

ESTUDO DO TEMPO DE FRESAMENTO DE FORMAS COMPLEXAS MANTENDO A VELOCIDADE DE CORTE E AVANÇO POR ARESTA CONSTANTE

Rodrigo Berretta Käsemödel

Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Joinville – R. Dona Francisca, 8300 – Bl. U – Joinville/ SC – Brasil - 89.219-600
rb.kasemodel@gmail.com

Rodrigo Voigt

Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Joinville – R. Dona Francisca, 8300 – Bl. U – Joinville/ SC – Brasil - 89.219-600
rodrigo.voigt@ufsc.br

Felipe Marin

Universidade do País Vasco – UPV/EHU, Bizkaia, Espanha
flpmarin@gmail.com

Adriano Fagali de Souza

Universidade Federal de Santa Catarina - Campus Joinville – R. Dona Francisca, 8300 – Bl. U – Joinville/ SC – Brasil - 89.219-600
Adriano.fagali@ufsc.br

Resumo. A usinagem com ferramentas de ponta esférica é amplamente utilizada na fabricação de geometrias complexas, porém neste processo, o diâmetro efetivo se altera ao longo da trajetória de usinagem. Este trabalho teve como foco avaliar a influência de diferentes geometrias e trajetórias de ferramentas na redução do tempo de usinagem ao manter a velocidade de corte e avanço por aresta constante. Para manter estes parâmetros constantes foi utilizado o programa CAMSpeed®. As geometrias côncava, convexa e mista, de mesma área superficial, foram estudadas utilizando em cada uma delas as estratégias contorno de periferia, passes paralelos e espiral. Os testes foram realizados em uma máquina CNC três eixos sem remoção de material. Estudos de ANOVA mostraram que tanto a geometria como a trajetória têm influência no tempo de usinagem, porém, apenas a trajetória possui influência sobre os ganhos obtidos com a utilização do programa CAMSpeed®. Os resultados apontaram que para todos os casos houve redução no tempo, e que a média dos ganhos foram de 30%. Ao combinar a trajetória de menor tempo, contorno de periferia, com a utilização do programa CAMSpeed®, para a geometria côncava, obteve-se um ganho de 59% em comparação com a trajetória de maior tempo, espiral, sem a utilização do programa.

Palavras chave: Fresa de ponta esférica. Geometria complexa. Diâmetro efetivo. Tempo de usinagem. ANOVA.

1. INTRODUÇÃO

No processo de fresamento de acabamento de produtos com geometrias complexas, ferramentas de ponta esférica são comumente utilizadas (Chen e Shi, 2008), porém neste processo, o ponto de contato ferramenta-peça e, consequentemente, do diâmetro efetivo alteram-se ao longo da trajetória de usinagem, causando oscilações nas condições de corte. Este problema pode ser amenizado com o uso de máquinas cinco eixos, porém a maior parte da indústria utiliza máquinas três eixos, devido principalmente, ao custo de aquisição e operação (Souza e Albano, 2012).

Mesmo com a melhoria do processo de usinagem proporcionada pelo surgimento de máquinas cinco eixos de alta precisão e velocidade, estudos que tratam da modificação de parâmetros de corte e uso de diferentes trajetórias ainda são temas amplamente discutidos na literatura por afetarem de forma significativa a qualidade final da peça. O aumento da qualidade de um processo de usinagem pode ser avaliado tanto do ponto de vista da diminuição de força de corte e tempo de usinagem, quanto por maiores taxas de remoção de material e vida útil da ferramenta (Arrazola *et al.*, 2013). A influência da força de usinagem é amplamente estudada por que ela atua diretamente na qualidade da superfície usinada, no erro de forma e consequentemente na precisão dimensional (Wojciechowski *et al.* 2018).

Diversos autores propuseram formas de aperfeiçoar o processo através do controle da força de usinagem reduzindo, também o tempo de ciclo, principalmente devido a alterações de avanço ao longo da execução dos programas. Salami *et al.* (2007), por exemplo, desenvolveram uma rotina para otimizar o avanço em função da força de corte. A rotina ajusta a velocidade de avanço para o maior valor possível, limitando a força de corte à um valor estabelecido, sendo esta obtida através da relação proposta por Kienzle. Os autores constataram uma redução de até 10% do tempo de processo, entretanto, neste estudo o avanço por aresta varia dentro de um valor limitado pelo usuário.

Erkorkmaz *et al.* (2013) propuseram um método para ajustar o avanço e manter as forças de usinagem dentro de um valor limite. Para isso as características dinâmicas da máquina, como a aceleração e a derivada da aceleração, são consideradas. Neste estudo os autores alcançaram uma redução de 16% no tempo de processo, mas o avanço por aresta não é controlado. Park *et al.* (2018) propuseram um algoritmo para otimizar o avanço mantendo a força de usinagem dentro de um intervalo estabelecido. O algoritmo utiliza a taxa de remoção de material para estimar a força. Com isso foi obtido um ganho de 26% no tempo de usinagem.

As oscilações da força de corte ocorrem naturalmente durante a usinagem de formas complexas com ferramenta de ponta esférica, pois para cada ponto de contato existe uma faixa na qual o diâmetro efetivo varia e, portanto, uma diferente velocidade de corte (Wojciechowski *et al.* 2017). Devido a variação da velocidade de corte, as forças envolvidas no processo também variam, além disso, a instabilidade do processo aumenta com o contato da região central da ferramenta na peça, onde o corte acontece por uma combinação de cisalhamento e deformação plástica (Souza *et al.* 2014). Segundo Ma *et al.* (2018), menores oscilações na força de corte resultam em melhor qualidade da superfície usinada.

A complexidade de análise do fenômeno de corte levou Kaymakci e Lazoglu (2008) a desenvolver um programa para calcular as forças e deflexão da ferramenta em cada ponto de contato, possibilitando estimar o erro de forma da superfície usinada. O programa apenas analisa as regiões não oferecendo nenhuma solução de otimização. Outro trabalho que contribuiu para analisar melhor as regiões de contato ferramenta-peça foi o de Fan (2014), onde o autor apresentou uma equação para o cálculo da velocidade de corte que leva em consideração tanto a rotação quanto a translação da ferramenta. Neste estudo a rotina utilizada para o cálculo também aplica um gradiente de cor sobre superfície de modo a destacar as regiões de menor velocidade de corte, porém novamente nenhuma ação é tomada para minimizar os efeitos da variação da velocidade de corte.

Kim *et al.* (2002) estudaram formas de contornar este problema, propondo um algoritmo para analisar o diâmetro efetivo e modificar o programa CNC adicionando ao final de cada bloco um comando para alterar a rotação do eixo-árvore. Os autores afirmam ter reduzido a oscilação e a magnitude das componentes cartesianas da força de usinagem. Entretanto, o algoritmo utiliza equações para superfícies planas e não controla o avanço por aresta. Mikó e Beño (2013) realizaram experimentos de usinagem em superfícies cilíndricas, utilizando um programa CNC convencional e um programa CNC modificado, cuja velocidade de corte e avanço por aresta são mantidos constantes. Os melhores resultados de rugosidade da superfície foram obtidos ao utilizar o segundo programa. Contudo, os autores não abordam qual foi o método utilizado para modificar o programa.

Buscando consolidar as experiências obtidas pelos trabalhos citados acima e melhorar o processo de usinagem de formas complexas foi elaborado um estudo sobre o programa CAMSpeed®. Este programa modifica o código NC gerado por um sistema CAM, inserindo comandos para modificar a rotação do eixo árvore e velocidade de avanço ao final de cada bloco, quando necessário. Visando manter a velocidade de corte e avanço por aresta o mais constante possível ao longo da trajetória da ferramenta. Desta forma, o programa aumenta a rotação e velocidade de avanço nas regiões de pequeno diâmetro efetivo, diminuindo, conseqüentemente, o tempo de usinagem, conforme estudo realizado por Käsemodel (2019). Desta forma, o foco deste estudo é avaliar a influência de diferentes geometrias e trajetórias de usinagem no tempo de usinagem e na quantidade de modificações que o programa CAMSpeed® realiza.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

Para verificar a influência da geometria da peça nos ganhos obtidos ao usinar utilizando velocidade de corte constante, três geometrias de mesma área superficial (5031 mm²) foram projetadas: uma côncava; uma convexa; e uma geometria mista composta por regiões côncavas, convexas e planas. Optou-se por estas geometrias por representarem as principais condições de contato ferramenta-peça. Para analisar o impacto da trajetória no tempo de usinagem foram testadas três estratégias de acabamento diferentes: contorno de periferia, passes paralelos a 45° e espiral. Todos os parâmetros de corte, de velocidade e de geração de trajetória foram mantidos constantes entre as estratégias e estão disponíveis na Tab. 1. A ferramenta utilizada para a simulação dos movimentos da máquina foi de Ø16.0 mm com duas arestas de corte.

Tabela 1. Parâmetros utilizados para o cálculo da trajetória da ferramenta

Parâmetro	Valor	Parâmetro	Valor
a_e	0,3 mm	v_c	200 m/min
a_n	0,2 mm	Banda de tolerância	0,001 mm
f_z	0,15 mm/aresta	Rotação máxima	7500 rpm

Para manter a velocidade de corte constante ao longo da trajetória foi utilizado o programa CAMSpeed®, que está registrado junto ao INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) sob o número: 512018000766-0. Para utilizar este programa é preciso obter um arquivo com os vetores normais da superfície a ser usinada. Para isso, é utilizada uma rotina no aplicativo *Grasshopper*, ambiente programável do programa *Rhino3D*. Esta rotina gera uma nuvem de pontos e vetores normais sobre a superfície a ser usinada, utilizando o comando *SDivide*, próprio do aplicativo. Estes dados são exportados na forma de arquivo de texto (.txt) contendo seis colunas, sendo as três primeiras referentes às coordenadas do ponto e as demais referentes ao vetor normal naquele ponto. Adicionalmente, nesta rotina, é aplicada sobre superfície um gradiente de cores, conforme mostra a Fig. 1 (a-c), que permite visualizar a variação da velocidade de corte no ponto de contato

ferramenta-peça. Na figura, a velocidade efetiva de corte nominal é representada pela cor da superfície, sendo verde o valor próximo ao nominal e vermelho, valores próximos à zero. A Fig. 1 (d-e) apresenta de forma esquemática as trajetórias utilizadas.

O programa CAMSpeed® utiliza os vetores normais da superfície, obtido pela rotina anterior, para o cálculo do diâmetro efetivo em cada ponto de contato ferramenta-peça (CL), que é utilizado para o cálculo da velocidade efetiva de corte. Desta forma, o programa calcula, para cada ponto CL uma nova rotação e velocidade de avanço, a fim de manter a velocidade efetiva de corte e avanço por aresta constantes. Os comandos para alteração da rotação e velocidade de avanço são adicionados ao final do bloco do programa CNC somente quando a diferença entre a rotação calculada para o bloco atual e anterior for maior que 50 rpm. Como o diâmetro efetivo sempre será menor ou igual ao diâmetro nominal, a rotação corrigida será sempre maior ou igual a rotação nominal, assim como a velocidade de avanço, e com isso espera-se uma redução no tempo de fabricação.

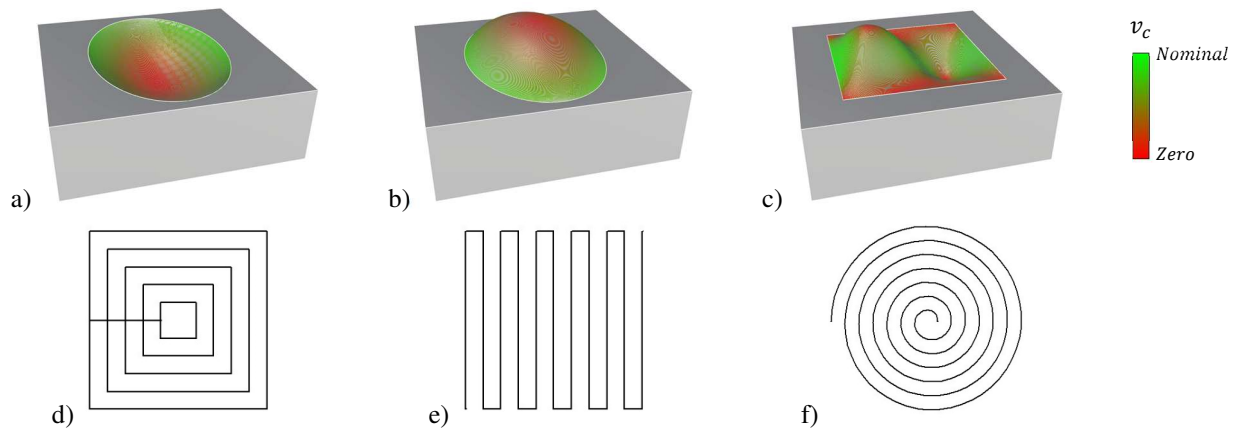


Figura 1. Modelos 3D das geometrias (a) côncava, (b) convexa e (c) mista após aplicação do gradiente de cor. Desenho esquemático da trajetória da ferramenta (d) contorno de periferia, (e) passes paralelos e (f) espiral.

Os ensaios foram realizados com a execução dos programas CNC em um centro de usinagem CNC três eixos ROMI D600 com comando numérico FANUC 0i-MC, apenas com a movimentação da máquina e verificação do tempo de execução, sem remoção de material. O tempo de execução de cada programa foi aferido na tela do comando numérico da máquina-ferramenta. Para verificar a influência da geometria, trajetória e do programa CAMSpeed® no tempo total de usinagem, foi realizada uma análise de variância (ANOVA), com intervalo de confiança de 95%. Ao todo foram realizados 18 experimentos, variando os níveis mostrados na Tab. 2. Neste experimento não se faz necessário o uso de réplicas, pois a movimentação da máquina apresenta uma boa repetibilidade.

Tabela 2. Delineamento experimental

Nível	Geometria	Trajetoória	Programa CNC
1	Côncavo	Contorno de periferia	Original
2	Convexo	Passes paralelos 45°	CAMSpeed®
3	Mista	Espiral	-

Todas as trajetórias foram calculadas utilizando interpolação linear (G01) e corte concordante, com exceção da trajetória de passes paralelos, em que o corte concordante/discordante é intrínseco da estratégia. O plano de segurança utilizado para o cálculo das trajetórias foi de 10 mm. O programa CAMSpeed® não altera a trajetória, apenas as velocidades de avanço e rotação, sendo assim, os programas “Original” e “CAMSpeed®” apresentados na Tab. 2 possuem exatamente a mesma trajetória e número de linhas.

Adicionalmente foi realizado um estudo para entender os ganhos percentuais obtidos com a utilização do programa CAMSpeed®. Neste estudo verificou-se primeiramente a influência número de alterações de rotação e avanço nos ganhos. Na sequência uma ANOVA foi realizada para verificar impacto da trajetória e geometria nos ganhos percentuais.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 2 apresenta o tempo de usinagem dos experimentos e o percentual de redução obtido ao utilizar o programa CAMSpeed®. Foi obtida uma redução média de 30%, sendo a menor redução de 20% para estratégia espiral na geometria côncava, e a maior redução de 40% para estratégia de contorno de periferia na geometria convexa. Analisando os tempos de usinagem para geometria côncava, observa-se uma variação de até 58,7% entre o maior e menor tempo.

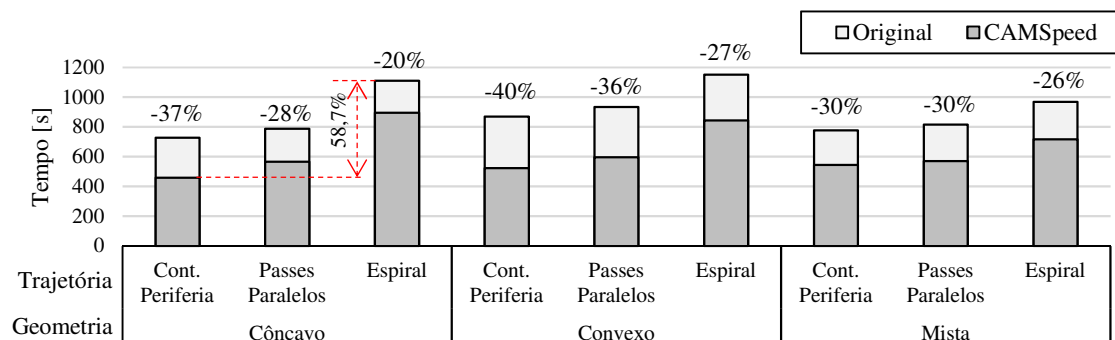


Figura 2. Tempo de usinagem de acordo com a estratégia, geometria e Programa CNC.

O uso da estratégia espiral resultou nos maiores tempos de processo e menores ganhos percentuais. Atribui-se a isto o fato de que nesta trajetória existe um grande número de movimentos em vazio (não-corte), devido a descontinuidade causada pelas constantes entradas e saídas da ferramenta necessárias para formar a geometria desejada sem se desviar do padrão em espiral da trajetória. Alguns programas CAM já dispõem de recursos que permitem a adaptação da trajetória espiral sobre a superfície a ser usinada, evitando assim estes movimentos em vazio.

O sistema CAM utilizado permite obter os valores teóricos de tempo para os movimentos de não-corte. As movimentações em não-corte são em movimento rápido (G00), portanto é esperada uma diferença pequena no tempo de execução destes movimentos entre os programas Original e CAMSpeed®. As trajetórias de contorno de periferia e passes paralelos não apresentam este tipo de movimento, já a trajetória espiral apresentou os seguintes tempos de movimentação em não-corte: geometria côncava – 01 minutos e 00 segundos; geometria convexa – 00 minutos e 55 segundos; geometria mista – 00 minutos e 46 segundos. No caso da subtração destes tempos do valor total obtido, os resultados da estratégia espiral se aproximam da estratégia de passes paralelos, o que corrobora para a afirmação de que os tempos de não-corte influenciaram negativamente no tempo de execução para trajetória espiral nas três geometrias testadas.

Por outro lado, as estratégias de passes paralelo e contorno de periferia apresentam os melhores resultados, pois estas mantêm a ferramenta em contato com a peça durante toda a usinagem. Pode-se relacionar este resultado ao fato de que o programa CAMSpeed® otimiza o avanço apenas quando a ferramenta está sobre a superfície a usinar. Observou-se, também, que a trajetória contorno de periferia apresenta os melhores resultados para as três geometrias, mesmo a estratégia de passes paralelos apresentando uma redução similar para a geometria mista.

Neste estudo foi utilizada velocidade de corte de 200 m/min e uma máquina de rotação máxima de 7500 rpm, porém espera-se que ao utilizar uma velocidade de corte menor ou uma máquina de maior capacidade os resultados possam ser ainda mais expressivos.

A Fig. 3 apresenta uma ANOVA, para um intervalo de confiança de 95%, para o tempo de usinagem em função da trajetória, geometria, Programa CNC e as interações entre estes fatores. Nesta análise verificou-se que o uso do programa CAMSpeed® é o fator de maior impacto no tempo, seguido pela trajetória e geometria. Apenas a interação entre trajetória e Programa CNC não apresenta influência nos resultados.

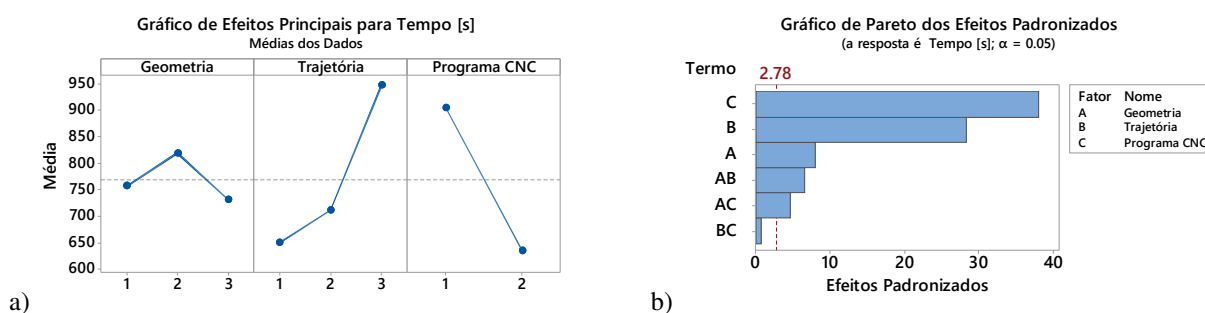


Figura 3. Análise de variância para o tempo de execução dos programas. (a) Efeitos principais e (b) Gráfico de Pareto.

Também pode ser observado que a trajetória exerce influência tão significativa quanto a utilização do programa CAMSpeed®, o que pode ser visualizado na Fig. 3b. Neste estudo ambas as variáveis apresentaram valor P de zero. Este resultado indica que a seleção da trajetória da ferramenta é algo que deve sempre ser estudado pelo operador.

A Fig. 3b também revela que existe uma interação entre a geometria e a trajetória da ferramenta (AB), em que a simples seleção da trajetória de menor tempo em conjunto com a geometria de menor tempo não resultará no menor tempo de fabricação, conforme pode ser visualizado na Fig. 2. Essa interação pode ser explicada pelo fato de a trajetória ser calculada com base na geometria. De forma semelhante existe uma interação entre AC (geometria-Programa CNC) uma vez que a geometria influencia no cálculo da trajetória, e esta exerce influência sobre os ganhos.

Com o objetivo de investigar os fatores que podem afetar os ganhos obtidos, analisou-se inicialmente a quantidade de linhas do programa CNC modificadas pelo programa CAMSpeed®, Fig. 4.

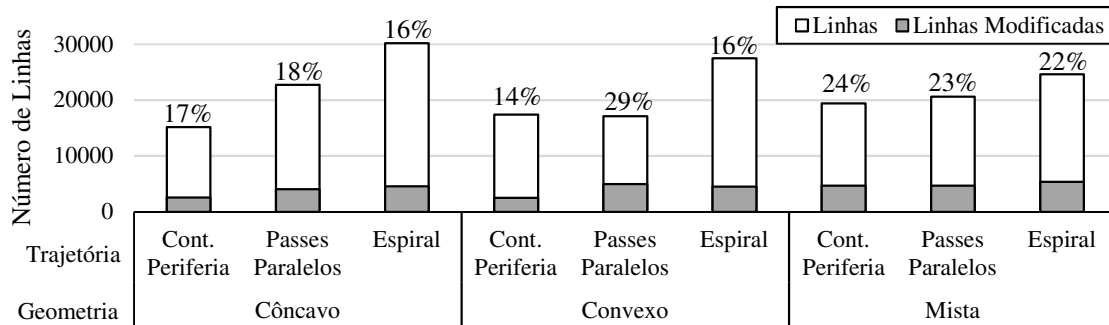


Figura 4. Número de linhas modificadas por programa.

Nesta análise é observado que para geometrias aproximadamente simétricas, como as geometrias côncava e convexa, as trajetórias Contorno de Periferia e Espiral apresentam menor quantidade de modificações. Porém, também é verificado que este fator não influencia nos ganhos obtidos pelo programa. A partir deste resultado sugere-se que não há redução da velocidade de avanço devido à quantidade de informação a ser processada pelo comando numérico. Por outro lado, Souza e Coelho (2007) mostram que oscilações na velocidade de avanço podem afetar negativamente a qualidade da superfície usinada, desta forma espera-se que um menor número de alterações resulte em uma melhor qualidade da superfície.

A Fig. 5 mostra o resultado da ANOVA para o ganho percentual no tempo em função da geometria e trajetória, onde observa-se que, a geometria não é significativa para a redução do tempo de execução, ao contrário da trajetória.

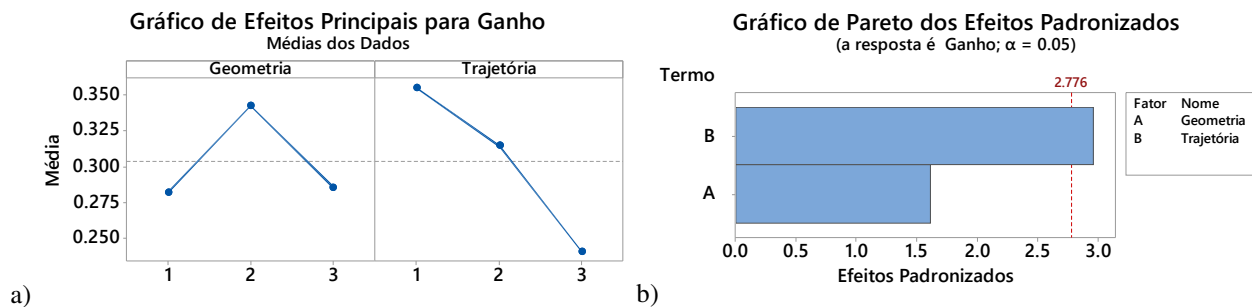


Figura 5. ANOVA da redução percentual do tempo de execução. (a) Efeitos principais e (b) Gráfico de Pareto.

A partir deste resultado pode se concluir que os ganhos podem ser otimizados com a correta seleção da trajetória. Neste estudo, a trajetória 1, Contorno de Periferia, apresentou os melhores resultados tanto em tempo (Fig. 2) quanto em ganho percentual (Fig. 5a). O fato de a geometria não impactar nos ganhos revela que o programa CAMSpeed® pode ser utilizado para qualquer aplicação, por exemplo, em geometrias altamente complexas como moldes e matrizes.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi investigada a influência da geometria e trajetória da ferramenta no tempo de usinagem utilizando programas CNC gerados por sistemas CAM convencionais e programas CNC otimizados com o programa CAMSpeed®. Também foi avaliado o impacto da quantidade de linhas modificadas, trajetória e geometria nos ganhos obtidos. A partir dos resultados podem ser elencadas as seguintes conclusões:

- Os programas com velocidade de corte e avanço por aresta constantes apresentaram reduções significativas no tempo de execução, esta redução variou de 20% a 40%, com média de 30,3%.
- A geometria a ser usinada não apresenta influência sobre os ganhos obtidos com o programa CAMSpeed®. Além disso, a trajetória da ferramenta pode afetar o tempo de usinagem no mesmo nível que o uso do programa. Ao combinar a escolha da trajetória de ferramenta mais eficiente e a utilização do programa CAMSpeed® (trajetória 1 e Programa CNC 2) obteve-se uma redução de tempo de usinagem de 58,7% em comparação com a pior combinação (trajetória 3 e Programa CNC 1), para a geometria 1.
- Os movimentos de não-corte influenciaram de forma significativa o tempo de usinagem na trajetória espiral. Nas trajetórias contorno de periferia e passes paralelos à 45° só há movimentos de não-corte no início e final da trajetória, permanecendo a ferramenta em contato com a peça durante toda a usinagem.
- A quantidade de linhas modificadas não apresenta influência sobre os ganhos obtidos, onde infere-se que a oscilação da velocidade de avanço devido à quantidade de informação a ser processada pelo comando numérico.

5. REFERÊNCIAS

- Arrazola, P. J., T. Özel, D. Umbrello, M. Davies, and I. S. Jawahir. 2013. "Recent Advances in Modelling of Metal Machining Processes." *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 62, p. 695–718.
- Chen, T. e Shi, Z., 2008. "A tool path generation strategy for three-axis ball-end milling of free-form surfaces". *Journal of materials processing technology*, Vol. 208, p. 259–263.
- Erkormaz, K., Layegh, S. E., Lazoglu, I. e Erdim, H., 2013. "Feedrate optimization for freeform milling considering constraints from the feed drive system and process mechanics". *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, Vol. 62, n. 1, p. 395–398.
- Fan, J., 2014. "Cutting speed modelling in ball nose milling applications". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 73, n. 1–4, p. 161–171.
- Käsemodel, R. B. 2019. *Sistema computacional para otimização do fresamento de formas complexas parametrizado pelas velocidades de corte e avanço*. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina. Joinville.
- Kaymakci, M. e Lazoglu, I., 2008. "Tool path selection strategies for complex sculptured surface machining". *Machining Science and Technology*, Vol. 12, n. 1, p. 119–132.
- Kim, K. K., Kang, M. C., Kim, J. S., Jung, Y. H. e Kim, N. K., 2002. "A study on the precision machinability of ball end milling by cutting speed optimization". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 130–131, p. 357–362.
- Ma, J., Song, D., Jia, Z., Hu, G., Su, W. e Si, L., 2018. "Tool-path planning with constraint of cutting force fluctuation for curved surface machining". *Precision Engineering*, Vol. 51, p. 614–624.
- Mikó, B. e Beño, J., 2013. "Effect of the Working Diameter to the Surface Quality in Free-Form Surface Milling". *Key Engineering Materials*, Vol. 581, p. 372–377.
- Salami, R., Sadeghi, M. H. e Motakef, B., 2007. "Feed rate optimization for 3-axis ball-end milling of sculptured surfaces". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 47, p. 760–767.
- Park, H., Qi, B., Dang, D. V. e Park, D. Y., 2018. "Development of smart machining system for optimizing feedrates to minimize machining time". *Journal of Computational Design and Engineering*, Vol. 5, n. 3, p. 299–304.
- Souza, A. F. e Albano, A. E., 2012. "Evaluating three and five axis milling technology applied to the mold manufacturing process". *Manufacturing Engineering*, Vol. 1, p. TP12PUB58.
- Souza, A. F. e Coelho, R. T., 2007. "Experimental investigation of feed rate limitations on high speed milling aimed at industrial applications". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 32, p. 1104–1114.
- Souza, A. F., Diniz, A. E., Rodrigues, A. R. e Coelho, R. T., 2014. "Investigating the cutting phenomena in free-form milling using a ball-end cutting tool for die and mold manufacturing". *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 71, n. 9–12, p. 1565–1577.
- Tuysuz, O., Altintas, Y. e Feng, H. Y., 2013. "Prediction of cutting forces in three and five-axis ball-end milling with tool indentation effect". *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, Vol. 66, p. 66–81.
- Wojciechowski, S., Maruda, R. W., Barrans, S., Nieslony, P. e Krolczyk, G. M., 2017. "Optimisation of machining parameters during ball end milling of hardened steel with various surface inclinations". *Measurement: Journal of the International Measurement Confederation*, Vol. 111, p. 18–28.
- Wojciechowski, S., Wiackiewicz, M. e Krolczyk, G.M., 2018. "Study on metrological relations between instant tool displacements and surface roughness during precise ball end milling". *Measurement*, Vol. 129, p.868–894.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

Os autores são os únicos responsáveis pelas informações incluídas neste trabalho.

STUDY OF THE MILLING TIME IN COMPLEX GEOMETRIES BY KEEPING CONSTANT THE CUTTING SPEED AND FEED PER TOOTH

Rodrigo Berretta Käsemödel

Federal University of Santa Catarina – Campus Joinville - R. Dona Francisca, 8300 – Bl. U – Joinville/SC – Brazil - 89.219-600
rb.kasemodel@gmail.com

Rodrigo Voigt

Federal University of Santa Catarina – Campus Joinville - R. Dona Francisca, 8300 – Bl. U – Joinville/SC – Brazil - 89.219-600
rodrigo.voigt@ufsc.br

Felipe Marin

University of the Basque Country – UPV/EHU, Biskaia, Spain
flpmarin@gmail.com

Adriano Fagali de Souza

Federal University of Santa Catarina – Campus Joinville - R. Dona Francisca, 8300 – Bl. U – Joinville/ SC – Brazil - 89.219-600
Adriano.fagali@ufsc.br

Abstract. *Ball-end milling is widely used to manufacture products with complex geometries. In this process the effective diameter changes along the toolpath. This work was focused on evaluating the influence of different geometry and toolpaths on machining time reduction by keeping cutting speed and feed per tooth constant. The CAMSpeed® software was used to keep the parameters constant. Concave, convex and complex geometries with the same surface area were studied, each one of them with follow-periphery, zig-zag, and spiral toolpaths strategies. The experimental procedure was carried out in a 3-axis CNC machine without material removal. The ANOVA results reveal that both geometry and strategy has influences in machining time, however only the strategy has influence into the gains obtained by CAMSpeed® software. The results reveal that, for all cases, there was a machining time reduction, and the mean of gains was 30%. By combining the fastest strategy, follow periphery, with CAMSpeed® software in concave geometry, was obtained a gain of 59% in comparison to the slowest strategy, spiral, without the software.*

Keywords: *Ball-end mill. Complex geometry. Effective diameter. Machining time. ANOVA*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the printed material included in this paper.