

INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE CORTE E PROFUNDIDADE DE USINAGEM SOBRE A TOLERÂNCIA DIMENSIONAL DURANTE O PROCESSO DE FRESAMENTO CNC

Jonathan Hartmann, jonathan_hartmann@estudante.sc.senai.br

Suelen Cristina Fenrich, suelen_fenrich@estudante.sc.senai.br

Eduardo Chiodini, eduardo_chiodini@estudante.sc.senai.br

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Bruna Freitas Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br

Faculdade SENAI Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

E-mail: anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Resumo. O presente trabalho tem como objetivo analisar a influência da velocidade (v_c) e profundidade de usinagem (a_p) no processo de desbaste por fresamento CNC, verificando a tolerância dimensional das peças usinadas. Para isso, foi utilizado um centro de usinagem Romi D600 e uma máquina de medir por coordenadas Mitutoyo Beyond 710 para a usinagem e medição, respectivamente. Foram usados dois valores de cada parâmetro, valores extremos fornecidos pelo fabricante da ferramenta. Ao total, foram usinadas 8 peças, sendo 4 condições e mais uma réplica. Analisando as medições, não foi constatado uma diferença significativa entre os valores das cotas lineares (cotas 01 e 02) e nas cotas circulares (cotas 03 e 04) houve uma diferença maior em comparação com a nominal. Com isso, como os valores encontrados ficaram abaixo da tolerância especificada, pode-se concluir que para esse trabalho o uso dos valores máximos dos parâmetros é uma alternativa devido ao tempo de usinagem menor, porém, a profundidade de usinagem com valor máximo teve maior influências nas cotas lineares e circulares.

Palavras chave: Velocidade de corte. Profundidade de usinagem. Fresamento CNC. Tolerância dimensional. Desbaste

1. INTRODUÇÃO

Indústrias buscam cada vez mais otimizar seus processos, com foco em reduzir custos no processo de fabricação, com destaque para a área metalmeccânica no setor de moldes e matrizes. As pequenas e médias empresas que trabalham com uma grande variedade de peças e produzem pequenos lotes, não percebem os custos de fabricação originados pela escolha incorreta dos parâmetros de usinagem. (SANTANA; COSTA, 2012)

De acordo com Boujelbene *et al* (2004), 30% do custo de um molde de injeção é relacionado a fabricação dos componentes e segundo Bonetti (2008), 51% desse tempo de fabricação corresponde ao processo de desbaste. Com isso é de suma importância o estudo neste processo, a fim de analisar possíveis maneiras de otimização do mesmo.

“Geralmente, as operações de desbaste ocorrem com menor velocidade de corte e com remoção da máxima quantidade de material suportado pela máquina e pela ferramenta [...]. Dessa maneira, podemos entender que as operações de desbaste conferem maior eficiência ao processo de usinagem”. (REBEYKA, 2016, p.36)

Com isso, o presente artigo tem como finalidade o estudo da influência da velocidade de corte e da profundidade de usinagem em peças fabricadas pelo processo de fresamento CNC, analisando a tolerância dimensional das peças usinadas, a fim de analisar qual deles apresenta impacto maior no tempo de desbaste e consequentemente no tempo de fabricação. Para o estudo, foram usados dois valores para cada parâmetro, conforme indicado pelo fabricante da ferramenta, e um planejamento fatorial 2^2 para a fabricação das peças teste. Os resultados foram analisados estatisticamente para determinar quais valores apresentaram maiores impactos no resultado final.

2. METODOLOGIA

Para a realização dos experimentos foram utilizadas uma fresadora CNC Romi, modelo D600, comando Siemens, um cabeçote de Ø20,0 mm com três insertos da marca Iscar, modelo T490 LNMx.0804PN-R, a mesma ferramenta foi utilizada em todas as usinagens, sem a necessidade de troca de insertos. O material bruto utilizado foram 8 peças de aço SAE 1020 quadradas, com as dimensões de 77,0 mm x 77,0 mm. A Figura 1 mostra o desenho do corpo de prova utilizado no estudo, com as dimensões analisadas.

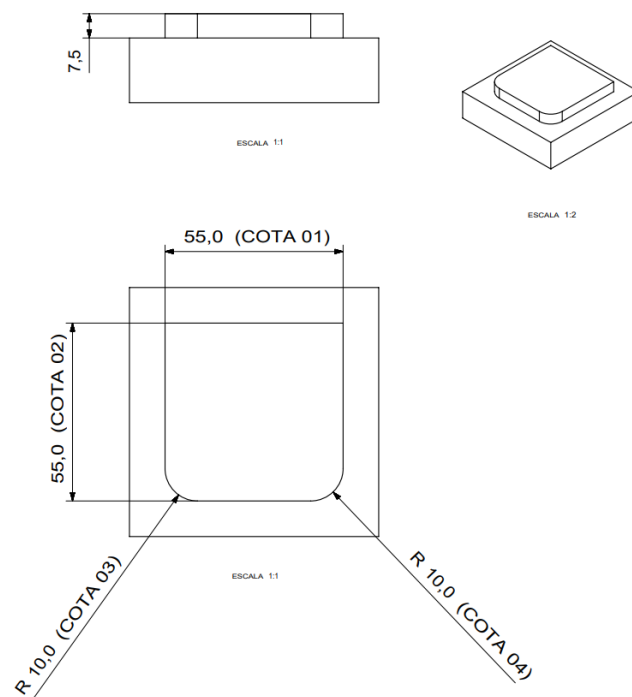


Figura 1 - Corpo de prova

Os parâmetros utilizados foram v_c de 70m/min e 160m/min e a_p de 0,5mm e 1,5mm. Os demais valores foram constantes para todos os testes. A usinagem foi realizada utilizando o corte concordante da ferramenta e sem a utilização de fluido de corte, para o cálculo de avanço de usinagem, foi utilizado o f_z de 0,2 mm/dente.

Para realização do experimento foi utilizado um planejamento fatorial 2^2 , onde para cada condição foi fabricada uma réplica, totalizando oito corpos de prova. A Tabela 1 mostra as condições utilizadas de acordo com a posição de cada peça, sendo que a numeração corresponde a ordem de usinagem.

Tabela 1 - Condições dos corpos de prova

Peça	v_c (mm/min)	a_p (mm)
1	70	0,5
8	70	0,5
2	70	1,5
7	70	1,5
3	160	0,5
6	160	0,5
4	160	1,5
5	160	1,5

Após a usinagem de cada peça, foram realizadas as medições das cotas, conforme apresentado na Figura 1, utilizando uma máquina tridimensional marca Mitutoyo, modelo Beyond 710, para a obtenção dos resultados deste estudo.

3. RESULTADOS OBTIDOS

Com as peças usinadas, de acordo com a Tabela 1, foram realizadas as medições das cotas na máquina tridimensional, onde foi adotada a classe de tolerância Fina, de acordo com o padrão ABNT apresentado na Tabela 2, onde para as cotas 01 e 02 foi estabelecido a tolerância de $\pm 0,15$ mm e para as cotas 03 e 04 a tolerância de $\pm 0,1$ mm.

Tabela 2 – Tabela de Tolerâncias Dimensionais. Adaptado de ABNT ISO 2768-1

Classe de tolerância		Afastamento admissíveis para intervalo de dimensões básicas							
		De 0,5 ¹ até 3	Acima de 3 até 6	Acima de 6 até 30	Acima de 30 até 120	Acima de 120 até 400	Acima de 400 até 1000	Acima de 1000 até 2000	Acima de 2000 até 4000
Designação	Descrição								
f	Fino	±0,05	±0,05	±0,1	±0,15	±0,2	±0,3	±0,5	-
m	Médio	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0
c	Grosso	±0,2	±0,3	±0,5	±0,8	±1,2	±2,0	±3,0	±4,0
v	Muito grosso	-	±0,5	±1,0	±1,5	±2,5	±4,0	±6,0	±8,0
1 Para dimensões nominais abaixo de 0,5mm, o afastamento deve ser indicado junto a dimensão nominal correspondente.									

A Tabela 3 mostra as medições obtidas após a usinagem dos corpos de provas.

Tabela 3 - Medições dos corpos de provas

Peça	Cota 01	Cota 02	Cota 03	Cota 04
1	55,028	55,010	10,023	10,009
8	55,035	55,018	10,098	10,039
2	55,079	55,067	10,095	10,041
7	55,076	55,064	9,950	10,100
3	55,045	55,031	10,013	9,950
6	55,044	55,021	9,990	9,950
4	55,085	55,076	10,062	9,925
5	55,094	55,090	10,100	9,962

Com base nas medidas encontradas, percebe-se que as cotas 01 e 02, que tem como medida nominal 55mm, ficaram dentro da tolerância de $\pm 0,15$ mm, porém é notável uma maior variação entre os valores nominais e encontrados, quando se é utilizado a profundidade de usinagem de 1,5mm. Essa variação ocorre porque quando é utilizado uma maior profundidade de usinagem, a força de corte aumenta. Corroborando com essa informação, SANDVIK (2001 *apud* HIOKI, 2006) diz que “dentre os parâmetros de usinagem, o aumento da velocidade de corte é o preferido para reduzir o tempo de usinagem, uma vez que os outros aumentam a força de corte e consequentemente requerem o emprego de equipamentos mais rígidos”.

Ainda comparando as cotas 01 e cotas 02 é observado que independente da condição de usinagem as cotas estão maiores que a medida nominal, porém, é notório que a cota 01 tem um afastamento maior da sua medida nominal em relação a cota 02. A cota 01 é controlada pelo eixo X da máquina CNC, já a cota 02 é controlada pelo eixo Y, portanto, sugere-se que essa diferença na cota 01 possa ser um erro de ajuste do eixo X da máquina, sendo necessário uma aferição da precisão dos seus eixos antes de realizar o estudo.

Analisando as cotas 03 e 04, referente aos raios, nota-se uma variação nas medidas encontradas. Essa variação não segue um padrão conforme as outras medidas lineares. Segundo Geldart *et al.* (2003 *apud* BROLESI, 2020) quando existe a presença do movimento de mais de um eixo de coordenadas, provoca-se uma distorção maior ao usinar superfícies circulares. Nota-se então que os erros associados a essas cotas são relativamente maiores que as cotas lineares.

Com auxílio do Excel, foi elaborado um gráfico de Pareto para analisar melhor os resultados. Com isso, foram somados os desvios das medidas encontradas em cada peça em relação a nominal, onde por exemplo na peça 1 foi somado o desvio da cota 01 com a cota 02. Assim, na Figura 3 é apresentado o gráfico de Pareto em relação às cotas lineares, somados os desvios das cotas 01 e 02.

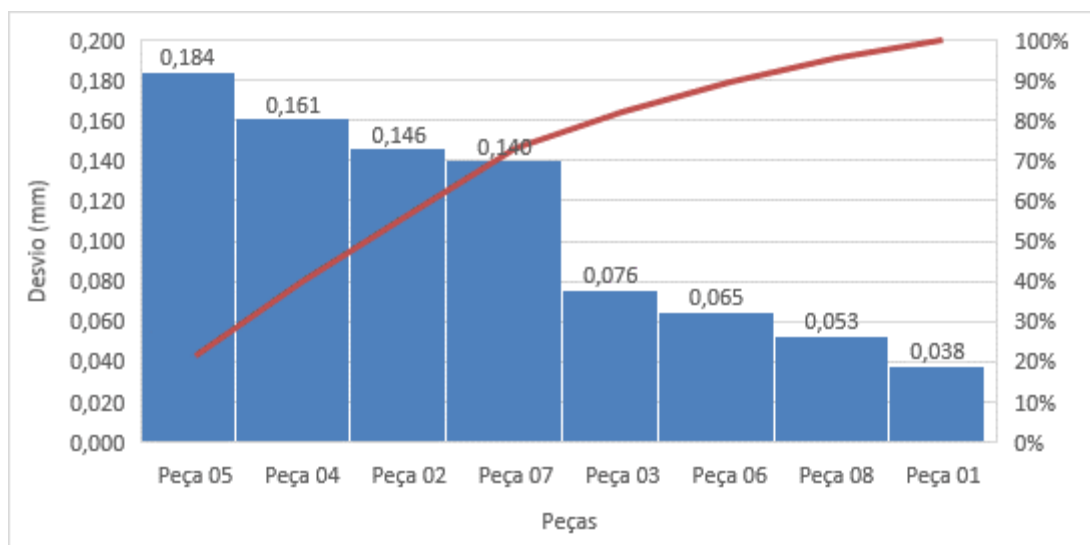


Figura 3 - Gráfico de Pareto para as cotas lineares (cotas 01 e 02)

Como observado, os desvios maiores são referentes às peças 05, 04, 02 e 07 respectivamente, onde as peças 05 e 04 estão com as condições máximas dos parâmetros (v_c e a_p) e as peças 02 e 07 com a condição mínima para v_c e máxima para a_p . Com isso, é possível afirmar que as condições máximas tendem a ter um desvio maior e o parâmetro profundidade de usinagem é o que tem maior influência, pois nas 4 peças com maiores desvios o valor a_p máximo esteve presente.

Para a mesma análise foi realizado um gráfico de Pareto para as cotas circulares, referente às cotas 03 e 04, conforme é apresentado na Figura 4.

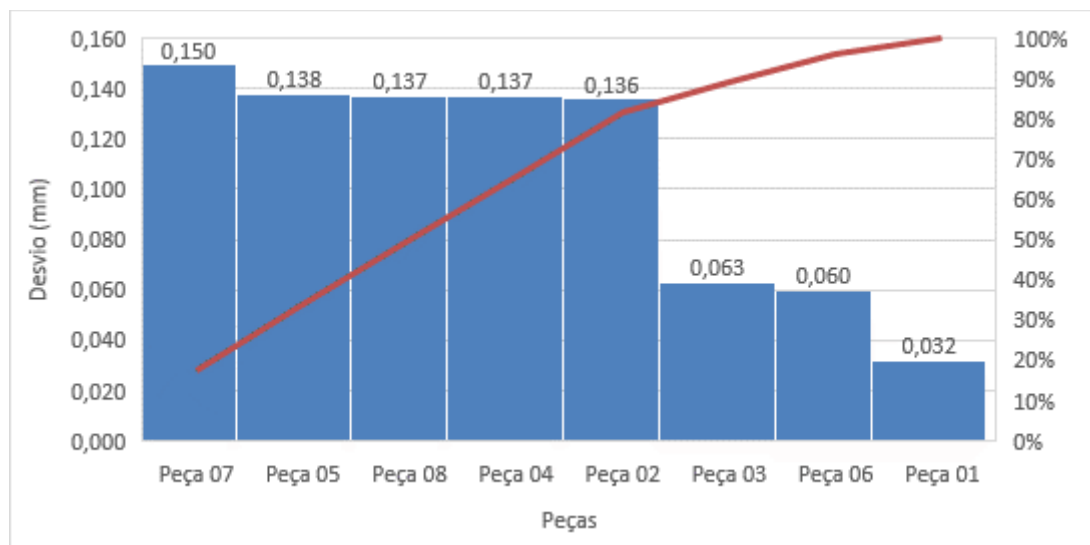


Figura 4 - Gráfico de Pareto para as cotas circulares (cotas 03 e 04)

Conforme observado, neste caso, 5 condições apresentaram uma maior variação em relação ao desvio, repetindo as peças das cotas lineares (peças 07, 05, 04 e 02) e acrescentando a peça 08 que representa a condição mínima dos parâmetros. Sendo assim, a tendência da influência da profundidade de usinagem máxima se repete, porém, a velocidade de corte nesse caso, para as cotas circulares, não teve uma influência comprovada.

Notou-se que, com uma operação de desbaste, todas as cotas ficaram dentro do afastamento permitido pela ABNT ISO 2768-1. Com isso, para realizar uma operação de desbaste, é possível utilizar os parâmetros máximos de corte, ou seja, velocidade de corte maior e profundidade de usinagem maior. Com estes parâmetros o tempo de usinagem será consideravelmente menor, conforme é mostrado na Tabela 4, acarretando em menores custos para a fabricação da peça.

Tabela 4 – Tempo de usinagem

Peça	Perímetro (mm)	a_p (mm)	Velocidade de Avanço (mm/min)	Tempo de Usinagem (min)
1	282,8	0,5	668	6,3
8	282,8	0,5	668	6,3
2	282,8	1,5	668	2,1
7	282,8	1,5	668	2,1
3	282,8	0,5	1526	2,7
6	282,8	0,5	1526	2,7
4	282,8	1,5	1526	0,9
5	282,8	1,5	1526	0,9

4. CONCLUSÕES

Levando em consideração os resultados obtidos, pode-se concluir que os parâmetros máximos de corte (v_c e a_p) fornecidos pelo fabricante atendem as tolerâncias mínimas indicadas pela ABNT ISO 2768-1, e o parâmetro profundidade de usinagem máximo (a_p 1,5mm) teve influência direta nas cotas lineares e circulares neste estudo. No caso específico da operação de desbaste, os parâmetros máximos de usinagem podem ser utilizados, atendendo as tolerâncias dimensionais e garantindo mais eficiência no processo de fabricação.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade SENAI Joinville por dispor dos equipamentos necessários para a realização do presente trabalho.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT. Tolerâncias gerais Parte 1: Tolerâncias para dimensões lineares e angulares sem indicação de tolerância individual. Disponível em: <https://hudsonbonazza.files.wordpress.com/2012/09/nbr-iso-2768-1-tolerancias-gerais.pdf>. Acesso em: 02 nov. 2020.
- BONETTI, Ivandro, 2008. Contribuições para Desenvolver o Conhecimento das Operações de Desbaste de Moldes e Matrizes com Ênfase em Fresamento no Sentido Axial. Dissertação de Mestrado, Instituto Superior Tupy, Joinville – SC.
- BOUJELBENE, A.; MOISAN, A.; TOUNSI, N.; BRENIER, B. Productivity enhancement in dies and molds manufacturing by the use of C1 continuous tool path, International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 44, p. 101-107, 2004.
- BROLESI, Arthur Fernandes; MILANEZ, Alexandre, 2020. Aplicação da Norma ISO 10791-7 para determinação dos erros de um centro de usinagem utilizando peças padrões de teste. Artigo TCC. SATC - Associação Beneficente da Indústria Carbonífera de Santa Catarina.
- DINIZ, A. E.; MARCONDES, F. C.; COPPINI, N. L. Tecnologia da usinagem dos materiais. 6. ed. São Paulo, Artliber, 2008.
- GELDART, M.; PHILIP, W.; LARSSON, H.; BACKSTROM, M.; GINDY, N.; RASK, K. A direct comparison of the machining performance of a variac 5 axis parallel kinetic machining centre with conventional 3 and 5 axis machine tools. International Journal of Machine Tools and Manufacture, v. 43, n. 11, p. 1107-1116, 2003.
- HIOKI, Daniel. 2006. Influência dos parâmetros de corte do fresamento HSM sobre o desempenho tribológico do aço AISI H13 endurecido. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – SP.
- REBEYKA, Claudimir José. 2016. Princípios dos Processos de Fabricação por Usinagem. Curitiba: Intersaberes, 2016.
- SANDVIK, Mundo da Usinagem. 2001. Publicação da divisão Coromant da Sandvik Brasil.
- SANTANA, Mysael Silva; COSTA, André L. de Moraes. 2012. Estudo dos Parâmetros de Usinagem e Seleção de Ferramenta no Torneamento CNC do aço SAE 4140 em Condições Reais de Produção. Artigo. VII Congresso Nacional de Engenharia Mecânica. CONEM 2012.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

INFLUENCE OF CUTTING SPEED AND MACHINING DEPTH ON THE DIMENSIONAL TOLERANCE DURING THE CNC MILLING PROCESS

Jonathan Hartmann, jonathan_hartmann@estudante.sc.senai.br

Suelen Cristina Fenrich, suelen_fenrich@estudante.sc.senai.br

Eduardo Chiodini, eduardo_chiodini@estudante.sc.senai.br

Anderson de Carvalho Fernandes, anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Bruna Freitas Zappelino, bruna.zappelino@edu.sc.senai.br

Faculdade SENAI Joinville, R. Arno Waldemar Dohler, 921 - Zona Industrial Norte, Joinville - SC, 89223-001

E-mail: anderson.c.fernandes@edu.sc.senai.br

Abstract. *The present work aims to analyze the influence of speed (v_c) and machining depth (a_p) in the roughing process by CNC milling, checking the dimensionality of the machined parts. For that, it used a Romi D600 machining center and a Mitutoyo Beyond 710 coordinate measuring machine for machining and measurement, respectively. Two values for each parameter were used, extreme values provided by the tool manufacturing. In total, 8 parts were machined, 4 conditions and one replica. Analyzing the measurements, there was no significant difference between the values of the linear dimensions (dimensions 01 and 02) and circular dimensions (dimensions 03 and 04) there was a greater difference compared to the nominal one. With that, as the values found were below the specified tolerance, it can be concluded that for this work the use of maximum parameter values is an alternative due to the shorter machining time, however, the machining depth with maximum value had greater influence on linear and circular dimensions.*

Keywords: Cutting speed, Machining depth, CNC milling, Dimensional tolerance, Thinning.

RESPONSIBILITY NOTICE

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