

INSERÇÃO DA INTERPOLAÇÃO SPLINE NA MANUFATURA DE SUPERFÍCIES COMPLEXAS¹

Marco Aurélio Garrido Priore²
André Luís Hellenó²
Renato Luís Garrido Monaro²

Resumo

Atualmente a globalização vem refletindo em um aumento exponencial de competitividade em todos os ramos de mercados, o que resulta para as empresas um investimento na direção de melhoria da qualidade do produto, reduções de custos e tempo de fabricação. Estudos recentes mostram que o processo de usinagem de superfícies complexas atual, através da trajetória da ferramenta sendo representada por Interpolação Linear, está cada vez mais defasado quando se comparado com a Interpolação Spline, uma vez que a Interpolação Linear se torna inviável na representação de superfícies complexas devido à dificuldade de se manter a geometria da peça respeitando os limites de tolerâncias, exatidão geométrica e tempo de usinagem. Como sabe-se, Interpolação Linear é a trajetória da ferramenta baseada em segmentos de retas, já na Interpolação Spline a trajetória da ferramenta é representada por um modelo matemático capaz de gerar trajetória de uma superfície complexa através de segmentos de curvas. Utilizando o Sistema CAM para representar a trajetória da ferramenta, observa-se que além das tolerâncias que o próprio Sistema CAM necessita, uma nova tolerância, chamada tolerância NURBS, é necessária quando se usa Interpolação Spline. Em virtude disto, este artigo visou conhecer e compreender este método de Interpolação, analisando as influências desta tolerância Spline e integrá-lo como auxílio na indústria de moldes e matrizes. Para atingir esses objetivos, foi utilizado um corpo de prova cuja as características superficiais se assemelham ao utilizado em indústrias de moldes e matrizes. Posteriormente, foi feita a comparação do tempo de usinagem fornecido pelo Sistema CAM com o tempo real, a comparação da rugosidade superficial e a exatidão geométrica.

Palavras-chave: Interpolação Spline; Superfícies complexas.

INSERTION OF SPLINE INTERPOLATION IN THE MANUFACTURE OF COMPLEX SURFACES

Abstract

Currently, due to technological advance, the competition for the consumer market and territory in the manufacturing sector, is growing increasingly. Considering this, companies are investing very high on the issue of better product quality, low price and delivery time. With this growing companies are searching alternatives to improve the process of manufacturing its products. Because of this, recent studies show that the current method of machining by Linear Interpolation, is increasingly out of step when compared with Spline Interpolation. As is known, Linear Interpolation is the trajectory of the tool based on straight line segments, as Spline Interpolation is a mathematical model capable of generating complex trajectory of a complex surface by segments of curves. Using the CAM system as a tool for process simulation, we see that beyond the tolerances CAM system itself needs a new tolerance, called NURBS tolerance is needed when using Spline interpolation. Because of this, this project looks to know and understand this new method of interpolation, analyzing the influences of tolerance NURBS and integrate it as an aid in the manufacture of molds and dies. To achieve these objectives, we used a specimen whose surface characteristics are similar to that used in industrial molds and dies, and this was done with the machining of this specimen. Later, he was made to compare the machining time provided by the CAM system with real time, the comparison of surface roughness and geometric accuracy. Finally, taking into account the need of industries to accelerate the production process without letting quality fall, this project develops a method rarely used, improving it and integrating it in the string CAD / CAM / CNC.

Key words: Spline interpolation; Surface complex.

¹ Contribuição técnica ao 8º Encontro da Cadeia de Ferramentas, Moldes e Matrizes, 11 e 12 de agosto de 2010, São Paulo, SP.

² Universidade Metodista de Piracicaba – UNIMEP – Lab. SCPM, Rodovia Luiz Ometto, km 1 – 13451-900 Santa Bárbara d'Oeste - SP,
marco_garridopriore@yahoo.com.br, alhelleno@gmail.com, renato_lgmonaro@yahoo.com.br



1 INTRODUÇÃO

A busca constante em melhorias no processo de desenvolvimento de um produto levou a evolução dos Sistemas CAD na direção do modelamento e manipulação de superfícies complexas, associado às novas exigências funcionais e estéticas no desenvolvimento do produto. Com isso, houve uma grande inserção da representação geométrica através de superfícies complexas.⁽¹⁾

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.

Para obter-se a concepção de um produto e o projeto de fabricação, utiliza-se a cadeia CAD/CAM/CNC como base para o desenvolvimento do produto, tendo em vista sua fácil adaptação, entendimento e praticidade. O Sistema CAD é onde se obtém a concepção do produto e projeto de fabricação, ou seja, onde é modelada a peça.

Já o sistema CAM, é responsável pela simulação do processo de manufatura, onde se inclui os parâmetros necessários como: estratégia de corte a ser utilizada, velocidade de corte e de avanço, tipo de ferramenta, tolerâncias etc. Posteriormente à simulação, é gerado o programa NC correspondente à trajetória da ferramenta na superfície da peça.

Nesse sentido, a trajetória da ferramenta gerada pelo Sistema CAM proporciona ao processo de fabricação características relacionadas diretamente com o tempo de usinagem, qualidade final e exatidão geométrica. Através dessa tecnologia pode-se impulsionar ou limitar a manufatura de superfícies complexas. Dentre as diversas metodologias de geração da trajetória da ferramenta, a interpolação Spline, possibilita uma trajetória da ferramenta mais suave e precisa, tornando-se uma solução na usinagem de superfícies complexas.⁽²⁾

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.

Para melhor entendimento, a Figura 1 ilustra o processo de manufatura desde a concepção do modelo geométrico até o produto final. Este processo é mais conhecido como ciclo CAD/CAM/CNC.

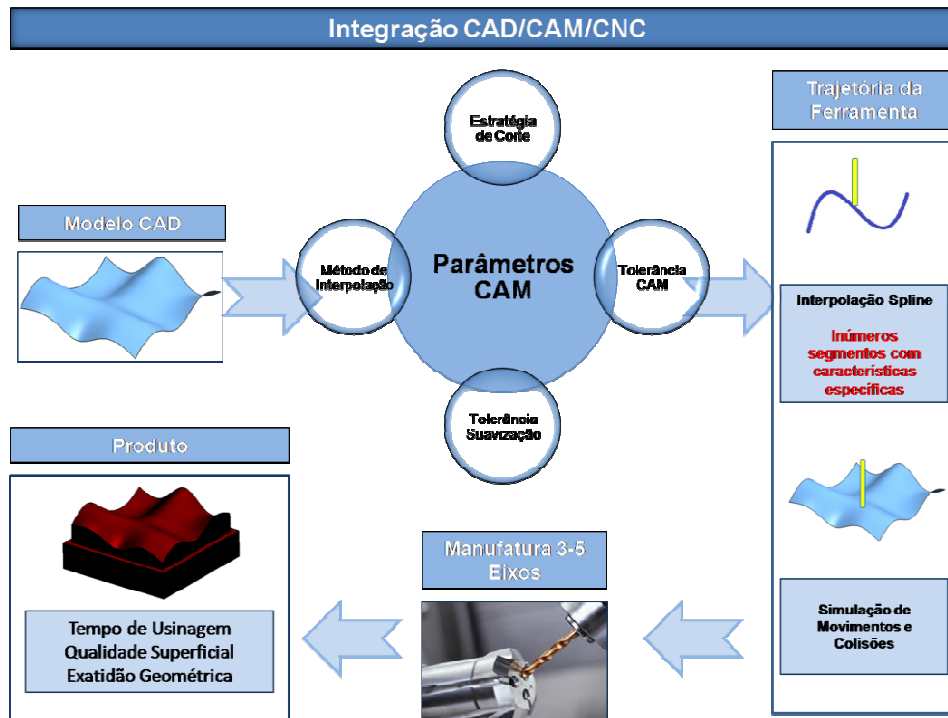


Figura 1: Integração CAD/CAM/CNC na manufatura de superfícies complexas.

Atualmente, as indústrias utilizam como trajetória da ferramenta a Interpolação Linear, que representa a superfície da peça através de segmentos de retas que melhor se adaptam a faixa de tolerância definida pelo programador.

Porém, para manufatura de superfícies complexas, a utilização da Interpolação Linear se torna limitada, uma vez que para respeitar a geometria da peça dentro da faixa de tolerância desejada, a trajetória da ferramenta será representada por pequenos segmentos de retas que resultarão em reduções da velocidade de usinagem.⁽³⁾

Assim, identificando estes problemas, dentre as características deste método pode-se ressaltar:⁽⁴⁾

- é o método de mais simples aplicação na indústria devido ao uso de formas matemáticas bastante simples;
- baixa qualidade de acabamento devido ao “facetamento” da superfície usinada, principalmente para grandes tolerâncias no Sistema CAM;
- quanto menor for a tolerância no Sistema CAM, maior será o número de segmentos de retas gerados para a trajetória da ferramenta; e
- programas NC extensos.

Dentro desta perspectiva, a Interpolação Spline 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.

NURBS (*Non-Uniform Rational B-Spline*) é um modelo matemático baseado no modelo B-Spline, com algumas modificações que permitem, entre outras coisas, que os vértices do polígono de controle influenciem na curva de forma não uniforme, sendo possível determinar a intensidade que cada ponto de controle atrai a curva.⁽⁵⁾

Estas características permitem gerar inúmeras possibilidades de curvas para os mesmos pontos de controle, proporcionando ao projetista total manipulação da curva.⁽⁶⁾

Dentre as características da aplicação deste método de interpolação na geração do programa NC, pode-se ressaltar:

- programas NC extremamente menores em relação aos da interpolação linear em decorrência da necessidade de um número reduzido de pontos para representar a mesma superfície;
- redução do tempo de usinagem, principalmente em superfícies complexas, já que a velocidade de avanço real se aproxima da velocidade de avanço programada;
- os segmentos de retas são substituídos por curvas eliminando os problemas decorrentes do tempo de processamento de dados e picos de aceleração e desaceleração; e
- melhor acabamento superficial.

2 OBJETIVOS

Este artigo teve como foco conhecer e compreender este novo método de Interpolação, analisando as influências desta tolerância NURBS e integrá-lo como auxílio na manufatura de superfícies complexas. Tal integração depende primeiramente do modelo CAD, que será a geometria do produto, posteriormente no sistema CAM serão inseridos os parâmetros de usinagem como estratégia de corte, modelo de interpolação e tolerâncias. Após definidos os parâmetros, define-se o tipo de trajetória da ferramenta para que se possa iniciar a fabricação do produto.

3 DESENVOLVIMENTO

O corpo de prova, Figura 2, utilizado nos ensaios experimentais baseia-se em modelos que se assemelham ao utilizado nas indústrias, onde há em suas características, curvas complexas, regiões côncavas e convexas.

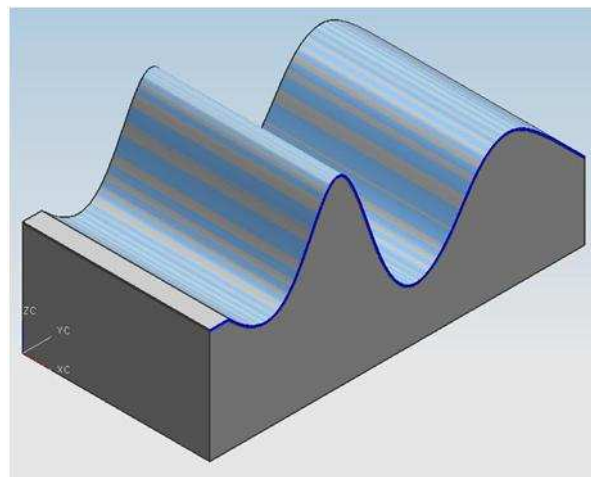


Figura 2: Corpo de prova.

A Figura 3 ilustra o modelo matemático utilizado para desenvolver este corpo de prova.

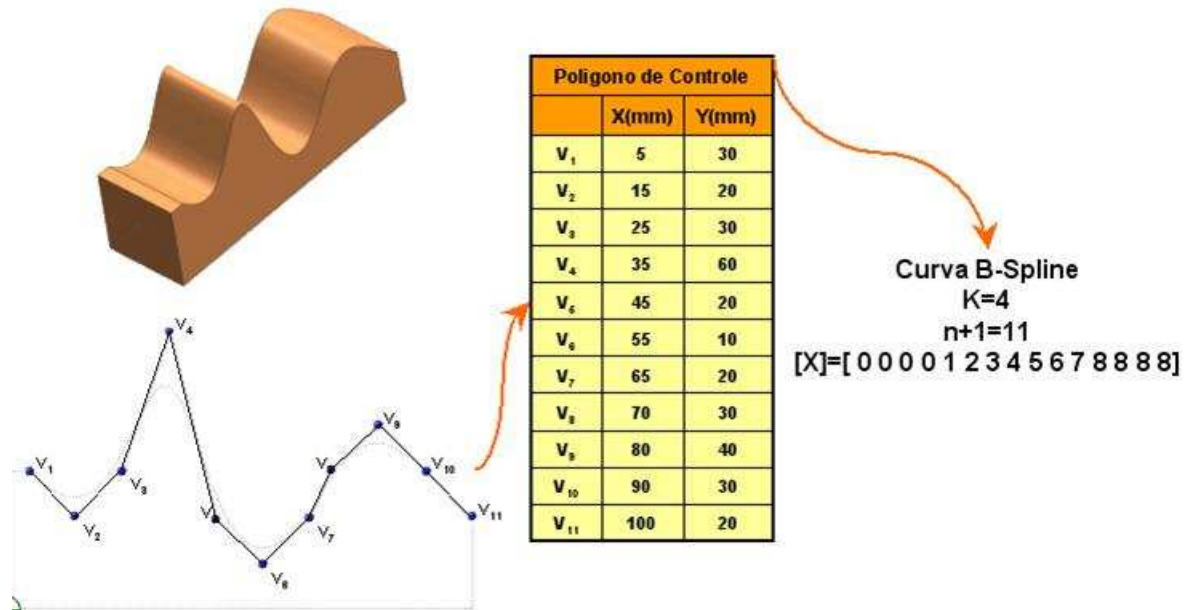


Figura 3: Modelo matemático do corpo de prova.

Para a realização dos ensaios utilizou-se um centro de usinagem, modelo Discovery 760, fabricado pelas Indústrias ROMI S.A., apresentando as seguintes especificações técnicas:

- avanço rápido: 25.000 mm/min;
- rotação máxima: 10.000 rpm;
- máximo avanço programável: 5.000 mm/min; e
- comando Siemens 810D configurado especialmente devido à solicitação do SCPM.

Para chegar aos resultados, tendo como base o corpo de prova acima, deve-se iniciar o processo de usinagem através do desbaste. O desbaste tem a finalidade de remover o maior material possível sem se preocupar com a uniformidade do sobremetal deixado para as operações posteriores. Para esta operação foi utilizada a ferramenta de topo com diâmetro de 12mm.

A Figura 4 ilustra a operação desbaste simulada no Sistema CAM.

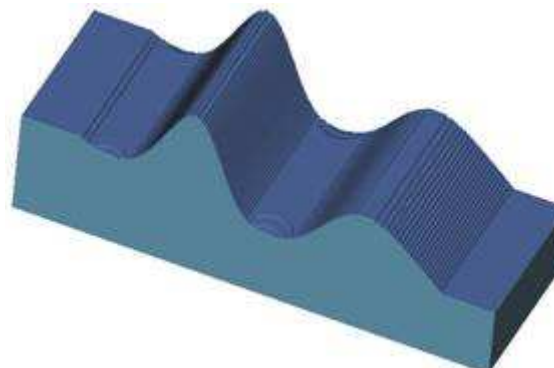


Figura 4: Operação desbaste virtual.

A próxima etapa foi o pré-acabamento, onde busca-se a remoção do sobremetal deixado pelo desbaste a fim de aproximar-se da geometria do modelo, obtendo-se um sobremetal mais uniforme para o acabamento, evitando assim esforços desnecessários para as ferramentas posteriores. A Figura 5 ilustra a simulação do pré-acabamento.

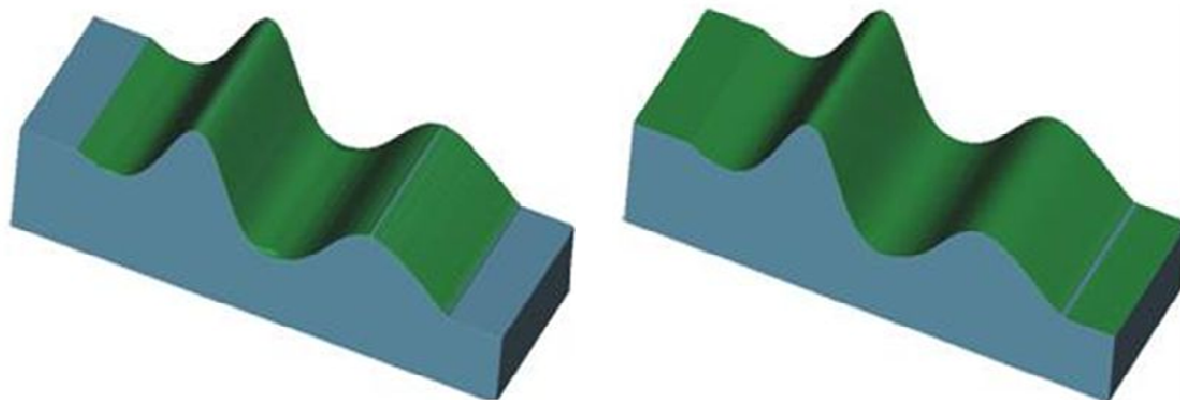


Figura 5: Simulação do pré-acabamento.

Para que se tenha um melhor desempenho na usinagem, necessita-se entender e compreender diversos fatores como estratégia de usinagem, ferramenta, tipo de material e parâmetros de usinagem.

Tendo em vista isto, após feito toda a usinagem da peça até o pré-acabamento, foi feita uma divisão do corpo de prova para realizar o acabamento. Então a peça foi dividida em cinco faixas e cada uma contendo uma estratégia de corte (ou usinagem) e uma tolerância específica, como visto na Figura 6.

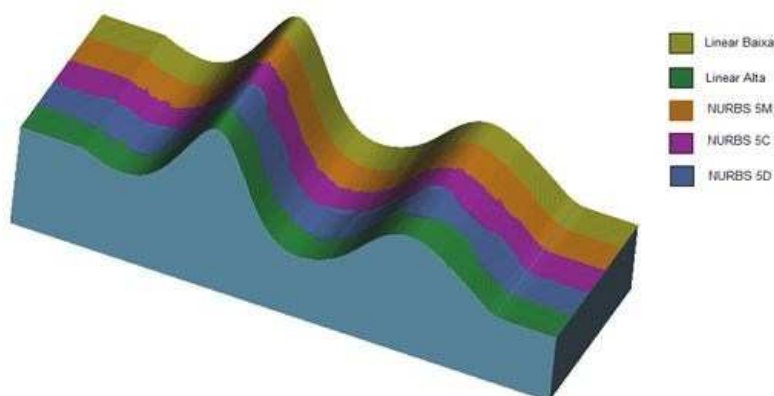


Figura 6: Corpo de prova com as respectivas faixas.

Na primeira faixa utilizou-se interpolação linear (segmentos de reta) para representar a superfície da peça, com uma tolerância baixa. As análises feitas mostram que apesar do programa NC ter ficado razoavelmente extenso e com isso submeter a uma usinagem mais demorada, seu acabamento superficial ficou com alta qualidade e precisão geométrica.

Na segunda, terceira e quarta faixa, utilizou-se interpolação spline (segmentos de curvas) para representar a superfície da peça, com uma tolerância de 0,005 mm, 0,05 mm e 0,5 mm, respectivamente. Através de uma análise visual, notou-se que a qualidade superficial entre as três faixas não mudaram tanto, mas as mesmas, comparada com a primeira, têm aspecto um pouco inferior na qualidade do acabamento. Porém, o programa NC da interpolação Spline (NURBS) ficou bem menor comparado ao linear e também o tempo de usinagem ficou cerca de 6 vezes mais rápido.

A quinta e última faixa ocorreu um erro onde não foi possível detectar. Portanto esta última faixa não foi incluída nas análises.

A Figura 7, ilustra o acabamento do corpo de prova real com suas respectivas faixas e diferentes estratégias.



Figura 7: Acabamento final real.

Depois de usinado o corpo de prova, foi feita Para fazer uma análise entre a variação da velocidade ao longo da trajetória e a posição do eixo X, foi preciso gerar um programa onde apenas uma linha de cada faixa fosse gerada. Depois de feito o programa, foi usinado em vazio na máquina para colher os parâmetros R gerado pela mesma, para assim iniciar as análises.

Um detalhe que deve ser observado é a questão de a máquina poder guardar somente 99 parâmetros. Pelo fato da peça ter um tamanho de 130 mm e a coleta dos dados a cada 1 mm foi preciso retirar 15 mm no início e 15 mm no final do programa NC para que o programa que fará a coleta de dados consiga recolher os parâmetros da superfície complexa.

4 RESULTADOS

A Figura 8 ilustra a velocidade real da interpolação linear no decorrer da superfície e também a variação da velocidade em relação a posição da Interpolação Spline no decorrer da superfície. Foi observado que a interpolação linear teve um desempenho variado ao longo da superfície. Já a Interpolação Spline, com a variação de tolerância, mostra que as quedas de velocidades ocorrem quando há junção entre os segmentos de curvas.

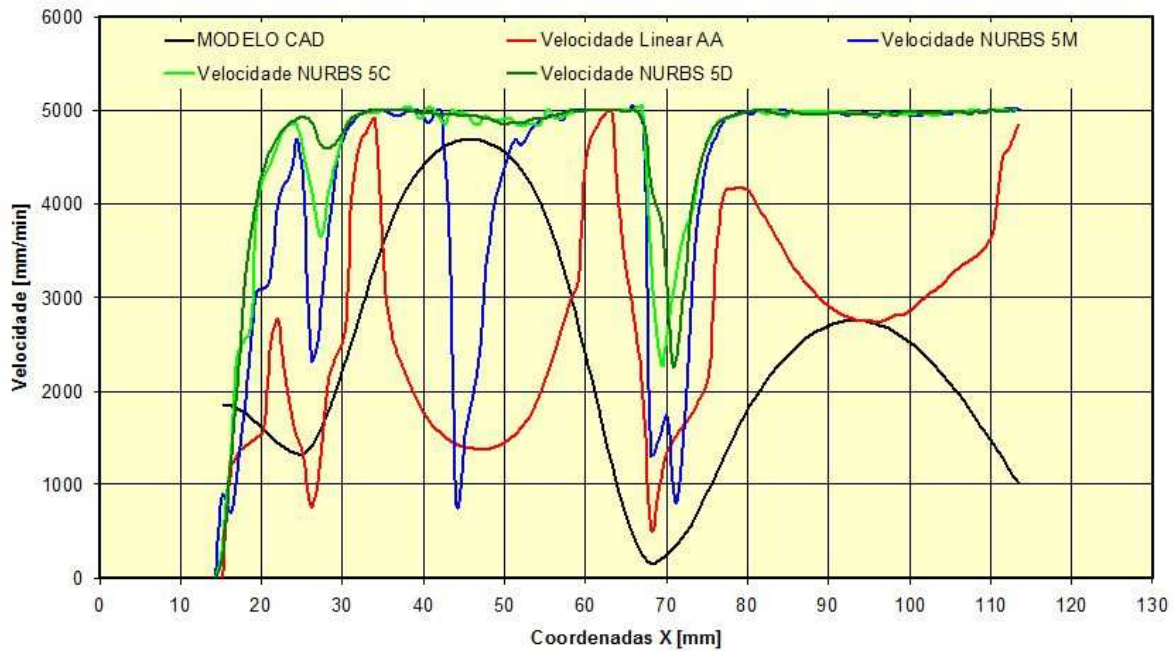


Figura 8: Gráfico de velocidade comparado com modelo geométrico.

Analisando as regiões de 25 mm, 43 mm e 70 mm, pode-se observar variações entre as Interpolações Splines. Observando o programa NC, na Figura 9, pode-se analisar as seguintes distinções entre as Interpolações, o que pode indicar o motivo pelo qual isso ocorreu. No trecho 43 mm observou-se que a única variação foi justamente na pequena distancia entre os knots (vértices do polígono de controle). O mesmo ocorre na região 25 e 70, com suas respectivas distancias devido á tolerância.

N0360 X43.325 Y36. Z-2.369 PL=.0065
 N0370 X43.418 Y36. Z-2.345 PL=0.
 N0380 BSPLINE X43.511 Y36. Z-2.323 F5000. PL=0. SD=3.
 N0390 X43.669 Y36. Z-2.286 PL=.0059
 N0400 X44.26 Y36. Z-2.165 PL=.0059

Trecho Spline 5M

N0190 X38.772 Y27. Z-3.663 PL=.3167
 N0200 X43.164 Y27. Z-2.411 PL=0.
 N0210 BSPLINE X44.733 Y27. Z-1.976 F5000. PL=0. SD=3.
 N0220 X47.141 Y27. Z-1.935 PL=.1108
 N0230 X51.04 Y27. Z-3.298 PL=.049

Trecho Spline 5C

N0130 X34.261 Y18. Z-5.632 PL=.631
 N0140 X43.164 Y18. Z-2.411 PL=0.
 N0150 BSPLINE X47.143 Y18. Z-.809 F5000. PL=0. SD=3.
 N0160 X59.893 Y18. Z-8.368 PL=.253
 N0170 X60.821 Y18. Z-25.081 PL=.6687

Trecho Spline 5D

Figura 9: Programa NC NURBS, trecho 43 mm.

Observando o gráfico, tirou-se a conclusão que a Interpolação Spline conseguiu chegar mais próximo da velocidade programada e em alguns pontos mantê-la

constante. Isso indica que o tempo de usinagem também é muito parecido com o tempo simulado no software.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Observando o cenário mundial, a tendência é a busca cada vez mais de tecnologia e suporte técnico para que seja alcançada a máxima otimização do processo de fabricação. Pode-se concluir que a utilização de softwares para auxiliar a manufatura de um modo geral, é hoje indispensável para quem almeja obter o máximo de lucro e qualidade em seus produtos.

É possível analisar para cada caso específico, qual método é mais eficiente e qual estratégia é a melhor opção. Observa-se que a Interpolação Spline através da utilização de NURBS é mais vantajosa em termos de otimização de processo.

Analisando o programa NC da Interpolação Spline, constatou-se que há curvas de menor tamanho e curvas com tamanhos maiores. Se as curvas são maiores, significa que há menos segmentos de curva e assim diminuindo o tempo de usinagem. No entanto, ao contrario, levará mais tempo para ser usinado a peça, pois haverá mais segmentos de curvas. O fato de ter mais curvas, quer dizer que o programa ficará mais longo e mais demorado e neste caso o tempo de leitura da máquina é um fator limitante neste processo.

Com os dados obtidos nos gráficos de velocidades, observou-se em algumas regiões uma grande queda da velocidade. Mas, através do gráfico, ainda não foi possível determinar que variável ou fator que gerou tal queda, então busca-se algo na análise do programa NC e constatou-se que a variação está diretamente relacionada com o tamanho do vértice do polígono de controle que representa a curva.

REFERÊNCIAS

- 1 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.
- 2 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.
- 3 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.
- 4 Arnome, A. High Performance Machining. USA, Cincinnati: Hanser Gardner Publications, 1998. ISBN 1-56990-246-1.
- 5 Mahon, Mc.; Browne, J. CAD/CAM from Principles to Practice. UK, Suffolk: Addison-Esley, 1993. 508 p. ISBN 0-201-56502-1
- 6 Costantini, P. Curve and surface construction using variable degree polynomial splines. Computer Aided Geometric Design, v. 17, p. 419-446, 2000.