



ANÁLISE METROLÓGICA DE RUGOSÍMETROS.

Fabiano Cezar Domingos¹, Susanna Vital de Campos de Freitas², Vicente Machado Neto³

¹ Departamento Acadêmico de Eletrônica, UTFPR, Curitiba, Brasil, fabiano.cd@hotmail.com

² Departamento Acadêmico de Eletrônica, UTFPR, Curitiba, Brasil, susannavcf@yahoo.com.br

³ Departamento Acadêmico de Eletrônica, UTFPR, Curitiba, Brasil, vmachado@utfpr.edu.br

Resumo: A rugosidade é definida como o “conjunto de desvios microgeométricos, caracterizado pelas pequenas saliências e reentrâncias presentes em uma superfície” [1]. A medição de tal parâmetro mecânico é tarefa difícil devido à pequena amplitude destas anormalidades superficiais. O presente estudo busca avaliar os principais parâmetros metrológicos de um rugosímetro digital, comparados aos de um rugosímetro 3D de interferometria óptica. A metodologia baseia-se em medições efetuadas em superfícies padrões, utilizando roteiros de medição padronizados. Os resultados apresentaram incertezas maiores nas medições com o rugosímetro 3D.

Palavras chave: rugosidade, rugosímetro, rugosímetro 3D, medições de superfície.

Abstract: The roughness is defined as the “micrometric surfaces deviations, characterized by small bumps and surface depressions”[1]. The measurement of this mechanical parameter is difficult due to the small amplitude of these surface abnormalities. This study assesses the main metrological parameters of a digital rugosimeter compared to the optical interferometry 3D rugosimeter. The methodology is based on comparison with standard blocks, using standardized measurement procedures. The results showed higher uncertainties in measurements with 3D roughness.

Keywords: roughness, roughness equipment, 3D roughness, surface measurement.

1. INTRODUÇÃO

Dependendo da aplicação, as deformações advindas da rugosidade são desejadas ou não, devendo se adequar ao tipo de função que o componente exerce. Por exemplo, os materiais com maior grau de rugosidade são mais propensos a sofrer corrosão e efeitos da fadiga, mas esse fator também auxilia no ajuste de peças mecânicas. Tal fato é evidenciado em um estudo que relaciona a corrosão com a rugosidade [2].

Representando uma característica bastante importante do objeto, é necessário buscar exatidão e precisão ao obter os valores da rugosidade. Para tal fim, é utilizado um aparelho chamado de rugosímetro. É possível citar o rugosímetro mecânico (atualmente em desuso), o rugosímetro digital e o rugosímetro 3D. Os dois últimos são foco do presente

estudo. Existem outras formas menos confiáveis de se medir a rugosidade, como o processo tátil e o visual, que dependem da percepção sensorial do usuário.

O rugosímetro digital se baseia no princípio de uma agulha extremamente sensível que percorre a superfície da peça medida, estabelecendo o valor médio de sua rugosidade. Este método de medição se distingue por sua facilidade de utilização e menor custo. No entanto, instrumentos com agulha apresentam desvantagens como menor velocidade de medição e principalmente, a necessidade de contato com o mensurando [3], o que pode causar danos na superfície medida e desgaste da agulha [4].

A medição com o rugosímetro digital apresenta uma distorção denominada filtragem mecânica do perfil da superfície, caracterizada pela limitação da resolução do equipamento para a medição de rugosidades menores do que as dimensões físicas da ponta de sua agulha [4][5], conforme observa-se na Figura 1.

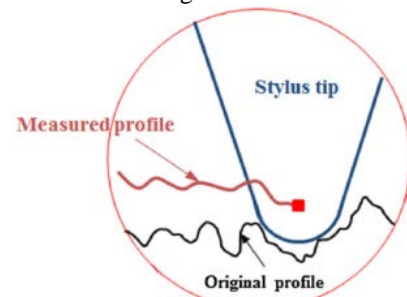


Figura 1: Limitação da resolução da medição causada pela ponta do rugosímetro digital [5]

O rugosímetro 3D de interferometria, também chamado de perfilômetro óptico, se baseia em princípios físicos relacionados à luz. Ao incidir um feixe luminoso sobre uma superfície, ele será refletido em várias direções de acordo com a inclinação do local incidente observe a Figura 2. A análise interferométrica das reflexões obtidas em uma região da peça, possibilita traçar o perfil da superfície do mensurando e assim obter a sua rugosidade.

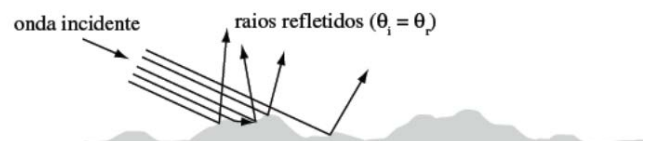


Figura 2. Princípio físico da reflexão difusa ocorrido em superfícies rugosas [6]

O processo de medição utilizando perfilometria óptica proporciona a vantagem de não realizar contato físico com a peça medida [4]. Entretanto, também existem limitações em relação à resolução da medição, determinados pela objetiva de magnificação e comprimento de onda utilizado [7][8].

Estes princípios de medição de rugosidade têm como base o modelo da linha média M, adotado no Brasil pelas Normas ABNT NBR 6405/1988 e NBR 8404/1984. Este sistema se baseia em uma reta paralela ao perfil da amostra, sendo que esta reta representará o valor médio entre picos e vales encontrados na rugosidade da peça conforme observase na Figura 3. Outros parâmetros da superfície do mensurando também podem ser definidos, como as rugosidades média, máxima e total.



Figura 3. Definição de linha média M [6]

A linha média M será aquela na qual a área acima da linha será igual à área abaixo da linha. Este é o parâmetro mais importante para obter os dados necessários para cumprir os objetivos propostos nesta análise.

2. OBJETIVOS

As pesquisas existentes sobre o assunto buscam estabelecer métodos analíticos ou simulações para determinar quais parâmetros e configurações produzem os melhores resultados para cada equipamento separadamente [5][7][9]. O presente trabalho foca na análise dos rugosímetros digital e 3D em uma única configuração, ou seja, é visada uma análise metrológica de ambos os equipamentos com parâmetros e configurações de medição mais similares possíveis. Desta forma, buscou-se ajustar os instrumentos para condições de medição semelhantes e, assim, estudá-los para este determinado arranjo.

Foram efetuadas medições em corpos de prova para estabelecer os parâmetros metrológicos dos rugosímetros e, a partir destes dados, compará-los. Ademais, pretendeu-se analisar o rugosímetro 3D obtido recentemente pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) e utilizar as funções únicas que este disponibiliza, como o mapeamento tridimensional da superfície da amostra. Tais aspectos podem contribuir como vantagem ou desvantagem para o uso de um instrumento em detrimento do outro.

Como a atividade foi realizada utilizando-se padrões de rugosidade, é possível analisar o quão fiel e exata é a medição dos aparelhos. Para isso, pressupõe-se que o padrão seja ideal. Os laboratórios utilizados para a pesquisa possuem controle de temperatura e umidade, que foram levados em consideração nos cálculos.

Buscou-se obter tabelas com os valores levantados das rugosidades das peças, para determinar os erros, a incerteza, a repetibilidade e outros parâmetros dos equipamentos de medição. É importante ressaltar que o foco deste trabalho não é calibrar os aparelhos em questão, e sim levantar dados para comparar os rugosímetros.

3. MÉTODOS

As medidas foram realizadas no dia 01 de Julho de 2013, começando às 13h. No momento de início das medições, é necessário anotar as condições de temperatura e umidade do ambiente no qual os dados serão recolhidos. No presente estudo, a temperatura ficou entre 18°C e 19°C, e a umidade relativa do ar permaneceu em 80% durante todo o procedimento.

As medições foram feitas com base no padrão de rugosidade disponível no laboratório, que é um tipo de mensurando largamente utilizado para esse tipo de medição. Tal padrão é da marca Instrutherm e seu valor nominal é de 3,26µm de rugosidade. O mesmo acompanha o rugosímetro digital utilizado, vindo calibrado de fábrica.

O processo de medição deve ser realizado de acordo com a seguinte sequência:

- 1) Limpeza do mensurando;
- 2) Escolha de ponto adequado a ser medido;
- 3) Programação de parâmetros desejados no rugosímetro para a medição;
- 4) Posicionamento do rugosímetro de forma adequada;
- 5) Realizar medições.

Primeiramente, é realizada a limpeza da superfície a ser medida, utilizando-se panos sem fibra de algodão e álcool isopropílico. Em seguida, é feita uma inspeção visual da peça, buscando uma área plana de tamanho considerável, sem imperfeições ou trincas aparentes, na qual a medição será realizada. A medição deve ser feita perpendicularmente aos sulcos formados pelo processo de usinagem, se possível. Caso a peça não possua sulcos decorrentes de sua fabricação, deve-se realizar medições em diversas direções. No padrão utilizado para o trabalho, há uma direção clara dos sulcos da superfície. Portanto, as medições com o rugosímetro digital foram realizadas perpendicularmente a essas fendas.

Em seguida, é feita a programação desejada do rugosímetro digital. No presente estudo, o aparelho foi programado para realizar as medições em um percurso de 0,8mm, sendo que haverá um comprimento extra antes e depois do espaço de medição, para garantir que não ocorram possíveis erros nas medições devido à aceleração e desaceleração da agulha que estava parada anteriormente. Ou seja, só são admitidos dados que sejam recolhidos quando o instrumento já estiver em regime constante. Também foi definido que o aparelho utilizasse o filtro *Gaussian filter*. Foi feita tal escolha de filtro por ser uma opção disponível em ambos os instrumentos, além de ser o modo mais usual para eliminar ruídos através de uma simplificação, baseada na linha média da medição.

É feito o ajuste da referência zero para o instrumento, garantindo que a região esteja plana em relação à direção que a agulha do rugosímetro digital deve percorrer conforme indicado na Figura 4.

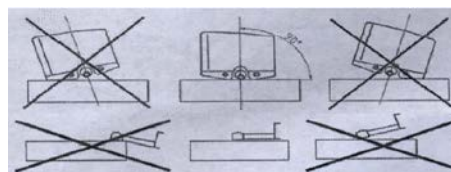


Figura 4. Posicionamento adequado do rugosímetro digital

O rugosímetro 3D possui os mesmos passos básicos citados até o momento. A diferença é que este não utiliza uma agulha para a medição. O posicionamento da peça é baseado na relativa perpendicularidade que sua superfície terá com o ponto de emissão do feixe de luz branca.

Com os equipamentos devidamente programados e posicionados, começam-se as medições. As seis medições de cada um foram feitas em diversas regiões do material, buscando abranger toda a sua superfície de forma aleatória.

No caso do rugosímetro 3D, a programação é feita no computador devidamente conectado ao aparelho. A partir dele são definidos os filtros e as coordenadas dos pontos nos quais as medições serão realizadas. Como resultado ele gera o perfil tridimensional da superfície da área medida e ainda pode gerar um perfil 2D do local, vídeos, dentre outros dados que o usuário deseje. A área escolhida foram seis quadrados de 0,83mm por 0,83mm, indicados na Figura 5.

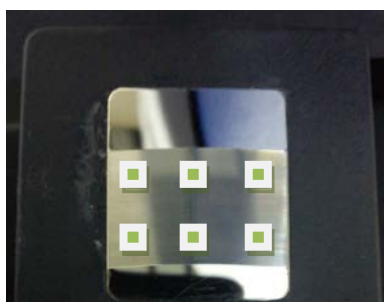


Figura 5: Pontos de medição escolhidos.

Convém ainda levantar que para as medições do rugosímetro 3D foi utilizada uma lente de 20X de aumento para observar a amostra. A distância ajustada entre a lente e a superfície foi de 4,7 mm.

Finalmente, para os dois aparelhos foi feito um balanço de incertezas. Os balanços de incertezas foram realizados a partir do modelo proposto por [10] conforme a norma ISO GUM. Para isso serão consideradas como incertezas a resolução do aparelho a ser calibrado e a repetibilidade do mesmo. A correção considerada será a obtida através da calibração. Não serão levadas em consideração interferências como a deriva térmica e a deriva temporal, por exemplo, já que não existem dados sobre essas incertezas dos aparelhos utilizados. Admitiu-se que o padrão é correto e representa o valor verdadeiro de medição.

4. RESULTADOS

Após a realização dos 6 ciclos de medição com cada rugosímetro obteve-se os dados indicados na Tabela 1 O mensurando utilizado foi o padrão de rugosidade média de 3,26 μm da marca Instrutherm.

Como base para as análises e conclusões do relatório, serão levados em conta os valores encontrados para Ra. Tal parâmetro é o valor que demonstra os princípios da linha média da rugosidade do perfil estudado.

A partir das indicações dos rugosímetros, é possível fazer o balanço de incertezas das medições para cada aparelho. Os cálculos feitos utilizam o coeficiente t de Student para 95% de abrangência. No caso, foi empregado o

valor de 2,571 que corresponde a 5 graus de liberdade. As Tabelas 2 e 3 apresentam os balanços de incertezas para os dois instrumentos.

Tabela 1: Indicações das medições realizadas

Medições	Rugosímetro Digital	Rugosímetro 3D	Unidade
1	3,340	3,331	μm
2	3,342	3,384	μm
3	3,323	3,349	μm
4	3,344	3,342	μm
5	3,335	3,388	μm
6	3,339	3,346	μm
Média	3,337	3,357	μm

Tabela 2: Balanço de incertezas para o rugosímetro digital

BALANÇO DE INCERTEZAS						
Processo de Medição: Rugosímetro Digital					Unidade: μm	
Efeitos						
Fontes de Incertezas		Sistemáticos	Aleatórios			
Símb.	Descrição	Correção	a	Distribuição	u	v
Re	Repetibilidade			normal	0,008	5
R	Resolução		0,0005	retangular	0,0003	∞
Ci	Correção das Indicações	-0,077				
Cc	Correção Combinada	-0,077				
uc	Incerteza Combinada			normal	0,008	5
U	Incerteza Expandida			normal	0,019	

Tabela 3: Balanço de incertezas para o rugosímetro 3D

BALANÇO DE INCERTEZAS						
Processo de Medição: Rugosímetro 3D					Unidade: μm	
Efeitos						
Fontes de Incertezas		Sistemáticos	Aleatórios			
Símb.	Descrição	Correção	a	Distribuição	u	v
Re	Repetibilidade			normal	0,024	5
R	Resolução		0,0005	retangular	0,0003	∞
Ci	Correção das Indicações	-0,097				
Cc	Correção Combinada	-0,097				
uc	Incerteza Combinada			normal	0,024	5
U	Incerteza Expandida			normal	0,061	

A Tabela 4 apresenta os resultados das medições, levando em consideração as correções e incertezas encontradas anteriormente.

Além dos valores relacionados à rugosidade, o rugosímetro 3D apresenta outras funções úteis para a análise da superfície. A cada medição, ele possui a capacidade de mapear o material analisado em 3D, como também

possibilita o corte dessa imagem, gerando um perfil da rugosidade em 2D. A Figura 6 mostra o mapeamento da superfície analisada.

Tabela 4: Resultados das medições realizadas

	Indicação	Correção	Resultado	Incerteza(±)	Unid.
Rugosímetro Digital	3,337	-0,077	3,260	0,019	µm
Rugosímetro 3D	3,357	-0,097	3,260	0,061	µm

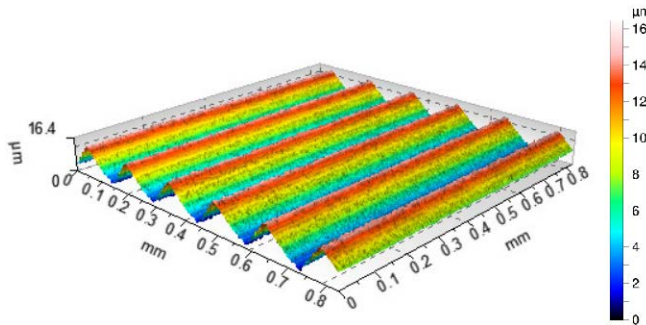


Figura 6: Mapeamento da superfície em 3D

O perfil 3D obtido da área medida pode ser aproximado para uma medição 2D. Para isso, o software realiza a média dos vales e picos nesta linha, gerando o seguinte perfil da amostra conforme mostra a Figura 7.

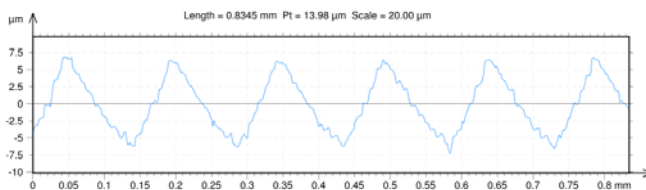


Figura 7: Vista em corte da superfície

Essas imagens e gráficos são gerados para auxiliar no processo de medição e demonstração dos dados encontrados.

5. CONCLUSÕES

Com base nas imagens da superfície geradas pelo rugosímetro 3D, é possível identificar que, mesmo considerando apenas o padrão de rugosidade, esta característica do material não é constante, caracterizando um mensurando variável.

A incerteza encontrada do rugosímetro 3D foi pouco mais de três vezes maior do que a levantada para o rugosímetro digital, contrariando muitas vezes a ideia de que o primeiro aparelho teria incertezas menores por ser mais novo e ter tecnologia mais avançada em sua construção. Isso pode ser explicado pelo fato de que o rugosímetro 3D varre uma superfície bidimensional inteira, enquanto que o digital analisa apenas uma linha reta. Assim, esse está muito mais susceptível às variações do mensurando ao longo da peça. Além disso, a filtragem mecânica do perfil da superfície através da agulha do rugosímetro digital contribui para a menor variação nas medições deste instrumento.

Todavia, como só foi analisado um único padrão, não é possível generalizar e afirmar qual dos instrumentos tem

menor incerteza. Estes valores podem ser específicos para a faixa medida dos instrumentos.

As inúmeras funcionalidades mostram a vasta aplicabilidade que o rugosímetro 3D pode ter na área de pesquisa, indústrias e qualidade. Portanto, é um investimento que pode ser útil, dependendo de onde é empregado.

AGRADECIMENTOS

Obrigado aos professores e alunos de iniciação científica do Departamento Acadêmico de Mecânica pela ajuda e disponibilidade.

REFERÊNCIAS

- [1] Dr. A. Piratelli Filho. *Rugosidade Superficial*, 3º Seminário de Metrologia da Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, Brasil, 2011.
- [2] M. T Gravalos, M. Martins, A. E. Diniz, P. R. MEI. *Influência da rugosidade na resistência à corrosão por pite em peças torneadas de aço inoxidável superaustenítico*. Revista Escola de Minas, Minas Gerais, Brasil, 2010.
- [3] P. J. Caber. *Interferometric profiler for rough surfaces*, Applied Optics Vol. 32, nº 19, 1993.
- [4] Y. Fainman, E. Lenz, J. Shamir. *Optical profilometer: a new method for high sensitivity and wide dynamic range*, Applied Optics Vol. 21, nº 17, 1982.
- [5] D. H. Lee, N. G. Cho. *Assessment of surface profile data acquired by a stylus profilometer*, Measurement Science and Technology Vol. 23, nº 10, 2012.
- [6] B. S. Parra, R. C. Gennari, F. G. Melchiades, A. O. Boschi. *Rugosidade Superficial de Revestimentos Cerâmicos*, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, Brasil, 2006.
- [7] C. Y. Poon, B. Bhushan. *Comparison of surface roughness measurements by stylus profiler, AFM and non-contact optical profiler*, Wear Journal Vol. 190, nº 1, 1995.
- [8] P. Pavlicek. *Influence of surface roughness on the measurement uncertainty of white-light interferometry*, 16th Polish-Slovak-Czech Optical Conference on Wave and Quantum Aspects of Contemporary Optics, 2008.
- [9] M. N. Durakbasa, P. H. Osanna, P. Demircioglu. *The factors affecting surface roughness measurements of the machined flat and spherical surface structures – The geometry and the precision of the surface*, Journal of the International Measurement Confederation Vol. 44, nº 10, 2011.
- [10] A. Albertazzi, A. R. de Sousa. *Fundamentos de metrologia científica e industrial*. Barueri, São Paulo: Manole, 2008.