

Efeito das Condições de Usinagem do Fresamento (de topo) e do Método de Medição da Rugosidade no Parâmetro R_z

Walter dos Santos Motta Neto*, Rosenda Valdés Arencibia, Luciano José Arantes, Éder Silva Costa

*Laboratório de Metrologia Dimensional, waltermottaneto@hotmail.com

Palavras-chave

rugosidade, medição com contato, medição sem contato, ANOVA.

1. INTRODUÇÃO

As superfícies, ainda que rigorosamente trabalhadas, apresentam desvios de forma macrogeométricos e microgeométricos, superpostos na superfície real da peça, Fig. 1. No primeiro caso, incluem-se as divergências de ondulações, a retitude, a planeza e a circularidade. Já os desvios microgeométricos, conhecidos também como rugosidade, surgem em função do processo de fabricação das peças, afetando e definindo o modo como as superfícies irão trabalhar e interagir entre si (Marco Filho, 1996). A qualidade do acabamento superficial das peças é avaliada por meio da medição da rugosidade, usualmente efetuada usando métodos de medição com contato (Chand et al, 2011; Bhushan, 2000; Leach, 2001), na qual a ponta de um apalpador entra em contato físico com a superfície avaliada.

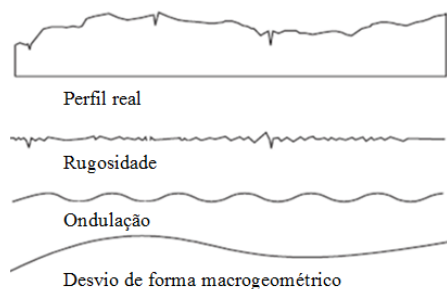


Figura 1: Composição da superfície (ABNT, 2002).

Dentre as limitações na medição com contato da rugosidade está a impossibilidade de se obter o perfil real em função das dimensões da ponta do apalpador. Por menor que seja o raio da ponta do apalpador, a mesma não pode reconhecer as irregularidades da superfície que sejam menores do que o seu raio. Sendo assim, sempre ocorre uma distorção entre os perfis reais e efetivos.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar o efeito dos fatores material (M), tipo de medição (TM), profundidade de corte (ap) e avanço (f), nos valores do parâmetro R_z , em amostras fabricadas em alumínio comercial (Al), aço carbono SAE 1020 (AC) e ferro fundido cinzento (FF), obtidas pelo processo de fresamento de topo usando quatro regimes de corte diferentes (E1, E2, E3 e E4).

2. METODOLOGIA

Para a obtenção das amostras fresadas, com valores de rugosidade diferentes, foi proposto um planejamento fatorial completo $3 \times 2 \times 2$, em que três fatores foram avaliados, um em três níveis (material: alumínio comercial, ferro fundido cinzento e aço carbono SAE 1020) e os outros dois em dois níveis (avanço: 0,1 mm/rotação e 0,2 mm/rotação; profundidade de corte: 0,5 mm e 1 mm).

A operação de fresamento foi realizada no Laboratório de Ensino e Pesquisa em Usinagem (LEPU) na Universidade Federal de Uberlândia, utilizando um centro de usinagem CNC, modelo Discovery 760 de fabricante Romi. A ferramenta de corte utilizada foi uma fresa frontal para faceamento Sandvik código R290 - 063QZ2 - 12M, diâmetro de 63 mm, com cinco pastilhas quadradas de metal duro CoroMill 290 M.

Para a medição da rugosidade foi utilizado um rugosímetro portátil Surtronic 3+, eletromecânico, digital, do fabricante Taylor Hobson, modelo 112/1590, com resolução de 0,01 μm . Utilizou-se um apalpador com ponta de diamante com raio igual a 2 μm . O comprimento de amostragem (*cut-off*) foi de 0,8 mm para a maioria das peças (nos

casos em que os valores de R_a foram maiores do que $2\text{ }\mu\text{m}$, o valor do *cut-off* adotado foi de $2,5\text{ mm}$) e o filtro Gaussiano foi aplicado para a retirada das ondulações do perfil. Cinco ciclos de medição foram conduzidos e o parâmetro R_z (Altura Máxima do Perfil) foi coletado. O rugosímetro e a peça objeto de medição foram posicionados em um desempenho de granito, de modo a minimizar o efeito da vibração mecânica transmitida pelo solo.

Visando avaliar as diferenças entre os diferentes métodos de medição da rugosidade e analisar a influência do tipo de medição adotado, as amostras também foram medidas por meio de um interferômetro modelo TALYSURF CLI 2000 fabricado pela Taylor Hobson. Durante a medição por interferometria foi utilizada luz branca, que permite medições com resolução de $0,01\text{ }\mu\text{m}$. Foram efetuados cinco ciclos de medição para cada amostra avaliada, utilizando os mesmos comprimentos de amostragem, mesmo filtro no processamento dos dados e mesma condição ambiental definidos anteriormente na medição com contato.

Para o cálculo da incerteza de medição foi adotado o método proposto no GUM (INMETRO, 2012). As Equações 1 e 2 mostram os modelos matemáticos propostos para a medição com contato e sem contato, respectivamente.

$$R_Z = \overline{R_Z} + \Delta R_R + \Delta C_R + \Delta RP + \Delta D \quad (1)$$

$$R_Z = \overline{R_Z} + \Delta R_I + \Delta C_I \quad (2)$$

Nas Equações 1 e 2, R_Z é o parâmetro de rugosidade medido; $\overline{R_Z}$ é a média dos valores indicados pelo sistema de medição em questão; ΔR_R e ΔR_I são as respectivas correções associadas à resolução do rugosímetro e do interferômetro; ΔC_R e ΔC_I são as respectivas correções associadas à incerteza de calibração do rugosímetro e do interferômetro; ΔRP é a correção associada ao raio da ponta do apalpador; e ΔD é a correção associada à deformação da peça durante a medição.

Os resultados obtidos foram analisados utilizando a análise de variância ANOVA, por meio do *software* Statistica 7.0. Complementando essa análise, foi determinada a diferença percentual entre os resultados da medição com e sem contato, em que a medição sem contato foi adotada como referência.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os valores médios de R_z obtidos na medição sem contato e com contato são apresentados na Fig. 2. As barras em cor cinza e branca mostram os valores resultantes da medição com contato e medição sem contato, respectivamente. São mostrados ainda os valores de incerteza expandida (95%) associados à medição como sendo a barra de erros. O experimento E1 refere-se à condição $ap = 0,5\text{ mm}$ e $f = 0,1\text{ mm/rot}$; E2 à $ap = 0,5\text{ mm}$ e $f = 0,2\text{ mm/rot}$; E3 à $ap = 1,0\text{ mm}$ e $f = 0,1\text{ mm/rot}$; e E4 à $ap = 1,0\text{ mm}$ e $f = 0,2\text{ mm/rot}$.

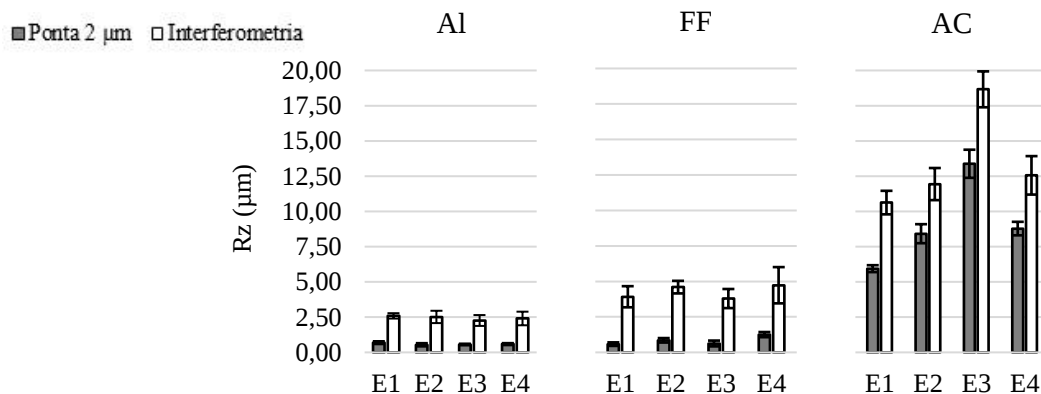


Figura 2: Valores médios de R_z para as amostras fresadas nas condições investigadas e incerteza expandida (95%).

Pela Figura 2, se conclui que os valores médios de R_z obtidos por meio da medição sem contato foram maiores em todos os casos, evidenciando que a ponta do apalpador constitui uma fonte de erros significativa. Este fato pode ser atribuído à dificuldade em detectar irregularidades que sejam menores do que o valor do seu raio.

Os maiores valores de R_z foram encontrados para as amostras de AC. De acordo com Machado e da Silva (2004), a maior dureza do AC leva ao aparecimento de maiores níveis de vibração durante o fresamento (por ser um processo intermitente), o que tende a aumentar a rugosidade superficial (Fig. 3a). Se observou para o AC que as condições de corte, avanço e profundidade, influenciaram significativamente os valores de R_z , sendo o avanço o mais influente. A altura dos picos e a profundidade dos vales tendem a aumentar com o aumento do avanço (Machado e da Silva, 2004).

A medição sem contato apresentou valores maiores de incerteza, resultando em menor repetibilidade. Este fato pode ser atribuído à reflexão da luz. Quando a reflexão da luz acontece em superfícies rugosas, ocorre uma distorção da luz refletida, em função das irregularidades presentes neste tipo de superfície quando comparada com a “ideal”. Logo,

superfícies geradas com parâmetros de corte distintos, causam efeitos desiguais na luz refletida (Marchiori, 2013). Pode-se acrescentar, ainda, que alterações microsuperficiais como microtrincas oriundas dos processos de usinagem, são capazes de influenciar o resultado da medição sem contato por ser um método de medição mais sensível.

A Figura 3b mostra a diferença percentual entre os valores médios de R_z na medição com e sem contato.

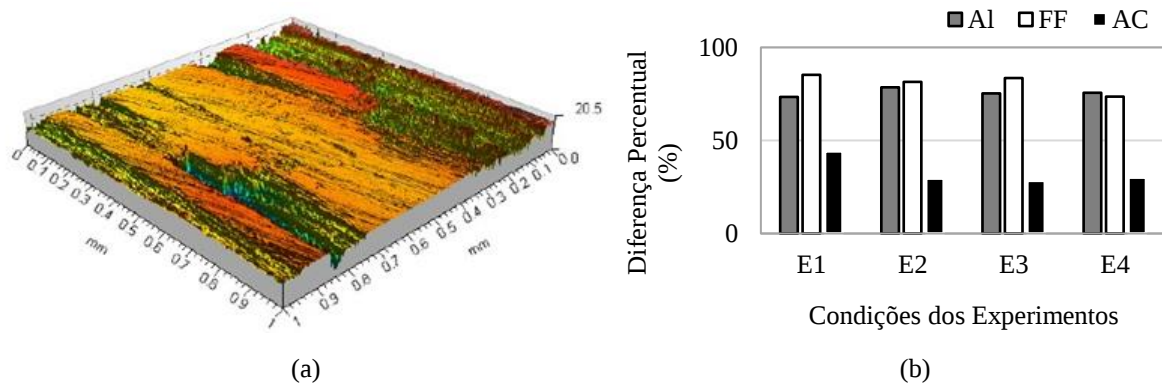


Figura 3: (a)- Topografias superficiais da amostra de AC, (b)- Diferença percentual na medição sem e com contato.

As amostras de AC apresentaram as menores diferenças percentuais ao passo que as amostras de FF exibiram, em geral, as maiores, sendo essa diferença na ordem de 75% para o Al e 80% para o FF, enquanto que para o AC nota-se o efeito significativo das condições de corte nos resultados encontrados.

Pelo teste do ANOVA, comprovou-se que o método de medição provocou efeitos estatisticamente significativos nos valores médios do parâmetro R_z em todas as condições investigadas, bem como o material da peça e o avanço.

4. CONCLUSÕES

Os valores de R_z são influenciados de forma estatisticamente significativa pelo tipo de medição. Adicionalmente, se observou que este parâmetro de rugosidade depende dos materiais avaliados e do avanço utilizado durante a usinagem.

Os valores de incerteza expandida associados à medição sem contato, em geral, foram maiores do que os associados à medição com contato.

Os valores de diferença percentual encontrados na medição sem e com contato do R_z para as amostras fresadas foram próximos de 75% para o Al e de 80% para o FF. Para o AC não foi possível estimar uma tendência definida em função da expressiva variabilidade nos valores de diferença percentual nos valores desse parâmetro de rugosidade obtidos nas diferentes condições de corte investigadas.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à Faculdade de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Uberlândia, ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica e às instituições CNPq, CAPES e FAPEMIG pelo suporte financeiro.

6. REFERÊNCIAS

- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR ISO 4287, 2002, Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade. 18p.
- Bhushan, B., 2000, "Modern Tribology Handbook", Volume One. Chapter 2 Surface roughness analysis and measurement techniques. Pp. 49-120.
- Chand, M.; Mehta, A.; Sharma, R.; Ohja, V.N.; Chaudhary, K.P., 2011, "Roughness Measurement Using Optical Profiler with Self-Reference Laser and Stylus Instrument — A Comparative Study". Indian Journal of Pure & Applied Physics, V. 49 (May): 335–339.
- INMETRO, 2012, "A estimativa da incerteza de medição pelos métodos do ISO GUM 95 e de simulação de Monte Carlo". INMETRO-DIMCI-DIMEC-LAPRE INMETRO. Nota técnica. 34p.
- Leach, R., 2001, "The measurement of surface texture using stylus instruments". Measurement Good Practice Guide No. 37 National Physical Laboratory Teddington, Middlesex, United Kingdom, 97 p.
- Machado, A. R.; da Silva, M.B., 2004, "Usinagem dos metais", apostila 8ª versão, EDUFU, Uberlândia, 257p.
- Marchiori, M.M., 2013, "Estudo de um sistema de medição a laser na análise da textura da superfície gerada por torneamento". Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil, 82 p.
- Marco Filho, F. de, 1996, "Apostila de metrologia". Rio de Janeiro: UFRJ, Sub-Reitoria de Ensino de Graduação e Corpo Discente/SR-1. 106 p. – (Cadernos Didáticos UFRJ; 29).

7. DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.