

## EFEITOS DOS PARÂMETROS DE ASSIMETRIA E CURTOSE DE SUPERFÍCIES NO COMPORTAMENTO TRIBOLÓGICO EM ENSAIO PINO SOBRE DISCO

Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba4640@hotmail.com<sup>1</sup>

Davi Alves da Silva, davi.alves@hotmail.com<sup>1</sup>

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br<sup>1</sup>

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br<sup>2</sup>

Cíntia Dayhane de Abreu Martins, cinthiadayanne1@hotmail.com<sup>3</sup>

Thayná Orcines da Silva Couto, thaynaosc@gmail.com<sup>3</sup>

Ana Luiza Ramos Ferreira, analuiza\_ramosferreira@hotmail.com<sup>3</sup>

Guilherme Henrique Ferreira Lopes, guilhermehfl96@gmail.com<sup>3</sup>

Daniel Junio Severino Ferreira Pinto, danieljsfp2010@gmail.com<sup>3</sup>

Carlos Alberto de Sousa Neves, casnevesengmecanico@gmail.com<sup>2</sup>

Diego Barbosa Pratis Santos, diegopratis@gmail.com<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Engenharia Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

<sup>2</sup>Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenharia Mecânica, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

<sup>3</sup>Centro Universitário UNA, Engenharia Mecânica, Rua dos Aimorés, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

**Resumo.** O atrito é influenciado pela topografia das superfícies, uma vez que há deformação, segregações, filme de óxido, entre outros. Durante o deslizamento entre duas superfícies em contato, dois tipos de interações geralmente ocorrem: deformação plástica localizada de asperezas e sulcamento. Investigações da rugosidade sobre o comportamento do atrito mostraram que os parâmetros de assimetria ( $R_{sk}$ ) e curtose ( $R_{ku}$ ) apresentam maior influência do que os parâmetros convencionais  $R_a$  e  $R_q$ . Em geral, superfícies com assimetria negativa e curtose positiva contribuem para a redução do atrito. Sendo assim, este estudo teve como objetivo investigar o efeito dos parâmetros  $R_{sk}$  e  $R_{ku}$  na superfície do aço USI AR 360 faceada por torneamento e fresamento no ensaio tribológico pino sobre disco. Avaliou-se o coeficiente de atrito em três pistas de deslizamento de cada disco faceado. Resultados mostraram que superfícies com o mesmo  $R_a$  e  $R_q$  podem ser distinguidas pelo parâmetro  $R_{sk}$ . Distintos comportamentos foram observados na análise das curvas de atrito, onde o efeito de  $R_{sk}$  mostrou tendência a reduzir o atrito. Supõe-se que a orientação das marcas de avanço em relação à direção de deslizamento também influenciou nos resultados.

**Palavras chave:** Coeficiente de atrito, Assimetria, Curtose, Fresamento, Torneamento.

### 1. INTRODUÇÃO

O coeficiente de atrito é influenciado pela topografia das superfícies, uma vez que há deformação, segregações, filme de óxido, entre outros. A deformação das asperezas pode ser elástica, plástica, viscoelástica ou viscoplástica, dependendo da pressão de contato, rugosidade e propriedades do material (ASM, 1992; Bhushan, 2013). A influência da rugosidade no atrito depende muito se as asperezas são deformadas elasticamente ou plasticamente. De acordo com Blau (2009), em resumo, o acabamento inicial da superfície desempenha um papel no atrito se: a pressão de contato é pequena o suficiente para evitar a perda por desgaste; a resistência ao desgaste dos materiais é alta o suficiente para preservar características da superfície após o deslizamento prolongado; na presença de líquidos, o regime de lubrificação é afetado pela rugosidade da superfície; e se a microgeometria da superfície é capaz de reter partículas soltas.

A caracterização de superfícies através da rugosidade é um método muito abordado no controle dos processos de fabricação. Em geral, o parâmetro  $R_a$  é o mais utilizado. No entanto, Petropoulos et. al. (2010) apud Sória (2016) comentam dentre outros pontos que  $R_a$  não distingue picos de vales e não diferencia o perfil de rugosidade. O parâmetro de assimetria ( $R_{sk}$ ) é utilizado para distinguir perfis que apresentam a mesma  $R_a$  ou  $R_q$ . Uma distribuição simétrica de altura é refletida na assimetria zero. Assimétrias positivas têm picos que se projetam acima de uma média mais plana, enquanto assimétrias negativas têm vales profundos em planalto mais suave. No entanto,  $R_{sk}$  não detecta se os picos

estão distribuídos uniformemente. Nesse caso, utiliza-se a curtose,  $R_{ku}$ , que descreve a nitidez de densidade de probabilidade do perfil. Superfícies com relativamente poucos picos altos e vales baixos são refletidos em uma curtose menor que 3, enquanto valor de curtose acima de 3 indica muitos altos picos e vales baixos (Stout, 1980; Leach, 2011; Hobson, 2011; Neto, 2017; Gadelmawla et al. 2002, apud Sedláček et al., 2017).

Este estudo teve como objetivo investigar a influência dos parâmetros de rugosidade  $R_{sk}$ ,  $R_{ku}$  na superfície do aço USI AR 360 faceada por torneamento e fresamento no ensaio tribológico de deslizamento pino sobre disco. O coeficiente de atrito foi avaliado em três pistas de deslizamento de cada disco faceado. Os ensaios foram parametrizados com carga normal de 5N, velocidade periférica de 0,2m/s e 15 minutos de deslizamento. Na busca de se obter respostas mais confiáveis, o estudo se dispôs de ferramentas estatísticas para avaliar a ocorrência de diferença significativa dos parâmetros abordados entre as superfícies estudadas.

## 2. MÉTODOS EXPERIMENTAIS

O material utilizado para usinagem dos discos foi o aço USI AR 360 ( $360 \leq HB \leq 400$ ). A rugosidade inicial foi mensurada com o rugosímetro portátil Mitutoyo SJ-210. Em seguida, foram submergidos em banho de thinner em um limpador ultrassônico Elmasonic S 10H. A Figura 1 mostra os discos faceados.

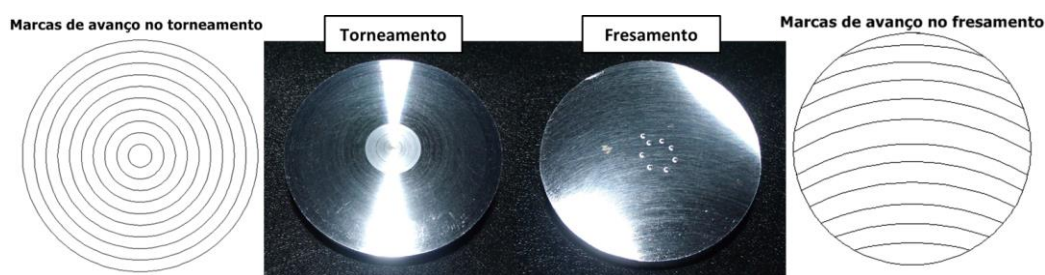


Figura 1. Discos preparados para o ensaio de deslizamento.

Com intuito de avaliar a influência dos parâmetros de  $R_{sk}$  e  $R_{ku}$ , as superfícies foram faceadas para obter  $R_a$  e  $R_q$  estatisticamente iguais segundo 95% de confiabilidade. A partir de 10 medições em posições distintas, obtiveram-se os valores médios de rugosidade. Foram realizados testes de hipóteses entre as médias obtidas por meio do Teste T de Student e Mann-Whitney U Test. Além da rugosidade, avaliou-se estatisticamente também o coeficiente de atrito por meio do software StatSoft, Inc. (2011) STATISTICA versão 10.

O ensaio de deslizamento pino sobre disco foi realizado no equipamento Microtest SMT-A/0100-MT/60/Nl, segundo a Norma ASTM G99 – 05, cujos parâmetros foram: carga normal de 5N, velocidade periférica de 0,2 m/s, três pistas (raios de 23, 18 e 13mm) de desgaste por disco e 15 minutos de deslizamento. Ao todo, seis pinos de metal duro ( $\approx 1750$  HV) com 3mm de raio de ponta foram utilizados, um para cada pista de deslizamento. As pistas foram identificadas pela letra R seguida dos valores dos raios (R23, R18 e R13), enquanto os ensaios foram identificados a partir do valor do raio da pista e do processo de faceamento dos discos (F = Fresamento e T = Torneamento), sendo então apresentados na seguinte ordem de execução: F23, F18, F13, T13, T18 e T23.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1. Rugosidade inicial das superfícies

Conforme mostrado na Tab. 1, o valor de p, menor que 0,05 indicou que apenas  $R_{sk}$  foi estatisticamente diferente, sendo então o parâmetro chave para diferenciar os perfis de rugosidade. A superfície fresada apresentou a menor assimetria, com valor de 28% em relação à superfície torneada, indicando menor presença de picos. Mudanças na geometria da ponta da ferramenta podem modificar a forma da superfície. Uma ferramenta pontiaguda pode tender a tornar a superfície mais pontiaguda do que uma ferramenta com raio de ponta. O avanço não só altera o comprimento periódico e de correlação, mas também modifica a altura pico-vale,  $R_{sk}$  e  $R_{ku}$  (Stout, 1980). Recentemente, Neto (2017) investigou o efeito entre os métodos de medição com contato e sem contato da rugosidade, tendo como variáveis de entrada: material, processo de usinagem, avanço e a profundidade de corte. Na análise dos resultados, o autor argumentou que  $R_{sk}$  e  $R_{ku}$  não apresentaram tendência definida em relação às variáveis, sendo necessário relacioná-los a outros parâmetros para uma adequada caracterização do perfil de rugosidade. Em outro estudo recente, Dzierwa (2017) afirmou que a assimetria pode ser usada para planejar superfícies e topografias de superfície exibindo comportamentos tribológicos desejados sob condições de deslizamento a seco. Parâmetros como  $S_{sk}$  e  $S_{ku}$  são matematicamente menos estáveis do que outros parâmetros como o  $S_q$ , uma vez que incluem alta ordem em suas equações, resultando na propagação de erros. Portanto, devido à sua incerteza, devem ser usados com muito cuidado.

Tabela 1. Teste T de significância dos valores médios de rugosidade  $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_{sk}$  e  $R_{ku}$

| Variável | Nº de amostras | Média Fresamento ( $\mu\text{m}$ ) | Média Torneamento ( $\mu\text{m}$ ) | Desv. Padrão Fresamento ( $\mu\text{m}$ ) | Desv. Padrão Torneamento ( $\mu\text{m}$ ) | Graus de liberdade | p-valor |
|----------|----------------|------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------------|--------------------------------------------|--------------------|---------|
| $R_a$    | 10             | 0,503                              | 0,484                               | 0,097                                     | 0,036                                      | 18                 | 0,572   |
| $R_q$    | 10             | 0,620                              | 0,604                               | 0,115                                     | 0,049                                      | 18                 | 0,689   |
| $R_{sk}$ | 10             | 0,070                              | 0,249                               | 0,129                                     | 0,162                                      | 18                 | 0,013   |
| $R_{ku}$ | 10             | 2,744                              | 2,736                               | 0,257                                     | 0,198                                      | 18                 | 0,937   |

### 3.2. Análise da curva de atrito

Na Figura 2 podem ser observadas as curvas de coeficiente de atrito versus revoluções ao longo do ensaio tribológico para as três pistas de cada disco, apresentadas segundo o raio de pista 23, 18 e 13mm e a ordem de execução, para fins comparativos em função do processo de faceamento. Verificaram-se diferentes comportamentos (magnitude e tempo) iniciais do coeficiente de atrito e logo em seguida, a sua estabilização, possibilitando distinguir as fases de running-in e regime estacionário. A curva (a) caracteriza-se por uma superfície contaminada por partículas de baixa resistência ao cisalhamento que podem formar um filme protetor, no caso da superfície com mais vales (menor  $R_{sk}$ ), preenchendo os vales e atuando como uma lubrificação limítrofe. O aumento do atrito é decorrente do crescimento de junções na interface, até que a área real de contato seja suficiente para suportar a carga normal e dar início ao regime estacionário.

Em (b) observa-se durante o running-in dois períodos de transição e estabilização. Na estabilização, sugere-se que há presença de uma camada de óxido protetora, sustentada pela superfície, cuja baixa resistência ao cisalhamento mantém o atrito baixo. Na transição, o aumento do atrito se dá pela quebra dessa camada de óxido e deformação das asperezas. Em seguida,  $\mu$  mantém-se aproximadamente constante em um maior valor, provavelmente pela presença de debris na interface sem crescimento de junções. Na próxima transição, os debris são removidos da interface e a área real de contato é capaz de suportar a carga normal, resultando na redução e estabilização do atrito. Como tal superfície possui maior  $R_{sk}$  do que a fresada supõe-se então uma menor capacidade de reter os debris, fazendo com que eles permaneçam um maior tempo na interface de contato. Segundo Blau (2009), essa mudança de regime ocorre possivelmente devido ao crescimento de trincas por fadiga subsuperficial que leva ao surgimento de debris que modificam o sistema tribológico, de dois para três corpos. Zmitrowicz (2005) afirma que as partículas de desgaste presas entre as superfícies de deslizamento afetam o comportamento tribológico. Variações no atrito mostram a evolução da quantidade de detritos no contato; uma estabilidade de  $\mu$  indica uma quantidade constante de detritos na interface de contato. As curvas (c) e (f) podem ser interpretadas de formas semelhantes à (b), com algumas particularidades. Observa-se em (f) que a provável camada de óxido inicial permaneceu por um maior tempo na interface (até 300 revoluções) do que em (c). Além disso, a curva (f) apresentou o maior tempo de running-in (até 900 revoluções) do que em (c) (até 550 revoluções). Isso leva à hipótese de que  $R_{sk}$  tem influência no tempo necessário para o coeficiente de atrito alcançar o regime estacionário. Nas curvas (d) e (e) a interpretação aproxima-se à curva típica do atrito entre metais, com um crescimento gradual do atrito decorrente da grande interação entre as asperezas e as impurezas presentes na interface. Em seguida, a superfície se torna mais lisa, a área real de contato torna-se suficiente para suportar a carga, o desgaste é reduzido e consequentemente o atrito também (Blau, 2009).

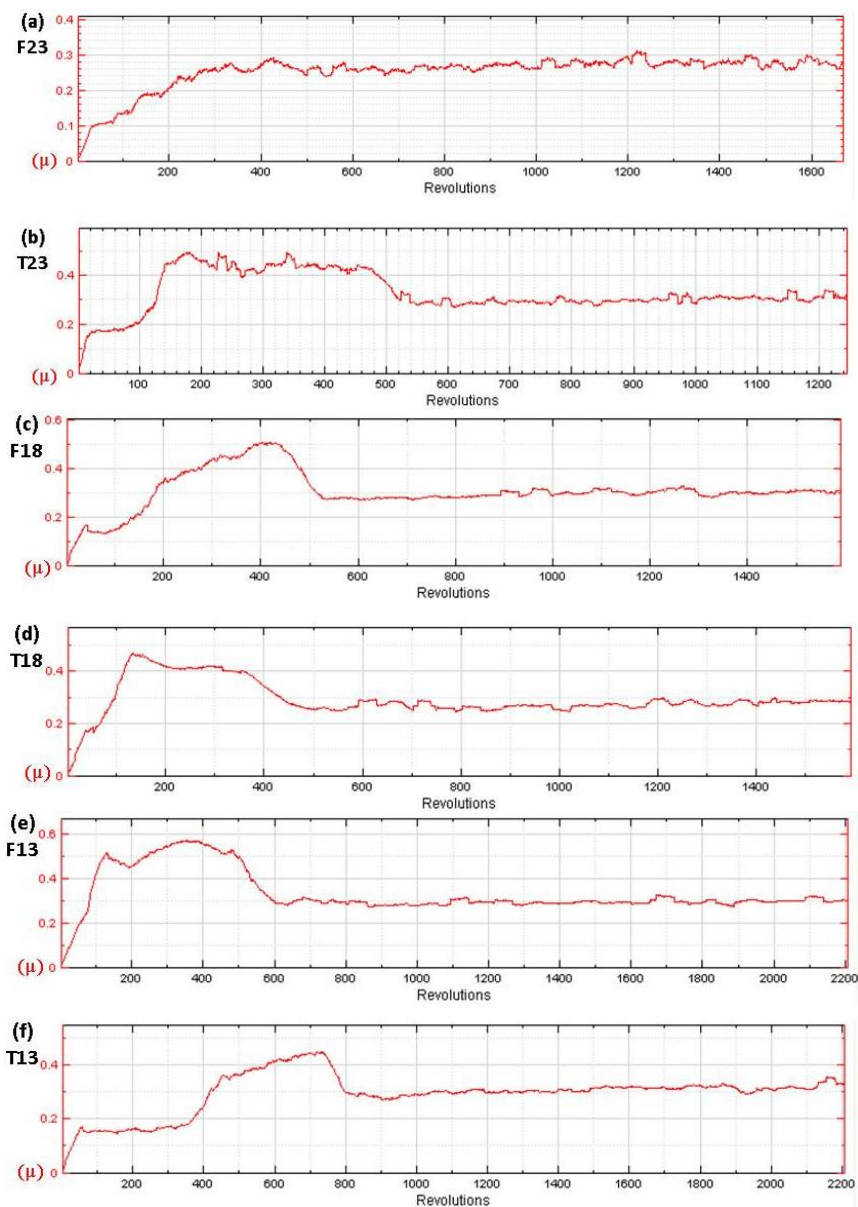


Figura 2. Curvas de atrito – (a) F23, (b) T23, (c) F18, (d) T18, (e) F13 e (f) T13.

Na avaliação do regime estacionário, das três pistas de deslizamento, duas apresentaram menor coeficiente de atrito para a superfície fresada. Conforme os valores médios apresentados na Tab. 3, na pista R23 houve uma diferença de 9%, 11% na pista R18 e 2% na pista R13. Pode-se observar na Tab. 4 que tais resultados foram estatisticamente significantes ( $p$ -valor < 0,05).

Tabela 3. Estatística descritiva do coeficiente de atrito

| Ensaio | Nº de amostras | Média<br>Coeficiente de atrito | Desv. Padrão |
|--------|----------------|--------------------------------|--------------|
| F23    | 172            | 0,280                          | 0,012        |
| T23    | 172            | 0,308                          | 0,012        |
| F18    | 172            | 0,303                          | 0,009        |
| T18    | 172            | 0,269                          | 0,011        |
| F13    | 172            | 0,288                          | 0,011        |
| T13    | 172            | 0,293                          | 0,009        |

Tabela 4. Teste Mann-Whitney U de significância do coeficiente de atrito

| Raio da pista (mm) | Nº de amostras | Somatório de posições (ranking) Fresamento | Somatório de posições (ranking) Torneamento | Fator U calculado | p-valor |
|--------------------|----------------|--------------------------------------------|---------------------------------------------|-------------------|---------|
| R23                | 172            | 16253,000                                  | 43087,000                                   | 1375,000          | 0,000   |
| R18                | 172            | 44068,000                                  | 15272,000                                   | 394,000           | 0,000   |
| R13                | 172            | 25720,000                                  | 33620,000                                   | 10842,000         | 0,000   |

Justificando-se pela assimetria, a superfície com menor  $R_{sk}$  pode apresentar maior capacidade de reter impurezas ou até debris oriundos da quebra de filme óxido, reduzindo o número de partículas que poderiam atuar na interface como um terceiro corpo no sistema tribológico. Na pista R18, o resultado controverso pode estar relacionado a diferentes características locais da rugosidade, contrárias aos resultados estatísticos, ou a maior presença de debris conforme explicado na curva (c) da Fig. 2. Em estudo recente realizado por Liang et al. (2018), a superfície de seis amostras de aço AISI 1045 foi preparada com o intuito de obter diferentes rugosidades ( $R_a$ ,  $R_q$ ,  $R_{sk}$  e  $R_{ku}$ ). O atrito e desgaste foram avaliados por meio do ensaio esfera sobre disco. Os resultados indicaram que no incremento de  $R_{sk}$ , o coeficiente de atrito aumenta e o tempo de transição de desgaste inicial encurta. Em outro estudo recente, Sedlaček et al. (2017) buscaram confirmar a influência dos parâmetros de assimetria e curtose da superfície do aço 100Cr6 sob o atrito no ensaio pino sobre disco, preparando diferentes superfícies usinadas a laser. Confirmou-se que os parâmetros mais dominantes em termos do comportamento do atrito das superfícies de contato são  $S_{sk}$  e  $S_{ku}$ . Quanto mais negativo for  $S_{sk}$ , menor será o atrito.

Além da magnitude da assimetria, outra característica topográfica pôde ter interferido no comportamento do coeficiente de atrito: a orientação das marcas de avanço do faceamento em relação à direção de deslizamento do pino. Na Figura 1 observa-se que as marcas de avanço do torneamento estão na mesma direção de deslizamento, enquanto que na superfície fresada as marcas variam de  $0^\circ$  a  $90^\circ$ . Com base nos resultados de  $\mu$ , quando as asperezas seguem a mesma direção do deslizamento, a superfície de contato do pino provavelmente é sustentada constantemente por um comprimento de apoio, similar a um trilho-guia. À medida que o tempo de deslizamento aumenta, a largura do “trilho” de aspereza aumenta, dando então incremento ao coeficiente de atrito, que seria maior em relação à superfície fresada, onde o contato prevaleceria intermitente, pois a orientação do “trilho” de aspereza não permanece constante, alternando de  $0^\circ$  a  $90^\circ$  em relação ao deslizamento do pino. Estudando o atrito lubrificado usando filmes plásticos, Jeng (1990) apud Blau (2009), observou que a menor altura de aspereza gerava menor atrito e essa rugosidade transversal produz menos atrito do que a rugosidade longitudinal. Recentemente, Charsetad e Khorsandijou (2013) estudaram a influência da magnitude e direção das asperezas sob o coeficiente de atrito. As direções de contato entre as superfícies foram variadas em  $0^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $135^\circ$  e  $180^\circ$ . Os autores concluíram que o coeficiente de atrito depende da rugosidade superficial e da direção de contato das asperezas. No entanto, essa relação é muito complexa para ser prevista analiticamente.

#### 4. CONCLUSÕES

Concluiu-se que superfícies com a mesma  $R_a$  e  $R_q$  podem ser distinguidas pelo parâmetro de assimetria. A superfície faceada por fresamento apresentou  $R_{sk}$  significativamente menor, com valor de 28% em relação à superfície torneada, indicando menor presença de picos. Distintos comportamentos do coeficiente de atrito foram observados na análise das curvas, onde o efeito da assimetria mostrou tendência a reduzir o tempo de running-in e o coeficiente de atrito. Em duas das três pistas de deslizamento  $\mu$  foi estatisticamente menor (9% em R23 e 2% em R13) para a superfície com menor  $R_{sk}$ . A maior presença de vales pode favorecer a retenção de partículas que poderiam estar na interface de contato, atuando como corpos abrasivos. Tal característica da superfície também permite que o desgaste das asperezas mais altas, ocorra rapidamente, encurtando o tempo de transição para o regime estacionário, ou dizendo de outra forma, consegue-se a área real de contato necessária para suportar a carga em regime estacionário mais rapidamente. Além disso, supõe-se que a orientação das marcas de avanço em relação à direção de deslizamento também tenha influenciado no coeficiente de atrito. Houve uma tendência de  $\mu$  reduzir à medida que as marcas orientam-se de  $0^\circ$  para  $90^\circ$  pois, nessa condição a área de contato na direção de deslizamento é menor.

#### 5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao apoio oferecido pelos laboratórios de usinagem do Centro Universitário UNA, de Microscopia Eletrônica de Varredura da PUC Coração Eucarístico e de Tribologia da Universidade Federal de Minas Gerais.



## 6. REFERÊNCIAS

- ASM Metals Handbook, 1992, “Friction, Lubrication, and Wear Technology”, Vol. 18, United States of America, 1879p.
- Blau, P. J., 2009, “Friction science and technology: from concepts to applications”, Society of Tribologists and Lubrication Engineers, 2 ed., New York, United States, 420 p.
- Bhushan, B., 2013, “Introduction to tribology”, John Wiley & Sons, 2 ed, New York, United States, 732p.
- Charsetad, H.; Khorsandijou, S. M., 2013, “Effect of Surface Roughness on Steel-Steel Dry Friction Coefficient”, Journal of Mechanical Research and Application, Vol. 4, No. 3, 2012, 45-56p.
- Dzierwa, A., 2017, “EFFECTS OF SURFACE PREPARATION ON FRICTION AND WEAR IN DRY SLIDING CONDITIONS”, TRIBOLOGIA, 25–31p.
- Hobson, T., 2011, “Exploring Surface Texture: A fundamental guide to the measurement of surface finish”, Taylor Hobson Limited, 7 ed, England, 110p.
- Leach, R. K., 2011, “Measurement Good Practice Guide No 37: The Measurement of Surface Texture using Stylus Instruments”, National Physical Laboratory, Teddington, Middlesex, United Kingdom, 97p.
- Liang, G.; Schmauder, S.; Lyu, M.; Schneider, Y.; Zhang, C.; Han, Y., 2018, “An Investigation of the Influence of Initial Roughness on the Friction and Wear Behavior of Ground Surfaces”, Materials, 11, 237.
- Neto, W. S. M., 2017, “COMPARAÇÃO DO EFEITO DO MÉTODO DE MEDIÇÃO COM CONTATO E SEM CONTATO NA RUGOSIDADE”. Dissertação (mestrado), Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, Uberlândia.
- Sedlaček, M.; Gregorčič, P.; Podgornik, B., 2017, “Use of the Roughness Parameters Ssk and Sku to Control Friction—A Method for Designing Surface Texturing”, Tribology Transactions, Vol. 60, No. 2, 260–266.
- Sória, B. S., 2016, “ESTUDO DO COMPORTAMENTO DAS VIBRAÇÕES EM FRESAMENTO FRONTAL DO AÇO INOXIDÁVEL AISI 316 UTILIZANDO TRANSFORMADA DE WAVELET”, Dissertação (mestrado), Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- Stout, K., 1980, “How smooth is smooth?.” Special Report MACH 80. The Production Engineer.
- Zmitrowicz, A., 2005, “WEAR DEBRIS: A REVIEW OF PROPERTIES AND CONSTITUTIVE”, MODELS JOURNAL OF THEORETICAL AND APPLIED MECHANICS, 43, 1, pp. 3-35, Warsaw.

## 7. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

## EFFECTS OF THE ASYMMETRY AND CURTOSE PARAMETERS OF SURFACES ON TRIBOLOGICAL BEHAVIOR IN TESTING PINE ON DISC

Elhadji Cheikh Talibouya Ba, cheikh.ba4640@hotmail.com<sup>1</sup>

Davi Alves da Silva, davi.alves@hotmail.com<sup>1</sup>

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br<sup>1</sup>

Paulo Sérgio Martins, paulo.martins@prof.una.br<sup>2</sup>

Cíntia Dayhane de Abreu Martins, cinthiadayanne1@hotmail.com<sup>3</sup>

Thayná Orcines da Silva Couto, thaynaosc@gmail.com<sup>3</sup>

Ana Luiza Ramos Ferreira, analuiza\_ramosferreira@hotmail.com<sup>3</sup>

Guilherme Henrique Ferreira Lopes, guilhermehf196@gmail.com<sup>3</sup>

Daniel Junio Severino Ferreira Pinto, danieljsfp2010@gmail.com<sup>3</sup>

Carlos Alberto de Sousa Neves, casnevesengmecanico@gmail.com<sup>2</sup>

Diego Barbosa Pratis Santos, diegopratis@gmail.com<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal de Minas Gerais, Engenharia Mecânica – Av. Pres. Antônio Carlos, 6627, Pampulha, CEP: 31270-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

<sup>2</sup>Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais, Engenharia Mecânica, Av. Dom José Gaspar, 500, Coração Eucarístico, CEP 30535-901, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

<sup>3</sup>Centro Universitário UNA, Engenharia Mecânica, Rua dos Aimorés, 1451, Lourdes, CEP. 30140-071, Belo Horizonte, Minas Gerais – Brasil.

**Abstract.** *The friction is influenced by the topography of the surfaces, since there is deformation, segregation, oxide film, among others. During the sliding between two surfaces in contact, two types of interactions usually occur: localized plastic deformation of roughness and groove. Investigations of the roughness on the behavior of the friction showed that the parameters of asymmetry ( $R_{sk}$ ) and kurtosis ( $R_{ku}$ ) present greater influence than the conventional parameters  $R_a$  and  $R_q$ . In general, surfaces with negative asymmetry and positive kurtosis contribute to the reduction of friction. Thus, this study aimed to investigate the influence of the  $R_{sk}$  and  $R_{ku}$  parameters on the surface of the USI AR 360 steel faced by turning and milling in the pin-to-disk tribological test. The coefficient of friction was evaluated in three runways of each face disc. Results showed that surfaces with the same  $R_a$  and  $R_q$  can be distinguished by the asymmetry parameter. Different behaviors were observed in the analysis of the friction curves, where the  $R_{sk}$  effect showed a tendency to reduce the friction. In addition, it is assumed that the orientation of the leading marks in relation to the sliding direction also influenced the results.*

**Keywords:** *Coefficient of friction, Roughness, Asymmetry, Kurtosis, Milling, Turning.*

## RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.