



**19 Congresso de Iniciação Científica**

**GERAÇÃO DA TRAJETÓRIA DA FERRAMENTA NA MANUFATURA DE SUPERFÍCIES COMPLEXAS BASEADA DIRETAMENTE DO MODELO CAD**

**Autor(es)**

---

CAMILA CLEMENTE DE BARROS

**Orientador(es)**

---

ANDRÉ LUÍS HELLENO

**Apoio Financeiro**

---

PIBITI/CNPQ

**1. Introdução**

---

A evolução dos Sistemas CAD (Computer Aided Design) na direção do modelamento e manipulação de superfícies complexas, associado às novas exigências funcionais e estéticas no desenvolvimento do produto, impulsionam a inserção cada vez maior da representação geométrica através de superfícies complexas.

Atualmente, tais superfícies podem ser encontradas em produtos com requisitos funcionais, como por exemplo, em componentes aerodinâmicos aplicados na indústria aeronáutica, em próteses cirúrgicas e em componentes com características ópticas (CHOI, 1998), ou em produtos com requisitos estéticos para a satisfação do cliente, como os produtos do setor automobilístico e eletroeletrônico. Para esses, a representação geométrica através de superfícies complexas é utilizada como fator determinante no lançamento de novos produtos.

Nesse cenário, a manufatura de superfícies complexas surge como destaque no ciclo de desenvolvimento do produto, uma vez que os processos tradicionais não são capazes de atender os novos requisitos relacionados com o tempo de fabricação e custos, tornando-se assim um fator limitante desse ciclo.

Em função disso, há uma busca de avanços tecnológicos na manufatura de superfícies complexas capazes de aumentar a eficiência do processo, principalmente com relação ao fresamento de moldes e matrizes. Esse processo apresenta grande demanda pelas indústrias automobilística e de eletroeletrônico e, é determinante com relação ao tempo de manufatura acarretando limitações na necessidade da redução do ciclo de desenvolvimento do produto.

Dentre tais avanços tecnológicos, a Tecnologia HSC (High Speed Cutting) tem apresentado as maiores contribuições para a melhora da eficiência desse processo de manufatura, principalmente pelo fato de apresentar como características a grande taxa de remoção de material, redução do tempo de fabricação e alta qualidade superficial, além de um conceito dinâmico que busca de forma contínua o aumento da velocidade atuante no processo.

Como conseqüência, o relatório estatístico da indústria Alemã de máquinas ferramentas em 2005 (VDM,2007), maior produtor mundial desse segmento, destaca, dentre outras coisas, a Tecnologia HSC como uma tendência nos processos fabricação, assim como, no desenvolvimento de máquinas ferramentas. Além da Tecnologia HSC, o relatório também aponta uma tendência em tecnologias que servem de suporte e impulsionam a Tecnologia HSC, tais como: Comandos Numéricos com alta performance, Integração da Cadeia CAD/CAM/CNC no processo de fabricação, Sistemas diretos de Acionamento (Motores Lineares), etc.

O fato da Tecnologia HSC ser suportada e impulsionada por outras tecnologias envolvidas no processo de manufatura (SCHULZ,1996) faz com que sua aplicação plena esteja diretamente relacionada com o efeito da aplicação conjunta dessas

tecnologias, que por sua vez, apresentam estágios distintos de desenvolvimento tecnológico. Com isso, a tecnologia com o menor grau de evolução resultará numa limitação tecnológica na aplicação da Tecnologia HSC.

Dentre as diversas tecnologias envolvidas na Tecnologia HSC, a trajetória da ferramenta gerada pelo Sistema CAM proporciona ao processo de fabricação características relacionadas diretamente com o tempo de usinagem e qualidade final do produto. Através dessa tecnologia pode-se impulsionar ou limitar a aplicação da Tecnologia HSC na manufatura de moldes e matrizes com altas velocidades. A falta de exigência dinâmica do processo associada à simplicidade matemática e facilidade de uso pelo programador transformou a representação da trajetória da ferramenta por segmentos de reta (Interpolação Linear) num padrão utilizado amplamente pelo Sistema CAM (LARTIGUE et al., 2001; HSU e YEH, 2001)

No entanto, com o aumento das exigências dinâmicas no processo resultante da aplicação da Tecnologia HSC surgem às diversas limitações da Interpolação Linear, principalmente quanto ao avanço de usinagem e à exatidão do modelo geométrico (LARTIGUE,2004; HAN,1999; SOUZA, 2004).

Han et al. (1999) destacam a limitação da velocidade de avanço em função da capacidade de processamento do comando numérico em interpretar e processar a grande quantidade de blocos de informação (Lookahead) resultantes da aplicação da Interpolação Linear em superfícies complexas.

Arnone (1998) aborda esse mesmo problema relacionando o tempo de processamento do Comando Numérico e o tamanho do segmento da trajetória da ferramenta. Regalbano (2004) e Stoh (2005) destacam, em seus estudos, a limitação da velocidade de avanço em função da desaceleração decorrente do ângulo de inclinação entre os segmentos de retas.

Em função disso, os métodos de interpolação da trajetória da ferramenta voltam a serem considerados na geração do programa NC e seus estudos têm sido abordados por diversos autores, através da pesquisa de novos métodos de interpolação da trajetória da ferramenta (LARTIGUE et al., 2004).

Dentre essas novas metodologias, a interpolação NURBS, na qual a trajetória da ferramenta será representada por de curvas baseadas em modelos matemáticos (COSTANTINI, 2000; PATRIKALAKIS, 2002), possibilita uma trajetória da ferramenta mais suave e precisa, tornando uma solução na usinagem com a Tecnologia HSC (LARTIGUE et al.,2001; CHENG et al., 2002; ERKORKMAZ et al., 2001).

No entanto, esses benefícios estão diretamente relacionados com a qualidade da trajetória da interpolação fornecida para a máquina ferramenta realizar os movimentos de usinagem. Qualidade esta, que é seriamente prejudicada pela utilização de tolerâncias de aproximação do Sistema CAM.

## 2. Objetivos

---

Esse projeto tem por objetivo avaliar os recursos do Sistema CAD na geração da trajetória da ferramenta diretamente para a máquina ferramenta, contribuindo assim, para a evolução do processo de manufatura de superfícies complexas através do Ciclo CAD/CAM/CNC, conforme ilustrado na figura 1.

## 3. Desenvolvimento

---

O corpo de prova utilizado para os ensaios experimentais apresenta, em sua geometria, superfícies complexas que atendem às características estudadas na cadeia CAD/CAM/CNC.

Para a geração da trajetória da ferramenta diretamente do modelo CAD foi utilizada a função “Project” e “Offset”, através das quais foi possível projetar uma linha sobre o modelo CAD, assim como deslocá-la de forma uniforme na distância do tamanho do Raio da ferramenta de corte (fresa esférica). Este deslocamento é necessário, pois na trajetória da ferramenta gerada diretamente do modelo CAD a ferramenta de corte será comanda em função do centro de seu raio.

Através da função “information” do Sistema CAD foi possível obter as informações da representação matemática da trajetória da ferramenta e , a partir disto, fazer a conversão para a linguagem utilizada no Comando Siemens 810D.

Para esta etapa de conversão foram avaliados dos tipos diferentes de comando para a a geração da interpolação Spline dentro do Comando Siemens 810D, as Funções BSPLINE e CSPLINE.

Para efeito de avaliação da geração da trajetória da ferramenta, foi gerada uma trajetória da ferramenta através da cadeia CAD/CAM/CNC considerando a mesma ferramenta de corte e a Interpolação Linear. O comportamento da velocidade de avanço ao longo da trajetória da ferramenta foi utilizado para avaliar as diferentes trajetórias da ferramenta

Além disso, os ensaios foram realizados com duas diferentes velocidades de avanço, 3.000 e 5.000 mm/min.

Para a realização dos ensaios utilizou-se um centro de usinagem vertical, modelo Discovery 760, fabricado pelas Indústrias ROMI S.A.

## 4. Resultado e Discussão

---

Ao observar a Figura 2 e 3, respectivamente, o comportamento da velocidade de avanço ( $V_a$ ) para as velocidades de 3.000 e 5.000 mm/min pode-se observar que:

- As interpolações Spline descritas com os comandos BSPLINE e CSPLINE tiveram comportamento similar em ambos os casos;
- Em relação à Interpolação Linear, os benefícios da interpolação Spline somente foram observados em condição de alta velocidade de avanço ( $V_a=5.000$  mm/min).

## 5. Considerações Finais

---

Com este trabalho, foi desenvolvido um sistema de geração da trajetória da ferramenta diretamente do Sistema CAD, considerando uma ferramenta de corte esférica.

O sistema mostrou-se viável, porém questões sobre a exatidão geométrica da trajetória da ferramenta, assim como, o método para gerar todas as curvas que compõem uma estratégia de usinagem ainda serão temas a serem explorados em trabalhos futuros.

## Referências Bibliográficas

---

- CHOI, B.K.; JERARD, R.B. Sculptured Surface Machining - Theory and applications. Netherlands, Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1998. 368 p. ISBN 0-412-78020-8.
- SCHULZ, H. Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. Germany, München: Carls Hanser Verlag, 1996. 286 p. ISBN 3-446-18796-0
- VDM: The German Machine Tool Industry in 2005. VDW sector report 2005. Disponível em: [http://www.vdw.de/web-bin/owa/homepage?p\\_bereich=leistungsangebot&p\\_menu\\_id=1000000025&p\\_zusatzdaten=bw\\_zeige\\_ordner&p\\_zusatz\\_id=283&p\\_sprache=e](http://www.vdw.de/web-bin/owa/homepage?p_bereich=leistungsangebot&p_menu_id=1000000025&p_zusatzdaten=bw_zeige_ordner&p_zusatz_id=283&p_sprache=e). Acesso em: 05 fev.2007.
- LARTIGUE, C.; THIEBAUT, F.; MAEKAWA, T. CNC tool path in terms of B-spline curves. Computer Aided Design, v. 33, p. 307-319, 2001.
- HSU, L.; YEH, S.S. Adaptive feedrate interpolation for parametric curves with a confined chird error. Computer Aided Design, v. 34, p. 229-237, 2002.
- LARTIGUE, C.; TOURNIER, C.; RITOU, M.; DUMIR, D. High performance NC for HSM by means of Polynomial Trajectories. In: Annals of the CIRP, v. 53, n. 1, 2004.
- HAN, G.C. ET AL. High speed algorithm for CNC machine tools. IECON Proceedings, v. 3, p. 1493-1497, 1999.
- SOUZA, A. F. Contribuicoes ao fresamento de geometrias complexas aplicado a tecnologia de usinagem com altas velocidades. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – EESC-USP, 2004.
- REGALBUTO, R. Empirische Untersuchungen zum Vergleich von linear- und NURBS-interpolierten NC-Programmen. Diplomarbeit – Technische Universität Darmstadt, Germany, 2004.
- ARNOME, A. High Performance Machining. USA, Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 1998. ISBN 1-56990-246-1.
- STROH C.; ABELE, E. NURBS based Tool Path generation. In: X SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE ALTA TECNOLOGIA. Piracicaba. 2005. p. 49-68.
- CHENG, M.Y; TSAI, M.C.; KUO, J.C. Real time NURBS command generators for cnc servo controllers. International Journal of Machine tools & manufacture, v. 42, p. 801-813, 2002.
- PATRIKALAKIS, N.M.; MAEKAWA, T. Shape Interrogation for Computer Aided Design and Manufacturing. USA, New York: Springer, 2002. ISBN 3-540-42454-7.
- COSTANTINI, P. Curve and surface construction using variable degree polynomial splines. Computer Aided Geometric Design, v. 17, p. 419-446, 2000.
- ERKORKMAZ, K.; ALTINTAS, Y. High Speed CNC system design. PartI: jerk limited trajectory deneration and quintic spline interpolation. International journal of Machine tools & manufacture, v. 41, p. 1323-1345, 2001.

## Anexos

---



