

## INFLUÊNCIA DAS VIBRAÇÕES NA MEDIÇÃO DA RUGOSIDADE

Jefferson Dobes, Universidade Federal de Uberlândia, [jdobes@mecanica.ufu.br](mailto:jdobes@mecanica.ufu.br)

Jose Eduardo Silveira Leal, Universidade Federal de Uberlândia, [zeduardoleal@yahoo.com.br](mailto:zeduardoleal@yahoo.com.br)

Jonas Profeta, Universidade Federal de Uberlândia, [jonasprofeta@mecanica.ufu.br](mailto:jonasprofeta@mecanica.ufu.br)

Marcos Morais de Sousa, Universidade Federal de Uberlândia, [mmsousa@mecanica.ufu.br](mailto:mmsousa@mecanica.ufu.br)

Francisco Paulo Lépure Neto, Universidade Federal de Uberlândia, [fplepure@mecanica.ufu.br](mailto:fplepure@mecanica.ufu.br)

Rosenda Valdés Arencibia, Universidade Federal de Uberlândia, [arvaldes@mecanica.ufu.br](mailto:arvaldes@mecanica.ufu.br)

**Resumo.** Este trabalho tem como objetivo investigar se as vibrações transmitidas pelo solo e aquelas inerentes ao processo de medição da rugosidade influenciam o comportamento dos valores dos parâmetros de amplitude ( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_z$  e  $R_t$ ), obtidos por meio de um rugosímetro portátil com medição por contato. Para tanto, foram executadas as seguintes etapas: medição da rugosidade e das vibrações de forma simultânea em uma peça de alumínio considerando diferentes níveis de vibração; avaliação da incerteza de medição e análise e discussão dos resultados. Foi observado que os valores médios de  $R_z$  e  $R_t$  obtidos nos diferentes níveis de vibração variam de forma aproximadamente linear com o aumento da amplitude das vibrações.

**Palavras chave:** rugosidade, vibração, incerteza.

### 1. INTRODUÇÃO

A impossibilidade de se obter superfícies perfeitas, dimensional e geometricamente, gerou a necessidade de quantificar e indicar as tolerâncias dimensionais e geométricas e, consequentemente, desenvolver meios para verificá-las. Dentre os desvios macrogeométricos têm-se os desvios de forma, que incluem divergências de ondulações, ovalização, retitude, circularidade, planeza, entre outros, que podem ser verificados por meio de instrumentos convencionais. Já os desvios microgeométricos, conhecidos como rugosidade superficial, são pequenas saliências e reentrâncias presentes na superfície da peça (Piratelli-Filho, 2011) e podem ser medidos apenas com aparelhos específicos desenvolvidos para esta finalidade. Uma comparação entre os desvios macro e microgeométricos mostra que os desvios macrogeométricos são caracterizados por baixas frequências de onda e grandes amplitudes, enquanto que os microgeométricos apresentam altas frequências e pequenas amplitudes.

Para a medição da rugosidade superficial o aparelho mais utilizado é o rugosímetro eletromecânico, devido principalmente a sua portabilidade e ao baixo custo de aquisição (Novaski, 1994). Durante a medição da rugosidade com rugosímetros eletromecânicos com medição por contato diversos fatores podem influenciar os resultados. Dentre eles, tem-se o instrumento de medição, a peça, o operador, a estratégia de medição e o meio ambiente. Leach (2001) evidencia que as condições ambientais de chão de fábrica (gradientes térmicos, pó, sujeira e vibrações) podem influenciar os valores de rugosidade e até invalidá-los. Desta forma, a ABNT NBR ISO 3274 (2008) especifica as condições nominais para medir a rugosidade superficial utilizando instrumentos com apalpamento. Segundo Zahwi *et al.*, (2003), desvios destas condições nominais conduzem a desvios significativos dos valores dos parâmetros de rugosidade.

Na área da metrologia dimensional, as vibrações transmitidas pelo solo ocupam um lugar de destaque na medição da rugosidade superficial, aumentando sua importância quando utilizados rugosímetros portáteis de medição com contato. Para valores de rugosidade pequenos, da ordem de alguns décimos de micrometros, a medição com instrumentos com apalpação torna-se difícil, pois a amplitude das vibrações do ambiente pode ser da mesma ordem de grandeza que a rugosidade (Lyncée Tec, 2012). Desta forma, a medição da rugosidade com instrumentos de apalpação deve ser realizada num ambiente o mais livre possível de vibração. Entretanto, o isolamento e controle das vibrações são dispendiosos e muitas vezes impraticáveis, sobretudo no chão de fábrica. Neste ambiente os níveis de vibrações podem ser elevados devido à presença de grande quantidade de equipamentos e máquinas-ferramenta. Desta forma, este trabalho tem a pretensão de aprofundar estes estudos no sentido de identificar como as vibrações transmitidas pelo solo e aquelas inerentes ao processo de medição da rugosidade influenciam na medição da rugosidade superficial, bem como avaliar a contribuição das vibrações na incerteza final da medição de diferentes parâmetros.

### 2. TESTES EXPERIMENTAIS

A rugosidade de uma peça de alumínio obtida por meio do processo de torneamento foi medida três vezes utilizando-se um rugosímetro portátil, eletromecânico, digital, modelo TIME TR200 da Homis (Fig. 1a) em cinco condições diferentes. A condição 0 (C0) se caracteriza pela ausência de vibrações. Para as condições (C1, C2, C3 e C4) foram gerados sinais de vibração com frequência constante de 100 Hz e diferentes amplitudes. Foram coletados os valores dos parâmetros  $R_a$  (desvio aritmético médio do perfil);  $R_q$  (desvio aritmético quadrático do perfil),  $R_z$  (altura máxima do perfil) e  $R_t$  (altura total do perfil) por meio do programa dedicado, TimeSurf For TR200 V1.4.

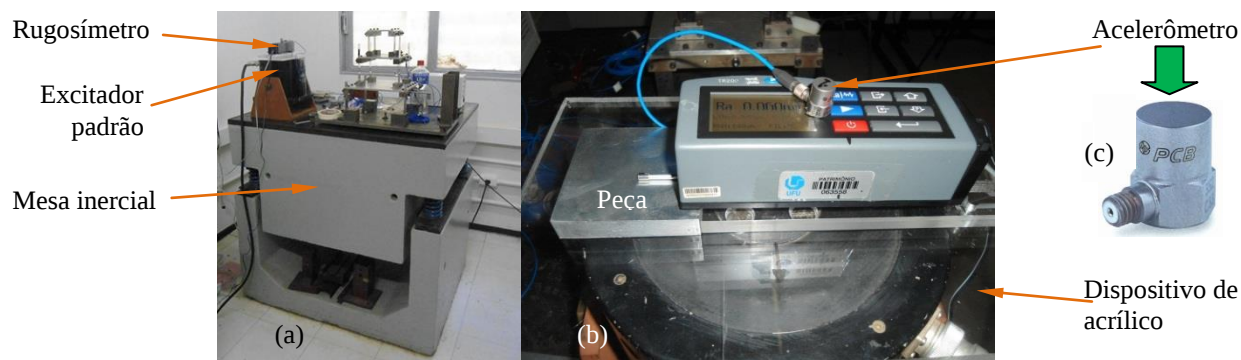


Figura 1. (a) Rugosímetro portátil, modelo TR200 da Homis e excitador padrão posicionado sobre a mesa inercial, (b) Posicionamento do rugosímetro e do dispositivo de acrílico sobre o excitador padrão e (c) acelerômetro

A incerteza expandida associada à calibração do rugosímetro é de  $0,06 \mu\text{m}$  para  $k$  igual a 2,57 e uma probabilidade de abrangência de 95,45%. O comprimento de amostragem foi de 2,5 mm e foi aplicado o filtro Gaussiano. Para evitar o efeito das vibrações transmitidas pelo solo, o sistema de medição de rugosidade foi posicionado sobre uma mesa inercial, conforme mostra a Fig. 1b. Para garantir o adequado posicionamento do rugosímetro e da peça objeto de medição sobre o excitador, foi projetado e fabricado um dispositivo de acrílico (Fig. 1b).

Paralelamente à medição da rugosidade foi efetuado o monitoramento das vibrações. Para tanto foi utilizado um sistema de medição baseado em um acelerômetro piezelétrico (Fig. 1c). Este sistema é composto ainda por um amplificador de sinais, um analisador de sinais, um amplificador de potência, um excitador, um gerador de sinais, um computador e um *software* especificamente desenvolvido para monitoramento das vibrações (Fig. 2).



Figura 2. Sistema de medição utilizado para monitoramento das vibrações.

O acelerômetro piezelétrico utilizado foi fabricado pela PCB, modelo 352C03 e foi fixado através de uma cera fornecida pelo fabricante. Os diferentes níveis de vibração foram provocados por meio de um gerador de sinais, do fabricante *Brüel e Kjaer*, modelo 1049, acoplado a um amplificador de potência, também da *Brüel e Kjaer*, modelo 2712, associado a um excitador da *Brüel e Kjaer*, 4810. Completam este sistema de medição um computador e um programa computacional.

Antes do início da medição, a peça foi limpa. Em seguida efetuou-se uma análise visual da superfície da peça, objetivando identificar o formato e a orientação dos sulcos decorrentes da usinagem. Com a orientação identificada, foi escolhida a direção adequada para apalpamento da superfície durante a medição. Os experimentos foram conduzidos à temperatura de  $(25 \pm 1)^\circ\text{C}$ . Para o monitoramento da mesma foi utilizado um termohigrômetro digital com resolução igual a  $0,1^\circ\text{C}$  e faixa de indicação de  $-20^\circ\text{C}$  a  $60^\circ\text{C}$ . Este equipamento possui certificado de calibração N. R4996/13, emitido pelo Laboratório de Temperatura e Umidade da Elus Instrumentação.

Por fim procedeu-se ao cálculo da incerteza de medição, aplicando o Método de Monte Carlo, conforme recomendado por INMETRO (2008).

### 3.RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra os valores médios dos parâmetros de rugosidade coletados e o desvio-padrão associado para as cinco condições investigadas (C0, C1, C2, C3 e C4).

Tabela 1. Valores médios (M) e desvio-padrão (s) dos parâmetros de rugosidade Ra, Rq, Rz e Rt.

|           | C0                  |                     | C1                  |                     | C2                  |                     | C3                  |                     | C4                  |                     |
|-----------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
|           | M ( $\mu\text{m}$ ) | s ( $\mu\text{m}$ ) | M ( $\mu\text{m}$ ) | s ( $\mu\text{m}$ ) | M ( $\mu\text{m}$ ) | s ( $\mu\text{m}$ ) | M ( $\mu\text{m}$ ) | s ( $\mu\text{m}$ ) | M ( $\mu\text{m}$ ) | s ( $\mu\text{m}$ ) |
| <b>Ra</b> | 2,627               | 0,008               | 2,637               | 0,018               | 2,632               | 0,018               | 2,647               | 0,015               | 2,629               | 0,004               |
| <b>Rq</b> | 2,859               | 0,007               | 2,870               | 0,017               | 2,867               | 0,008               | 2,882               | 0,012               | 2,870               | 0,011               |
| <b>Rz</b> | 8,892               | 0,062               | 8,947               | 0,091               | 9,140               | 0,196               | 9,386               | 0,198               | 9,598               | 0,495               |
| <b>Rt</b> | 9,280               | 0,105               | 9,339               | 0,201               | 9,696               | 0,343               | 10,203              | 0,964               | 10,240              | 0,999               |

A partir da Tab. 1 se conclui que os valores médios de Ra e Rq são constantes para as cinco condições investigadas, bem como os valores de desvio-padrão. Enquanto que os valores médios de Rz e Rt crescem de forma aproximadamente linear com o aumento da amplitude das vibrações. Este fato é melhor evidenciado na Fig. 3.

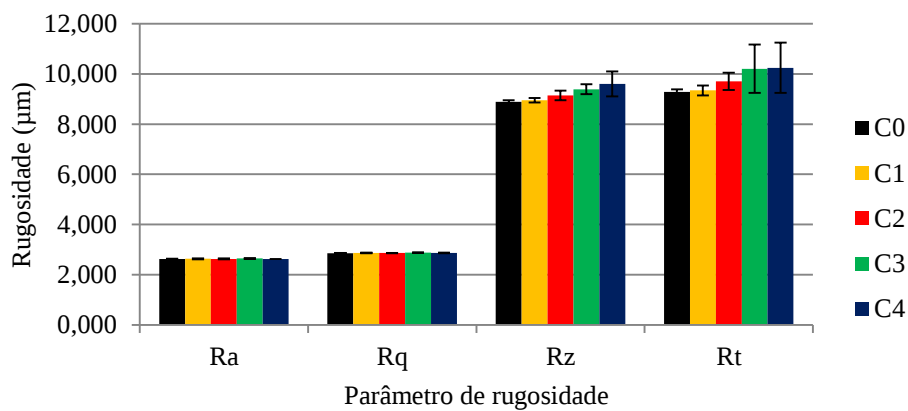


Figura 3. Valores médios dos parâmetros Ra, Rq, Rz e Rt nas cinco condições investigadas

A Figura 3 mostra, ainda, uma tendência crescente dos valores de desvio-padrão para os parâmetros Rz e Rt à medida em que a amplitude das vibrações aumenta. Um comportamento similar é esperado para os valores de incerteza-expandida associados à medição destes parâmetros.

A Figura 4 mostra o histograma obtido para o parâmetro Rt na condição C4. Observa-se que o formato da distribuição da variável de saída, neste caso, é muito próximo da distribuição Normal e que a mesma é simétrica.

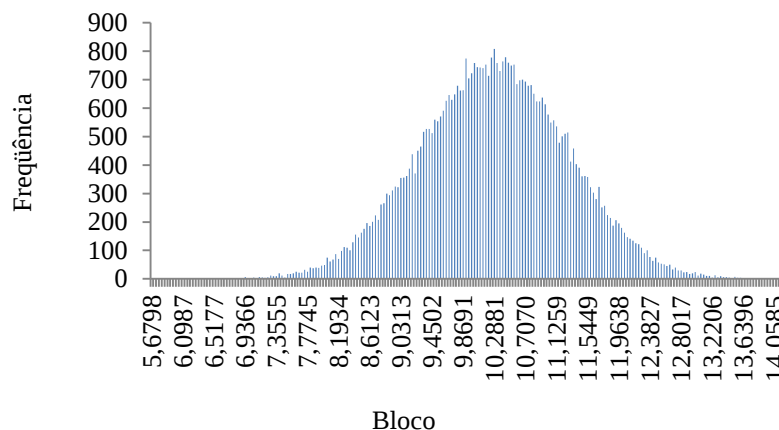


Figura 4. Histograma obtido para o parâmetro Rt na condição C4 durante a simulação de Monte Carlo

A Figura 5 mostra os valores de incerteza-expandida associados à medição dos quatro parâmetros de rugosidade. Em todos os casos o fator de abrangência é igual a 2,00 e a probabilidade de abrangência de 95,45%.

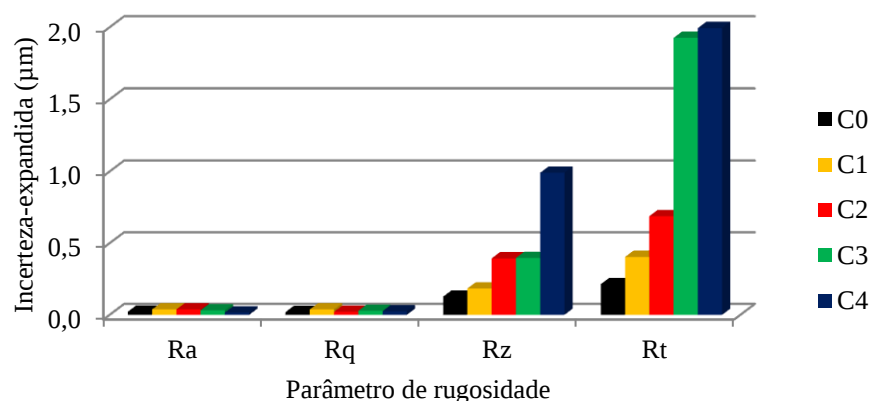


Figura 5. Valores de incerteza-expandida associados à medição dos parâmetros de rugosidade

Na Figura 5 se observa que a incerteza-expandida se manteve praticamente constante para os parâmetros Ra e Rq enquanto que para Rz e Rt foram influenciados significativamente pela variabilidade da indicação do rugosímetro e consequentemente pelo aumento da amplitude das vibrações.

#### 4. CONCLUSÕES

As vibrações afetam a precisão e a confiabilidade dos valores dos parâmetros de rugosidade Rz e Rt de forma significativa. Espera-se que outros parâmetros como o Rp e Rv apresentem um comportamento similar.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao programa de pós-graduação em Engenharia Mecânica, aos Laboratórios de Metrologia Dimensional(LMD) e Sistemas Mecânicos(LSM) pelo apoio recebido no desenvolvimento dos trabalhos.

#### 6. REFERÊNCIAS

- ABNT NBR ISO 3274, 2008, “Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil – Características nominais de instrumentos por contato (pontas de apalpação)”, 13pp.
- ABNT NBR ISO 4288, 2008, “Especificações geométricas do produto (GPS) – Rugosidade: Método do perfil-regras e procedimentos para avaliação de rugosidade”, 10p.
- INMETRO, 2008, “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, “Measurement Good Practice guide: The measurement of surface texture using stylus instrument”, United Kingdom.
- Lyncée Tec, Novembro de 2012, “Roughness measurements with Digital Holographic Microscopy”. Disponível em <http://www.lynceetec.com/downloads/>.
- Novaski, O., 1994, “Introdução à engenharia de fabricação mecânica”,ed. Edgard Blucher LTDA,São Paulo,Brasil, 119p.
- Piratelli-Filho, A., 2011, “Rugosidade superficial”, Palestra 3, Seminário de Metrologia, FEMEC-UFU, 16 a18 de maio de 2011, 41pp. Disponível em <http://www.posgrad.mecanica.ufu.br/metrologia/?op=sobre>.
- Zahwi, S.; Koura, M.; Mekawi, A., 2003, “Factors influencing uncertainty evaluation for surface roughness measurements”,In Proceedings XVII IMEKO World Congress, June 22 – 27, 2003.

#### 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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