

IMPACTO DA RUGOSIDADE INICIAL DO ELETRODO NO RESULTADO DE TRABALHO DO PROCESSO DE ELETROEROSÃO POR PENETRAÇÃO

Felipe Schell Russi

Igor Teixeira

Luiz Carlos Santana de Freitas

Denis Boing

UNIFEBE – Centro Universitário de Brusque, Rua Dorval Luz, 123 – Santa Terezinha – CEP: 88352-400 – Brusque/SC – Cx.

Postal: 1501

felipe.russi@unifebe.edu.br, igorteixeira@unifebe.edu.br, luizcsdefreitas@unifebe.edu.br, denisboing@unifebe.edu.br

Resumo. A usinagem por descargas elétricas (EDM) tem como particularidade a capacidade de usinar geometrias complexas em materiais (condutores de eletricidade) com dureza elevada, por meio da fusão provocada por descargas elétricas intermitentes entre o eletrodo ferramenta e a superfície a ser usinada. Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da rugosidade inicial do eletrodo, na rugosidade do eletrodo após a usinagem, na rugosidade da superfície erodida e no volume de desgaste do eletrodo. Os eletrodos foram fabricados com cobre eletrolítico e foram utilizadas três diferentes topografias iniciais, usinado com avanço de 0,05 mm, 0,2 mm, e polido. O material do corpo de prova foi o aço AISI P20 – (23 ± 1) HRC. Verificou-se que a rugosidade inicial do eletrodo (F020 ($S_a = 2,43 \pm 0,18 \mu\text{m}$); F005 ($S_a = 0,80 \pm 0,04 \mu\text{m}$); Polido ($S_a = 0,28 \pm 0,03 \mu\text{m}$)) não possui efeito significativo com relação à rugosidade das superfícies nos eletrodos após o processo de EDM ($S_a = 0,82 \pm 0,08 \mu\text{m}$). O eletrodo F020 possuiu a maior taxa de desgaste ($W_{RM} = (1,85 \pm 0,23) \mu\text{m}^3$) 18% maior que os desgastes das superfícies F005 e polido. A rugosidade do corpo de prova ($S_a = 1,74 \pm 0,07 \mu\text{m}$) ficou em média 56% maior que a média obtida em relação ao eletrodo após o processo de EDM.

Palavras chave: Eletroerosão. Eletrodo. Rugosidade. Desgaste de ferramentas.

1. INTRODUÇÃO

De acordo com Lazoglu e Altintas (2002), as indústrias de injeção de plásticos, buscando cada vez mais formas harmônicas para a apresentação de produtos, fez com que o uso de produtos contendo formas geométricas complexas se intensificasse, e com isso, as exigências de projeto industrial, quanto à forma e precisão. De acordo com Löttgen (2003), dentre todos os processos de usinagem de moldes, a eletroerosão (EDM – *Electrical Discharge Machining*) e o fresamento são os mais utilizados, ambos são amplamente empregados para gerar cavidades com superfícies complexas.

Segundo Boujelbene (2004), nos produtos fabricados pelo processo de injeção, o produto é a cópia da geometria do molde, cuja fabricação e manutenção do molde podem representar cerca de 30% do valor do produto final. O produto fabricado por injeção de plásticos, tipicamente possui nível de acabamento da superfície na ordem de $R_a < 0,1 \mu\text{m}$, seja por fator estético ou pelo fator higiênico. Para isso, os moldes precisam ter um acabamento polido ($R_a < 0,1 \mu\text{m}$). De forma geral então, quando o processo de eletroerosão é utilizado, na fabricação de moldes e matrizes, quanto menor for a rugosidade gerada pelo processo de EDM, mais fácil se tornam os processos subsequentes, especialmente o de polimento.

Na eletroerosão por penetração, o eletrodo-ferramenta possui a forma espelhada da cavidade a ser produzida na superfície do eletrodo-peça. A forma final é obtida pela remoção sucessiva de pequenas quantidades de material por microfusão localizada, através de descargas elétricas pontuais entre os eletrodos que se encontram submersos em um meio isolante. Segundo Hadad, Bui e Nguyen (2017) a descarga elétrica ocorre pico a pico das superfícies eletrodo ferramenta e eletrodo peça. Com o avanço do processo de EDM estes picos vão se tornando cada vez menores, consequentemente alterando sua topografia e a rugosidade da superfície. Dentre os parâmetros de saída do processo de EDM, segundo Keskin et al. (2006), a rugosidade da superfície é o resultado de trabalho mais considerado, em comparação com o desgaste do eletrodo e a taxa de remoção de material, por exemplo (Yusup, Zain e Hashim, 2012).

Ramirez e Franco (2015) avaliaram a rugosidade da superfície (parâmetro R_a) no processo EDM, usinando o aço inoxidável AISI 316 com eletrodos de cobre. Dois parâmetros de usinagem foram considerados: profundidade de penetração entre 3 e 7 mm, e corrente máxima durante a descarga (i_e) variando entre 6 A e 14 A. Os resultados do experimento comprovaram que quanto menor a intensidade de corrente (6 A), menor a rugosidade final da superfície, que obteve um valor próximo a $R_a = 6 \mu\text{m}$ de rugosidade, independentemente da profundidade de erosão utilizada nos ensaios.

Bose e Mahapatra (2014) investigaram a rugosidade da superfície no processo EDM na usinagem do aço AISI H13. Três parâmetros de usinagem foram considerados: corrente máxima durante a descarga (i_e) de 7 A até 11 A, duração do

intervalo entre duas sucessivas descargas (t_o) de 12 μ s até 20 μ s e duração do pulso de tensão (t_i) de 16 μ s até 24 μ s. O resultado mostrou que a duração do pulso de tensão (t_i) é o que mais influencia no valor de R_a , assim, o melhor resultado de rugosidade $R_a = 3,46 \mu$ m, foi obtido com os parâmetros: $t_i = 24 \mu$ s, $t_o = 16 \mu$ s e $i_e = 7$ A.

Eletrodos com superfícies rugosas tendem a desgastar mais em comparação com eletrodos menos rugosos, Hadad, Bui e Nguyen (2017) afirmam que o motivo de uma superfície com maior nível de rugosidade desgastar mais em relação às menos rugosas, deve-se ao fato de que para eletrodos mais rugosos, um maior volume de picos de rugosidade do eletrodo será derretido antes de se obter uma área efetiva de faíscas, porém, após certo tempo de trabalho os eletrodos assumem a mesma topografia final.

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da rugosidade inicial do eletrodo, na rugosidade do eletrodo após a usinagem, bem como na superfície erodida (corpo de prova) e no volume de desgaste do eletrodo.

2. PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os experimentos foram realizados em uma máquina de eletroerosão (EDM) da marca Engemaq, modelo EDM 440 NC. Parâmetros de processo típicos para operações de acabamento foram adotados: duração do pulso de tensão (t_i) = 10 μ s, duração do intervalo entre duas sucessivas descargas (t_o) = 75 μ s, corrente máxima durante a descarga (i_e) = 1 A, tensão média da descarga (v_e) = 1 V. As dimensões do corpo de prova foram 100x50x50mm, fabricado com aço AISI P20 – (23 ± 1) HRC.

Os eletrodos foram fabricados a partir de uma barra de cobre eletrolítico com $\varnothing 12,7$ mm. A Fig. 1.a mostra a geometria dos eletrodos ferramenta. A rugosidade dos eletrodos foi utilizada como variável nos experimentos. Para a confecção dos eletrodos ferramenta, foi utilizado um torno CNC marca Romi modelo GL 240. Foram utilizados três eletrodos com diferentes rugosidades. Para atingir os valores de rugosidade, avanços de 0,2 mm (F020) e 0,05 mm (F005), foram utilizados no processo torneamento, sendo o terceiro eletrodo (polido) submetido ao processo de polimento, com pano para polimento metalográfico e pasta de alumina suspensa. A profundidade erodida no corpo de prova foi de 2 mm.

O desgaste do eletrodo foi avaliado pelo parâmetro W_{RM} (volume de material removido da ferramenta em relação à superfície de referência). A metodologia adotada para aferir o desgaste do eletrodo, compara superfícies antes e depois de serem submetidas ao processo de usinagem (Boing, 2016), utilizando um microscópio de variação de foco (FVM), Alicona® - InfiniteFocus G5. A metodologia é apresentada na Figura 1.b.

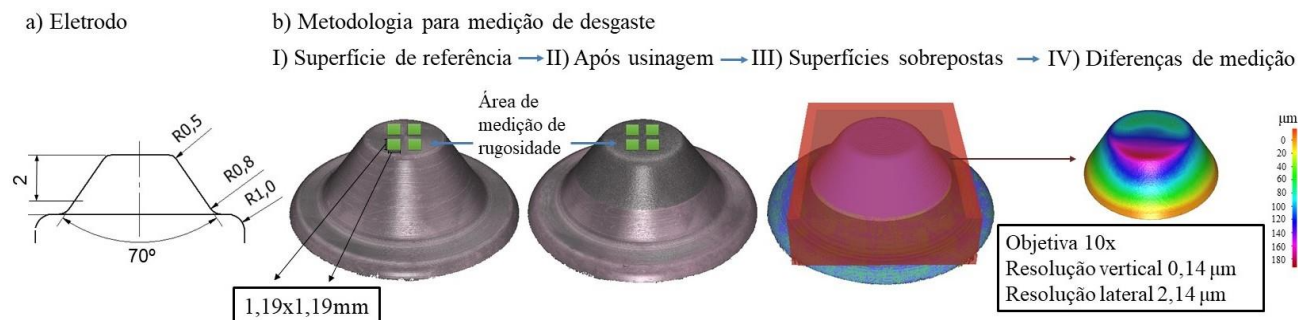


Figura 1. a) Dimensões do eletrodo e b) metodologia para avaliação do desgaste

As rugosidades da superfície do corpo de prova e do topo do eletrodo foram avaliadas pelo parâmetro S_a utilizando um microscópio de variação de foco (FVM), Alicona® - InfiniteFocus G5. Foram avaliadas quatro áreas no topo do eletrodo (para cada um dos eletrodos propostos e suas repetições) e a respectiva região correlata na peça usinada.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Fig. 2 mostra os resultados da rugosidade da superfície do eletrodo antes e após a usinagem, bem como da área correlata no corpo de prova. Antes da usinagem os eletrodos possuem diferenças significativas na rugosidade – variável adotada nos experimentos. Os eletrodos F020 possuíam uma rugosidade de $S_a = (2,43 \pm 0,18) \mu$ m, enquanto os eletrodos F005 e polido, possuíam respectivamente rugosidades de $S_a = (0,80 \pm 0,04) \mu$ m e $S_a = (0,28 \pm 0,03) \mu$ m.

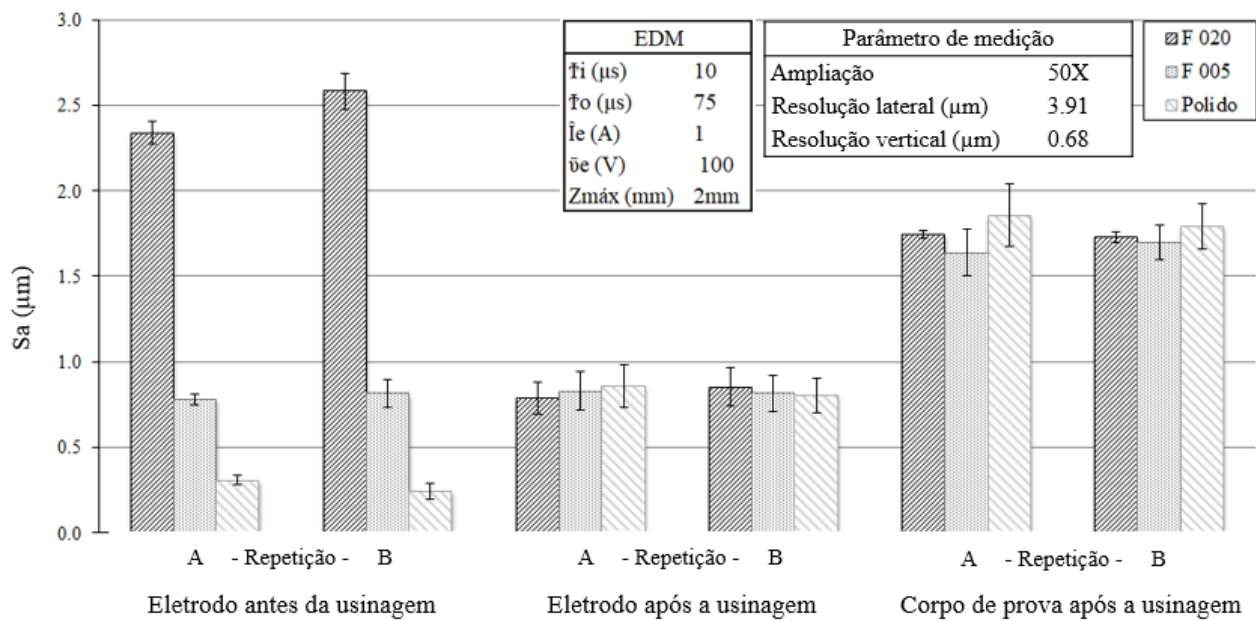


Figura 2. Rugosidade do eletrodo antes da usinagem, após a usinagem e da área correlata do corpo de prova

Conforme os resultados mostrados na Fig. 2 verifica-se que o nível médio de rugosidade do topo do eletrodo após usinagem se manteve homogêneo, mantendo com média de $Sa = (0,82 \pm 0,08) \mu m$. Com a mesma tendência dos eletrodos após a usinagem, a rugosidade do corpo de prova também apresentou pouca variação (F020; F005 e Polido), média $Sa = (1,74 \pm 0,07) \mu m$. Observa-se também que os dados de rugosidade obtidos para o corpo de prova, $Sa = (1,74 \pm 0,07) \mu m$, têm em média o dobro da rugosidade obtida no topo do eletrodo, $Sa = (0,82 \pm 0,08) \mu m$.

As diferentes topografias iniciais dos eletrodos (F020; F005 e Polido), não causaram impacto na rugosidade do eletrodo após a usinagem, bem como no corpo de prova usinado. Para complementar a explicação, a Fig. 3 mostra a diferença da topografia dos eletrodos F020 e Polido, comparando a superfície inicial com o estado da superfície após o processo de EDM.

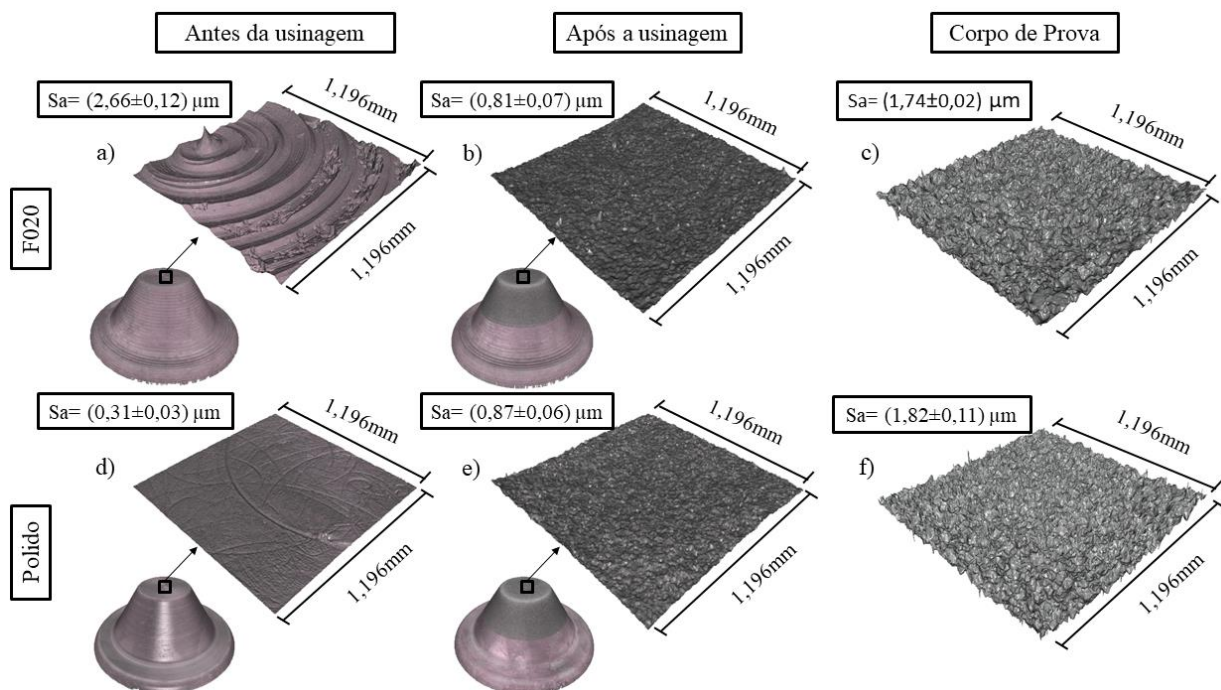


Figura 3. Topografia dos eletrodos e da superfície erodida

Verifica-se que a topografia do eletrodo F020 é periódica, relativa à cinemática no processo de torneamento. Já a superfície com acabamento polido não tem uma superfície periodicamente definida. As topografias visualizadas após o processo de EDM, independente da topografia de entrada obtiveram uma superfície aperiódica, fato característico do processo de eletroerosão. Os resultados de desgaste dos eletrodos ferramenta no parâmetro W_{RM} estão mostrados na Fig. 4.

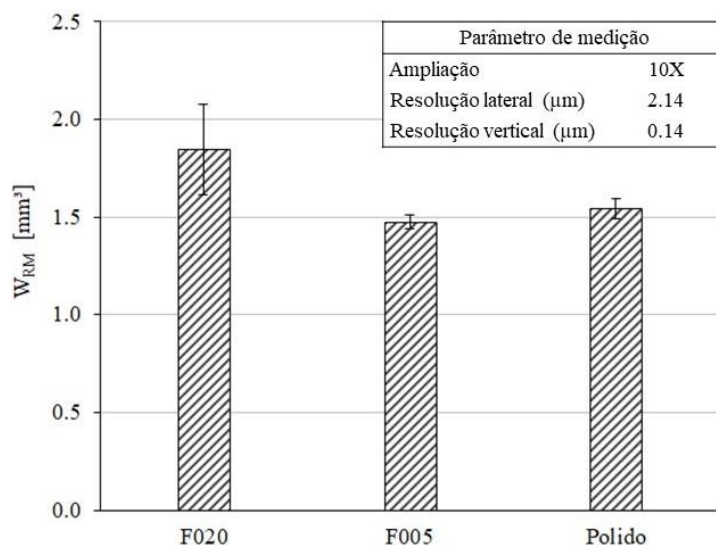


Figura 4. Volume de desgaste dos eletrodos

Para os valores de rugosidade mais baixos utilizados (eletrodos F005 e polido), o nível de desgaste ficou semelhante. O nível médio de desgaste para o eletrodo F020, ficou cerca de 22,5% maior em comparação com as superfícies menos rugosas. Assim como destacado por Mendonça, Schlotefeldt e Senger (2006), verifica-se nível de rugosidade influencia no desgaste total do eletrodo. De acordo com Hadad, Bui e Nguyen (2017), com uma baixa rugosidade inicial da superfície da ferramenta, existe uma quantidade maior de picos e vales entre a superfície do eletrodo e a superfície do corpo de prova, porém a quantidade e o volume desses picos são menores do que os picos e vales no eletrodo mais rugoso. A diferença na rugosidade inicial da superfície da ferramenta não impacta na rugosidade da peça devido ao desgaste inicial que ocorre na ferramenta, após certo ponto da erosão a superfície torna-se aperiódica, tornando a superfície das três ferramentas similares.

3. CONCLUSÕES

Com base nos resultados do presente estudo experimental, visando relatar o impacto da rugosidade inicial do eletrodo no resultado de trabalho do processo de eletroerosão por penetração, as seguintes conclusões podem ser apontadas:

- A rugosidade inicial do eletrodo não possui efeito significativo com relação à rugosidade das superfícies nos eletrodos após o processo de EDM;
- O eletrodo ferramenta F020 (maior valor de rugosidade) possuiu a maior taxa de desgaste ($W_{RM} = (1,85 \pm 0,23) \mu\text{m}^3$), 18% maior que os desgastes das superfícies F005 ($W_{RM} = (1,48 \pm 0,03) \mu\text{m}^3$) e polida ($W_{RM} = (1,54 \pm 0,05) \mu\text{m}^3$);
- A rugosidade inicial do eletrodo não possui efeito significativo na rugosidade do corpo de prova. A rugosidade final dos corpos de prova é 56% maior que a rugosidade do eletrodo após o processo de EDM;

4. REFERÊNCIAS

- Boing, D., 2016. "Transição da aplicação do metal-duro revestido e do PCBN no torneamento de aços endurecidos em função da dureza e do teor de carbonetos". Florianópolis: Tese de Doutorado UFSC.
- Bose, G. K., Mahapatra, K. K., 2014. "Parametric study of die sinking EDM process on AISI H13 tool steel using statistical techniques". *Journal of advances in production engineering and Management*, Haldia.
- Boujelbene, M., Moisan, A., Tounsi, N., Brenier, B., 2004. "Productivity enhancement in dies and molds manufacturing by the use of C1 continuous tool path. *International Journal of Machine Tool & Manufacture*". v.44, p.101-107.
- Hadad, M., Bui, L. Q., Nguyen, C. T., 2017. "Experimental investigation of the effects of tool initial surface roughness on the electrical discharge machining (EDM) performance". Tehran: Springer-verlag.

- Keskin, Y., Halkaci, H. S., Kizil, M., 2006 “An experimental study for determination of the effects of machining parameters on surface roughness in electrical discharge machining”, *Int. J. Adv. Manufacturing Technology*, 28, pp. 1118-1121.
- Lazoglu, I., Altintas, Y., 2002. “Prediction of tool and chip temperature in continuous and interrupted machining”. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, v.42, pp. 1011-1022.
- Löttgen, R., 2003. “Edm or Hsm? Which technology wins concerning die and mold making? Mikron AG, Nidau, Switzerland”. *Seminário internacional de Alta Tecnologia*, Unimep, p.227-253.
- Mendonça, G. M., Schlotefeldt, A. A., Senger, V., 2006. “Estudo de desgaste, taxa de remoção e rugosidade superficial em eletrodos de latão, bronze e cobre na eletroerosão por penetração”. Santa Catarina: Researchgate.
- Ramirez, C. M., Franco, P., 2015. “Experimental Study of Surface Finish During Electro-Discharge Machining of Stainless Steel”. Cartagena: Elsevier.
- Yusup, N., Zain, A. M., Hashim, S. Z. M., 2012 “Evolutionary techniques in optimizing machining parameters: Review and recent applications (2007–2011)”. 39. ed. Louisiana: Elsevier. 9927 p.

5. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

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

IMPACT OF THE ELECTRODE INITIAL SURFACE ROUGHNESS IN THE MACHINING RESULTS OF THE ELECTRICAL DISCHARGE MACHINING PROCESS

Felipe Schell Russi

Luiz Carlos Santana de Freitas

Igor Teixeira

Denis Boing

UNIFEBE – Centro Universitário de Brusque, Rua Dorval Luz, 123 – Santa Terezinha – CEP: 88352-400 – Brusque/SC – Cx. Postal: 1501

felipe.russi@unifebe.edu.br, luizcsdefreitas@unifebe.edu.br, igorteixeira@unifebe.edu.br, denisboing@unifebe.edu.br

Abstract. *Electrical Discharge Machining (EDM) can machine complex geometries in materials (electric conductors) with high hardness. The EDM process removes material through the fusion caused by intermittent electric discharges between the tool electrode and the surface to be machined. This work aims to evaluate the impact of the initial surface roughness of the electrode, in the roughness of the electrode after machining, in the roughness of the machined surface and, in the wear volume of the electrode. The electrodes were manufactured with electrolytic copper, and three different topographies were used, machined with a feed rate of 0.05; 0.2mm and the polished. The workpiece material AISI P20 steel – 23 HRC. It was verified that the initial roughness of the electrode (F020 ($S_a = 2.46 \pm 0.07 \mu m$), F005 ($S_a = 0.67 \pm 0.04 \mu m$), polished ($S_a = 0.60 \pm 0.06 \mu m$)) has no significant effect on surface roughness on the electrodes after the EDM process ($S_a = 0.82 \pm 0.08 \mu m$). The F020 electrode had the highest wear rate ($W_{RM} = (1.85 \pm 0.23) \mu m^3$) 18% higher than the wear of the F005 and polished electrodes. The surface roughness of the specimen ($S_a = 1.74 \pm 0.07 \mu m$) was on average 56% higher than the average in the electrode after the EDM process.*

Key words: *Electrical discharge machining. Electrode. Surface roughness. Tool wear rate.*

RESPONSIBILITY NOTICE

The authors are the only responsible for the material included in this paper.