

XXII Congresso Nacional de Estudantes de Engenharia Mecânica – 19 a 23/10/2015 – Campos dos Goytacazes – RJ**RESISTÊNCIA AO DESGASTE MICRO-ABRASIVO EM FERRAMENTAS DE METAL DURO TEXTURIZADAS POR LASER DE FEMTOSSEGUNDOS****Pâmella Jureves Esteves, Patrícia Alves Barbosa**

Universidade Federal do Espírito Santo – Centro Tecnológico – Departamento de Engenharia Mecânica
Av. Fernando Ferrari, 514, 29075-910 – Vitória/ES
pjesteves_pje@hotmail.com, patricia.a.barbosa@ufes.br

Marcelo Bertolete Carneiro

Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – Departamento de Engenharia de Produção
Av. Trabalhador São Carlense, 400, 13566-590 – São Carlos/SP
bertolete@sc.usp.br

Rui Vilar

Instituto Técnico Superior – Universidade Técnica de Lisboa
Av. Rovisco Pais, 1049-001 – Lisboa/Portugal
rui.vilar@ist.utl.pt

Ricardo Elgul Samad, Nilson Dias Vieira Júnior, Wagner de Rossi

Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – Centro de Lasers e Aplicações
Av. Lineu Prestes, 2242, 05508-000 – São Paulo/SP
resamad@ipen.br, nilsondv@ipen.br, wderossi@ipen.br

RESUMO: O trabalho tem como objetivo avaliar a influência da texturização, por laser de femtossegundos, na superfície de saída de ferramentas de metal duro na resposta de resistência ao desgaste abrasivo (K^{-1}). Para isso, foram realizados ensaios de microabrasão na configuração esfera fixa, utilizando ferramentas sem e com dois padrões de textura diferentes, mantendo-se a rotação da esfera, carga normal e tempo de ensaio constantes em 37,6 rpm, 1,25 N e 2,6 min, respectivamente. Os resultados mostraram que a superfície de saída da ferramenta de metal duro texturizada com o padrão de Textura 2 pode ser uma alternativa promissora para melhoria do desempenho tribológico, uma vez que houve um aumento na resistência ao desgaste de 54% em comparação com a superfície de referência.

Palavras-Chave: texturização, ferramenta de metal duro, resistência ao desgaste abrasivo

ABSTRACT: *The aim of this study is to evaluate the femtosecond laser texturing effect on rake face of cemented carbide tools by abrasive wear resistance response. Therefore, micro-abrasive wear tests with fixed ball configuration were performed on cemented carbide tools non-textured and with two different texture patterns ones. Ball rotational speed, normal load and test time were kept constant during the tests, 37.6 rpm, 1.25 N and 2.6 min, respectively. The output variable used is the abrasive wear resistance (K^{-1}). The results shown rake face textured with texture pattern 2 can be a potential alternative to improve tribological performance, since there was a wear resistance increase of 54% in comparison the rake face reference.*

Keywords: *texturing, cemented carbide tool, abrasive wear resistance*

INTRODUÇÃO

Com a atual competitividade do mercado, a indústria metal-mecânica está fadada a busca constante por inovação tecnológica, a fim de se obter vantagem comercial e suprir a demanda deste setor que tem apresentado um crescimento exponencial ao longo dos anos (Dedalus Consulting, 2011; Barbosa *et al.*, 2015). Portanto, para satisfazer esta demanda se faz necessária a produção de peças com alta qualidade e em grandes quantidades por unidade de tempo, o que na usinagem dos metais significa aumentar a produtividade e manter ou aprimorar a qualidade (Trent & Wright, 2000; Suarez, 2012). Quando se refere ao aumento da produtividade, trata-se de forma direta da eficiência da ferramenta de corte (Machado *et al.*, 2015). Nesse sentido, estudos sobre a interface cavaco-ferramenta, zona onde ocorre grande desgaste da ferramenta devido ao alto atrito atribuído à grande aderência (Machado *et al.*, 2015), tornam-se de grande contribuição para o aprimoramento do desempenho da ferramenta. Trent, desde a década de 30, incentivou pesquisas sobre o comportamento tribológico na interface, o que gerou novas tecnologias que permitiram o aumento da vida útil dos insertos (Suarez, 2012).

A tribologia pode ser definida como uma matéria interdisciplinar que estuda o atrito, desgaste e lubrificação das superfícies em contato (Hutchings, 1992). Dessa forma, a aplicação da tribologia na usinagem contribui no sentido de avaliar o contato entre o cavaco e a superfície de saída da ferramenta de corte, visando a diminuição do desgaste e consequentemente, promovendo o prolongamento do tempo em serviço da ferramenta (Suarez, 2012). Uma técnica altamente utilizada é a adição de revestimento, que confere além da resistência ao desgaste, indicando um melhor desempenho tribológico pelo endurecimento da superfície, baixo coeficiente de atrito do material do revestimento, estética de acabamento e proteção à oxidação (Diniz *et al.*, 2004.; Shaw, 2005; Neves *et al.*, 2006.; Zhang *et al.*, 2015). Novas técnicas avançadas de fabricação estão surgindo como propostas de pesquisas para o melhoramento do comportamento tribológico, tais como a alteração topográfica da superfície através do emprego da texturização a laser (*Laser Surface Texturing – LST*). Segu *et al.*, 2013.; Shum *et al.*, 2013.; Youqiang *et al.*, 2013 obtiveram bons resultados tribológicos no emprego do *LST* em suas amostras.

O laser de femtossegundos (10^{-15} s) é uma nova tecnologia que utiliza lasers de pulsos ultracurtos, cuja finalidade é ablacionar um material através de radiação de energia com tempo de duração do pulso menor que o período de vibração térmica da rede cristalina, restringindo a difusão térmica (Samad *et al.*, 2012). Isso possibilita texturizar uma superfície preservando as propriedades do material pela eliminação da zona afetada pelo calor (ZAC) ou camada re-solidificada (Liang *et al.*, 2003; Kawasegi *et al.*, 2009; Wang *et al.*, 2010; Samad *et al.*, 2012; Barbosa *et al.*, 2015).

Portanto, o objetivo deste trabalho é avaliar o efeito da texturização por laser de femtossegundos na resistência ao desgaste micro-abrasivo de ferramentas de metal duro.

METODOLOGIA

Foram utilizadas ferramentas triangulares de metal duro da classe P, sem revestimento e sem quebra-cavaco. Uma ferramenta foi utilizada como referência, permanecendo com a superfície de saída sem texturização. A superfície de saída de outras duas ferramentas, foram texturizadas em um sistema laser de pulsos ultracurtos de Ti:Safira, modelo, Femtopower Compact Pro HR / HP da Femtolasers. Em cada ferramenta fez-se um padrão diferente de microsulcos paralelos, com distância entre os canais (passo) de 65 e 95 μm , utilizando uma energia de 7 μJ , largura temporal de 30 fs, comprimento de onda centrado em 775 nm, taxa de repetição controlada de 4 kHz e uma velocidade de varredura do feixe de 6 mm/min. As texturas foram ablacionadas com um único passe do laser. A Fig. (1) representa o esquema da configuração das microtexturas e os padrões dos diferentes microsulcos e a Tab. (1) mostra a caracterização feita por interferometria (ZeGage/Zygo).

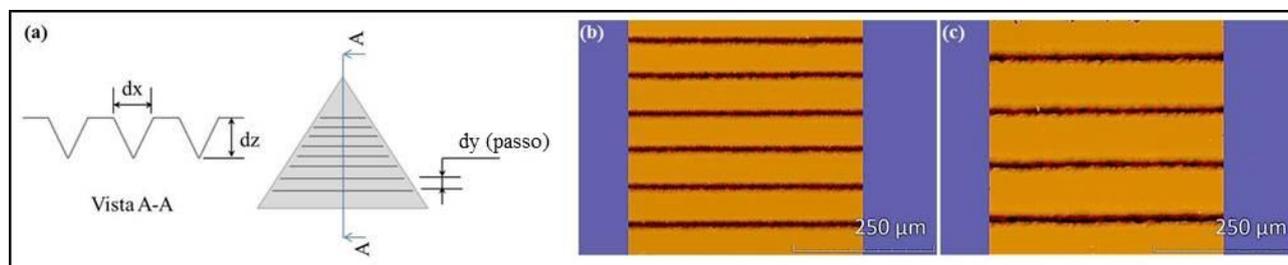


Figura 1. Configuração esquemática do padrão das microtexturas na superfície de saída das ferramentas de metal duro (a) e vista superior das superfícies texturizadas feitas por interferometria (b) Textura 1 e (c) Textura 2

Tabela 1. Características dimensionais dos diferentes tipos de microtexturas

	dx (largura) - [μm]	dz (profundidade) - [μm]	dy (passo) - [μm]
Sem Textura (Referência)	-	-	-
Textura 1	30	25	65
Textura 2	30	25	95

Os ensaios de desgaste microabrasivo na configuração esfera fixa foram executados em um micro-abrasômetro TE 66 da Plint. Foi utilizada uma esfera de aço temperado AISI 52100 com diâmetro 25,4 mm como contra-corpo com sentido de rotação perpendicular aos microsulcos, o abrasivo adicionado na região de contato entre a esfera e a superfície de saída da ferramenta de metal duro foi carboneto de silício (SiC) em solução com água numa concentração de 0,52 gSiC/cm³H₂O e taxa padrão de gotejamento de 12 gotas/min. Os parâmetro de ensaio foram mantidos fixos como descrito na Tab. (2).

Tabela 2. Condições de ensaio de micro-abrasão

Velocidade de rotação da esfera – n	37,6 rpm
Carga normal – N	1,25 N
Distância deslizada – S	46,8 m
Tempo de teste – t	156 s (2,6 min)
Número de repetições	3

A resistência ao desgaste (k^{-1}) foi estimada através do cálculo do coeficiente de desgaste (k), segundo a lei de desgaste de Archard (Rutherford & Hutchings, 1996; Yahya & Todd, 2012), conforme a Eq. (1).

$$k = \frac{V}{SN} \quad (1)$$

onde V é o volume da cratera de desgaste, S é a distância deslizada e N é a carga normal aplicada.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através do perfilômetro Talysurf CLI 1000, foram avaliados o perfil médio das texturas, o formato da calota de desgaste, a fim de validar a Eq. (1) para o cálculo do coeficiente de desgaste, através do volume desgastado da cratera.

A Fig. (2) ilustra os dois diferentes perfis das Texturas 1 e 2, fazendo uma análise comparativa, observa-se que as amostras possuem os vales em formato V e que a diferença existente consiste apenas no passo, como descrito na Tab. (1), visto que a Textura 1 possui uma distância menor entre os microsulcos do que a Textura 2.

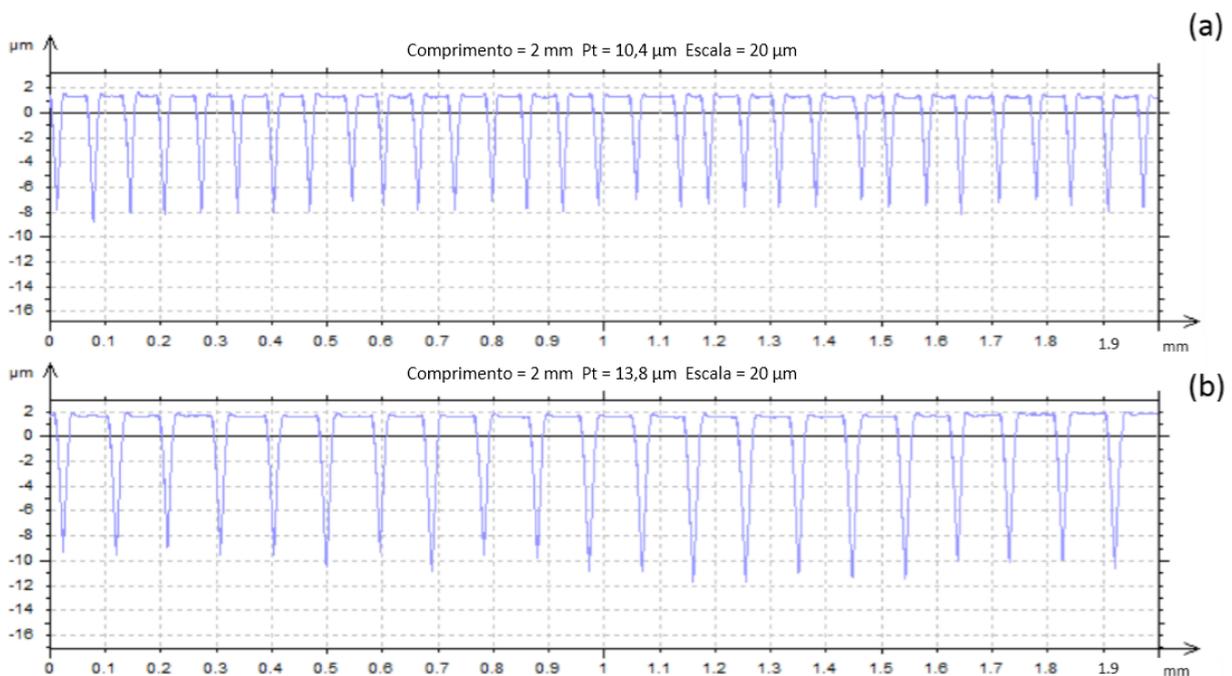


Figura 2. Perfil das texturas obtidas por perfilometria de contato (a) Textura 1 e (b) Textura 2

A Fig. (3) apresenta as calotas típicas de desgaste geradas pelo ensaio de micro-abrasão, onde pela geometria verifica-se o formato esférico das impressões. O volume das crateras foi encontrado após aplicação de um filtro nas imagens da topografia com objetivo de retirar a rugosidade superficial para minimização dos erros, uma vez que as amostras texturizadas já sofreram processo de remoção de material pelo laser de femtossegundos, como mostrado na Fig. (4).

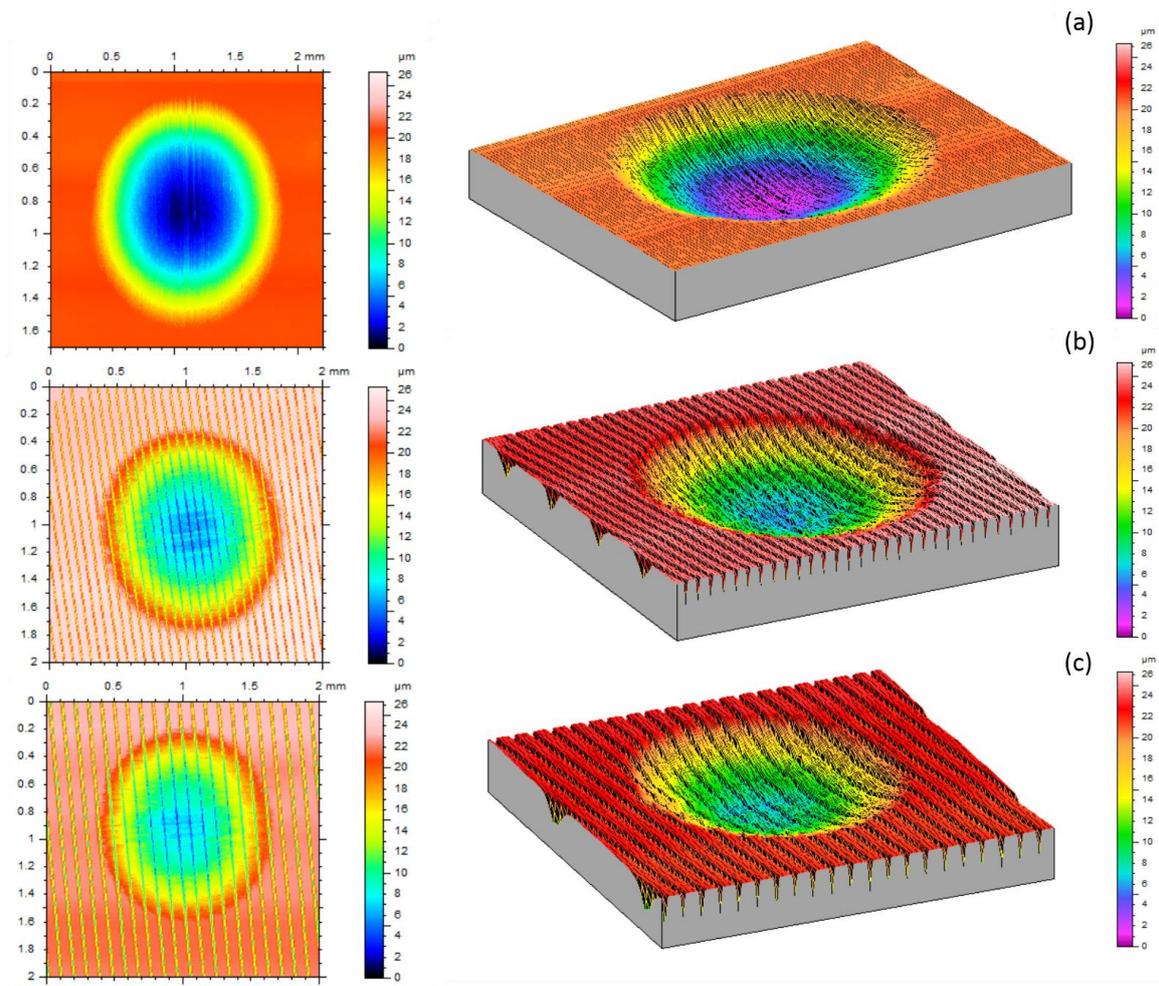


Figura 3. Cratera de desgaste esférica (a) Sem Textura, (b) Textura 1 e (c) Textura 2

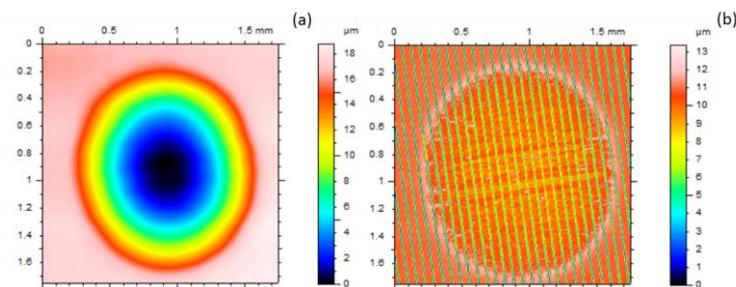


Figura 4. Aplicação do filtro na calota com Textura 1 - (a) Cratera de desgaste e (b) Rugosidade superficial

Na Tab. (3) estão expostos os valores medidos do volume desgastado e os calculados do coeficiente de desgaste ($K_{\text{médio}}$) e da resistência ao desgaste (K^{-1}).

Tabela 3. Resultados do volume desgastado, coeficiente de desgaste médio e resistência ao desgaste abrasivo para as três superfícies avaliadas

	Volume desgastado (m^3) $\times 10^{11}$	$K_{\text{médio}} \times 10^{13}$ (m^2/N)	$K^{-1} \times 10^{-12}$
Sem Textura	1,580	2,700	3,708
Textura 1	1,452	2,482	4,029
Textura 2	1,021	1,744	5,734

As amostras texturizadas mostraram-se promissoras na melhoria do desempenho tribológico, onde houve um aumento de 8% e 54% na resistência ao desgaste abrasivo das Textura 1 e 2, respectivamente, em comparação com a superfície de referência.

A Textura 1 apresentou resultado inferior à Textura 2, podendo ser explicado pelo menor espaçamento entre os microsulcos, o que pode ter contribuído para fragilizar a textura e reduzir a resistência à fratura frágil, principalmente quando o material da amostra tem dureza superior ao do contra-corpo (Suarez, 2012). Por outro lado, Hutchings (1995) anunciou que quanto menor a área de contato entre o corpo e o contra-corpo, menor seria o atrito, o que acarretaria em uma redução do desgaste. Portanto, pode haver um padrão otimizado de microsulcos que contribuam para melhoria da resistência ao desgaste.

Resultados similares foram encontrados por Segu et al, 2013; Shum et al, 2013; Youqiang et al, 2013, onde após aplicação de *LST* em suas amostras e realização de ensaios tribológicos com variações da geometria da textura encontraram resultados bem sucedidos que estão em consonância com os obtidos neste trabalho.

CONCLUSÃO

Do ensaios de micro-abrasão realizado em dois diferentes padrões de textura e comparados com uma superfície não texturizada, foi concluído que as superfícies texturizadas, Textura 1 e 2, apresentaram uma melhoria no desempenho tribológico relativa à resistência ao desgaste abrasivo de 8% e 54%, respectivamente. Os resultados sugerem que existe um espaçamento ideal entre as ranhuras, onde ocorre redução do atrito, sem que haja perdas significativas nas características de resistência mecânica do material.

AGRADECIMENTOS

Ao PIIC/PIBIC, FAPES e CNPq (405707/2013-4; 150490/2014-3; 150188/2015-3) pelo apoio financeiro, ao TRICORRMAT e LCSM pela disponibilização da infraestrutura para realização dos ensaios e análise das superfícies.

REFERÊNCIAS

- Barbosa, P.A., Bertolete, M., Samad, R.E., Júnior, N.D.V., Machado, I.F., Machado, Á.R., Vilar, R. and de Rossi, W., 2015. "Investigation of Femtosecond Laser Texturing in Cemented Carbide Cutting Tools". In *Proceedings of the Laser in Manufacturing Conference – LiM2015*. Munich, Germany.
- Dedalus Consulting, 2011, "Cutting Tools: World Markets, End-Users & Competitors: 2010-2015 Analysis & Forecast", 500p.
- Diniz, A.E., Marcondes, F.C. and Coppini, N.L., 2004. *Tecnologia da Usinagem dos Metais*. Art Liber Editora, São Paulo, 4th edição.
- Hutchings, I.M., 1995. *Tribology: Friction and Wear of Engineering Materials*. Arnold, London, 2nd edition.
- Kawasegi, N., Sugimori, H., Morimoto, H., Morita, N. and Hori, I., 2009. "Development of cutting tools with microscale and nanoscale textures to improve frictional behavior". *Precision Engineering*, Vol. 33, p. 248-254.
- Liang, W.L., Ngoi, B.K.A., Lim, L.E.N., Venkatakrisnan, K. and Hee, C.W., 2003. "Micromachining of circular ring microstructure by femtosecond laser pulses". *Optics & Laser Technology*, Vol. 35, p. 285-290.
- Machado, A.R., Abrão, A.M., Coelho, R.T., and da Silva, M.B., 2015. *Teoria da Usinagem dos Materiais*. Edgard Blücher, São Paulo, 3rd edição, 371 p.
- Neves, D., Diniz, A.E., and de Lima, M.S.F., 2006. "Efficiency of the laser texturing on the adhesion of coated twist drills". *Journal of Materials Processing Technology*, Vol. 179, p. 139-145.
- Rutherford, K.L. and Hutchings, I.M., 1996. "A micro-abrasive wear test, with particular application to coated systems". *Surface and Coatings Technology*, Vol. 79, p. 231-239.
- Samad, R.E.; Machado, L.M.; Junior, N.D.V.; de Rossi, W., 2012. "Ultrashort laser pulses machining". In *Laser Pulses – Theory, technology and applications*. Prof. Igor Peshko, editor, InTech, p.143-174.
- Segu, D.Z., Choi, S.G., Choi, J-h and Kim, S.S., 2013. "The effect of multi-scale laser texturing surface on lubrication regime". *Applied Surface Science*, Vol. 270, p. 58-63.
- Shaw, M.C., 2005. *Metal cutting principles*. Oxford University Press, New York, 2nd edition.
- Shum, P.W., Zhou, Z.F. and Li, K.Y., 2013. "Investigation of the tribological properties of the different textured DLC coatings under reciprocating lubricated conditions". *Tribology International*, Vol. 65, p. 259-264.
- Suarez, M. P., *Influência da texturização a laser em ferramentas de metal duro revestidas na usinagem do aço ABNT 1050*, 2012, 168 f., Tese de Doutorado, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia MG.
- Trent, E.M. and Wright, P.K., 2000. *Metal Cutting*. Ed. Butterworth-Heinemann, London, 446p.
- Wang, X.C., Zheng, H.Y., Chu, P.L., Tan, J.L., The, K.M., Ang, B.C.Y. and Tay, G.H., 2010. "High Quality Femtosecond Laser Cutting of Alumina Substrates". *Optics and Laser in Engineering*, Vol. 48, p. 657-663.
- Yahya, N.A. and Todd, R.I., 2012. "Influence of C doping on the fracture mode and abrasive wear of Al₂O₃". *Journal of the European Ceramic Society*, Vol. 32, p. 4003-4007.

- Youqiang, X., Jianxin, D., Xiuting, F. and Sheng, Y., 2013. "Effect of laser surface texturing on Si₃N₄/TiC ceramic sliding against steel under dry friction". *Materials and Design*, Vol. 52, p. 234-245.
- Zhang, K., Deng, J., Xing, Y., Li, S. and Gao, H. "Effect of microscale texture on cutting performance of WC/Co-based TiAlN coated tools under different lubrication conditions". *Applied Surface Science*, Vol. 326, p. 107-118.

DECLARAÇÃO DE RESPONSABILIDADE

Os autores são os únicos responsáveis pelo material impresso contido neste artigo.