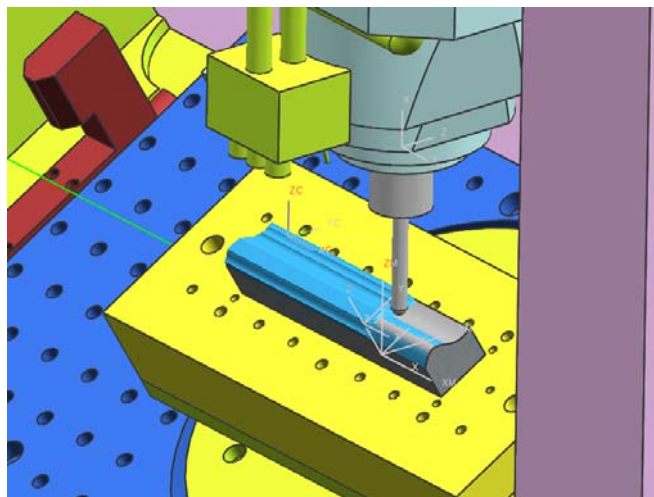


Figura 7: Análise de colisão (simulação de máquina virtual).

Com a simulação da máquina-ferramenta virtual, foi possível detectar uma outra ocorrência de erro na programação NC, neste caso a ocorrência de colisão entre cabeçote e dispositivo de fixação.

A utilização da máquina-ferramenta virtual permitiu a correção do programa NC sem que houvesse a necessidade da presença da máquina-ferramenta real para o ajuste e correção do programa.

Com a simulação da máquina-ferramenta virtual, também foi possível otimizar as estratégias de corte, analisando os limites e possibilidades de inclinação da ferramenta sem que houvesse a ocorrência de colisões e invasões da ferramenta na geometria da peça.

6. Conclusão

Apesar da verificação gráfica entre peça e ferramenta de corte ser amplamente utilizada no ambiente CAD/CAM para a usinagem de superfícies complexas com fresamento 3 eixos, sua aplicação no processo de usinagem com fresamento de 3+2 eixos possui diversas restrições, tornando-se inclusive uma limitação na usinagem com fresamento com 5 eixos simultâneos.

Conforme se observa nesse artigo, a simulação do processo de usinagem através de máquinas-ferramentas virtuais é uma solução para a usinagem de superfícies complexas no fresamento com 4 e 5 eixos simultâneos.

A simulação de máquinas-ferramentas virtuais para a verificação da trajetória da ferramenta se mostra uma importante ferramenta para a análise, correções e otimizações de programas NC gerados através de sistemas CAM.

Com esta tecnologia, é possível diminuir o tempo de ajustes do programa NC além de não necessitar da máquina-ferramenta real ajustes diminuindo e até eliminando o tempo de máquina parada para a realização de ajustes, tempo este que não agrega valor ao produto e, portanto, causando prejuízos a empresa. Também, evitar o grande risco de colisões e invasões da ferramenta na geometria da peça, fatos que a verificação tradicional está suscetível.

Porém, a implantação dessa tecnologia envolve etapas desde o desenvolvimento do modelo geométrico da máquina-ferramenta em um sistema CAD até o desenvolvimento do comando numérico virtual e integração de ambos dentro do sistema CAM. Entretanto, é importante destacar, que este trabalho ocorre apenas uma única vez para o par máquina-ferramenta e comando numérico, podendo assim ser utilizado para a simulação de qualquer operação realizada nesta máquina.

7. REFERÊNCIAS

- Maurício, J. As tendências da tecnologia CNC e o seu Impacto na Competitividade Tecnológica, CENFIM (Centro de Formação profissional da Indústria Metalúrgica e Metalomecânica). Disponível em: <http://www.cenfim.pt/artigo_cnc_06_texto.htm>, Acesso em: 06 fev. 2008.
- Gomes, J. O., Silva, A. S. A., Souza, G. O., Desenvolvimentos necessários para o fresamento em 5 eixos simultâneos, 3º Encontro da cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, São Paulo-SP, 10 a 12 de agosto de 2005.
- Silva, A. S. A., Desenvolvimento Integrado CAD/CAM de Componentes para turbina a Gás. 2006, 133f. Dissertação de Mestrado – Instituto Tecnológico da Aeronáutica, São José dos Campos - SP.
- Wang, Q.H., LI, J.R., Zhou, R.R., Graphics-assisted approach to rapid collision detection for multi-axis machining, Int J Adv Manuf Technol, 30, 853-863, 2006
- Lauwers, B., Dejongle, P., Kruth, J.P. Optimal and collision free tool posture in five-axis machining through the tight integration of tool path and machine simulation, Computer Aided Design, 35, 421-432, 2003.
- Su, C.J., Lin, F., Ye, L. A new collision detection method for CSG-represented objects in virtual manufacturing, Computers in Industry, 40, 1-13, 1999.
- Zhu, X., Wang, Y., Fu, H. A 3-D simulation system for milling machining based on STEP-NC, Proceedings of the 6th World Congress on Intelligent Control and Automation, Dalian, China, June 21-23, 2006.
- Ong, S.K., Jiang, L., Nee, A.Y.C. An internet-based virtual CNC milling system, Int J Adv Manuf Technol, 20, 20-30, 2002.
- Altintas, Y. Virtual high performance milling, CIRP Annals – Manufacturing Technology, 56, 81-84, 2007.
- Pömbacher, C. et. al. Integração de processos de simulação otimiza cadeia CAD/CAM. Máquinas e Metais, Editora Aranda, nº 507, 38-49, 2008.

Simulation of virtual machine tools and its importance in the sculptured surface machining.

Carlos Eduardo Miralles, cmiralles@hotmail.com¹

Klaus Schützer, schuetzer@unimep.br¹

André Luís Helleno, alhelleno@unimep.br²

¹Universidade Metodista de Piracicaba, Rod. Santa Bárbara/Iracemápolis, km 1, CEP 13.450-000 - Santa Bárbara d'Oeste – SP,

²Universidade Metodista de Piracicaba, Rod. Santa Bárbara/Iracemápolis, km 1, CEP 13.450-000 - Santa Bárbara d'Oeste – SP,

Abstract: *In the sculptured surface machining using the multi-axes milling, the creation of NC programs (Numerical Control) without problems such as collisions and violations of the limits of the machine tool axes, have as a consequence an elevated time for the verification of such proceedings. These proceeding usually use a machine tool for the NC program verification. An important tool to support the verification of NC program and improve the security of the machining is the virtual machining simulation. This paper shows the importance of the virtual machining simulation inside the machining process with multi-axes machining, presenting the types of simulation and its main characteristics. This paper also demonstrate a case of the kinematics simulation of a virtual 5 axes milling that allows the optimization in the creation of NC program and reducing of the time to check this program.*

Keywords: *Sculptured surface machining, Virtual simulation, 5 axes milling.*