

INFLUÊNCIA DA PRESSÃO DE CONTATO E VELOCIDADE DE DESLIZAMENTO NO ESTUDO TRIBOLÓGICO DE UM COMPÓSITO À BASE DE PTFE

Gabriel Marinho Vieira, gabrielmarinho_15@hotmail.com¹
Antônio Paulino de Araújo Neto, tonypaulino14@hotmail.com¹
Iago Henrique Lima Santiago, ihlimasantiago@gmail.com¹
Juliana Ricardo de Souza, julianars.materiais@gmail.com¹
João Telésforo de Nóbrega Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹

¹Grupo de Estudos em Tribologia e Integridade Estrutural (GET) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal: 1524 – Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/RN - Brasil

Resumo: Este estudo se concentra em identificar como diferentes condições de pressão de contato e velocidade de deslizamento influenciam no comportamento tribológico de um compósito à base de PTFE. Os materiais avaliados foram o PTFE puro e PTFE carregado com 20% de rejeito de scheelita (RS), visando comparação. No ensaio tribológico foi utilizado um tribômetro com configuração pino contra disco, sendo o pino de aço carbono em contato conforme (plano-plano) com os corpos de prova. As velocidades de deslizamento e as cargas aplicadas foram duplicadas de 0,4 m/s para 0,8 m/ e 80 N para 160 N, respectivamente. Porém, a distância de deslizamento permaneceu constante em 1440 m. Os resultados mostraram que houve diminuição no coeficiente de atrito com o incremento da pressão de contato, tanto para o PTFE puro quanto para o compósito. Além disso, na condição onde a pressão e velocidade foi mais elevada, houve um aumento considerável da temperatura entre o par tribológico, como esperado.

Palavras-chave: tribologia, PTFE, compósitos, pressão de contato, velocidade de deslizamento.

1. INTRODUÇÃO

Os materiais poliméricos há décadas têm sido amplamente utilizados nas indústrias (Ünlü *et al.*, 2015). O politetrafluoretileno (PTFE) além de ser um bom lubrificante sólido, apresenta excelentes propriedades físicas e químicas como baixo coeficiente de atrito, boa estabilidade térmica e resistência química. No entanto, o PTFE puro possui uma alta taxa de desgaste, limitando sua aplicação. Como forma de melhorar essa propriedade tribológica, faz-se necessário o desenvolvimento de compósitos à base de PTFE (Jia, Yang, 2012; Shen *et al.*, 2014; Xu *et al.*, 2014).

Diversos tipos de cargas podem ser utilizadas como reforço do compósito à base de PTFE, dentre elas estão a fibra de vidro, fibra de carbono (Song *et al.*, 2016; Conte, Igartua, 2012), grafite (Conte, Igartua, 2012), bissulfeto de molibdênio (MoS₂) e alumina (Al₂O₃) (Blanchet *et al.*, 2010). Além disso, em 2016 Araújo Neto *et al.* observou que há possibilidade de melhorar a resistência ao desgaste do PTFE com reforço de rejeito de scheelita (RS), material compósito desenvolvido por Souza (2015) em sua tese de doutorado.

Para a maioria dos plásticos de engenharia, o aumento da carga normal promove uma redução no coeficiente de atrito, no entanto o comportamento real de cada par polímero-contra-face metálica deve ser avaliado caso à caso (Quaglini *et al.*, 2008). Os resultados de Jia e Yang (2012) mostraram que o coeficiente de atrito do PTFE puro e do nanocompósito PTFE/*serpentine* diminuíram com o aumento do valor de pressão aplicada, em condições de atrito deslizante contra o aço AISI-1045. Em 2013, Tzanakis *et al.* concluiu que no contato de deslizamento entre um compósito de PTFE e uma placa de aço alto carbono, o coeficiente de atrito aumenta com a velocidade de deslizamento e é consideravelmente reduzido com o incremento da carga normal aplicada enquanto a temperatura de contato aumenta com o incremento de ambos os parâmetros.

O objetivo principal deste trabalho é observar a influência da pressão de contato (P) e da velocidade de deslizamento (v) num compósito à base de PTFE utilizando um tribômetro com configuração pino contra disco e compará-la com a do PTFE puro. Ademais, verificou-se a intervenção da carga utilizada como reforço num compósito com matriz de PTFE para as condições escolhidas.

2. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

2.1. Materiais

Os materiais utilizados foram PTFE (matriz) e RS (carga) utilizado como reforço, ambos em forma de pó, nas seguintes concentrações: PTFE/RS (100%/0%) e PTFE/RS (80%/20%) em massa. Os pós foram misturados e em seguida submetidos à compactação a quente durante 3 min, com temperatura de aproximadamente 225 ± 5 °C e pressão de compactação de $31 \pm 0,5$ MPa. Após a compactação, os corpos de prova tiveram dimensões de ($\varnothing 35$ mm x 7 mm) e uma massa de aproximadamente $15 \pm 0,2$ g.

2.2. Ensaio Tribológico

Um tribômetro de configuração pino contra disco com contato conforme (plano-plano) foi utilizado, variando-se a pressão de contato e velocidade de deslizamento. O pino de aço inoxidável austenítico apresenta diâmetro de $\varnothing 6$ mm e altura de 30 mm. A Tabela 1 contém os parâmetros utilizados na realização dos ensaios.

Tabela 1. Condições dos ensaios variando-se pressão e velocidade.

Condição	1	2	3	4
Carga normal (W) [N]	80	80	160	160
Pressão de contato (P) [Mpa]	2,829	2,829	5,659	5,659
Velocidade de deslizamento (v) [m/s]	0,8	0,4	0,8	0,4
Distância de deslizamento (L) [m]	1440	1440	1440	1440
Raio da trilha de desgaste (r) [mm]	10	10	10	10
Duração do ensaio [min]	30	60	30	60

A taxa de desgaste específica foi calculada de acordo com a Eq. (1), assim como Gu *et al.* (2016) utilizou em seus estudos:

$$k = \frac{Vol_{Perdido}}{W.L} = \frac{2.\pi.r.H_{Perdida}.\phi_{Pino}}{W.L} \quad (1)$$

Onde k é a taxa de desgaste específica em $mm^3/(N.m)$ e $H_{Perdida}$ é a profundidade medida no final do ensaio em mm. Além disso, o desgaste foi avaliado medindo a inclinação da curva ($\theta_{Composição,condição}$) durante o regime de *steady-state*. A pressão de contato (P) foi calculada através da Eq. (2), onde A é a área projetada (mm^2) do pino contra disco do PTFE/compósito e W a carga normal (N) aplicada durante o ensaio.

$$P = \frac{W}{A} = \frac{4.W}{\pi.\phi_{Pino}^2} \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Figura 1 mostra os resultados de profundidade de desgaste do PTFE puro para todas as condições de ensaio. Percebe-se que com o incremento da carga normal aplicada (condições 3 e 4) o desgaste é intensificado.

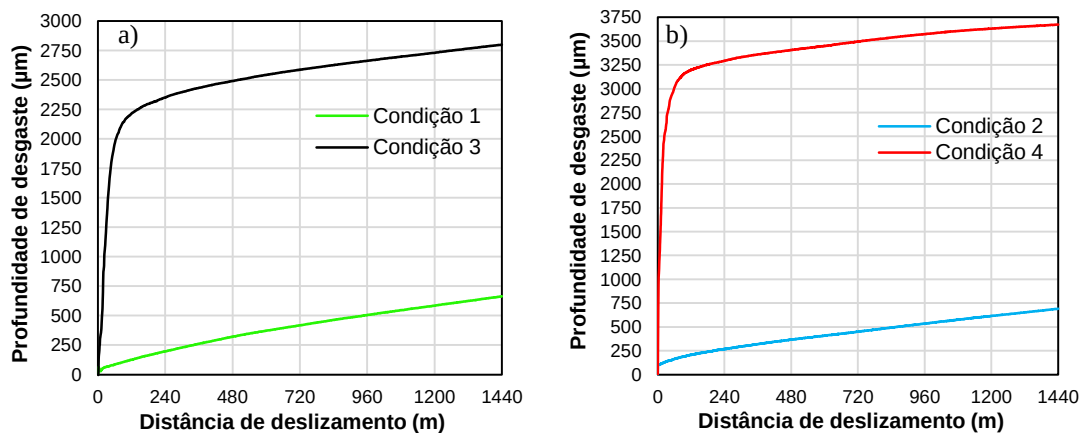


Figura 1. Profundidade de desgaste em função da distância de deslizamento do PTFE puro submetido a) condições 1 e 3 e b) 2 e 4.

Simultaneamente ao incremento da carga, o coeficiente de atrito nas mesmas condições 3 e 4 é reduzido (Fig. 2a), apresentando uma similaridade nos resultados encontrados por Quaglini *et al.* (2008) e Jia e Yang (2012) em suas condições experimentais. Na condição 3 com o aumento tanto da velocidade de deslizamento quanto da carga aplicada, houve maior variação da temperatura de contato (Fig. 2b), estando de acordo com o que foi observado por Tzanakis *et al.* (2013).

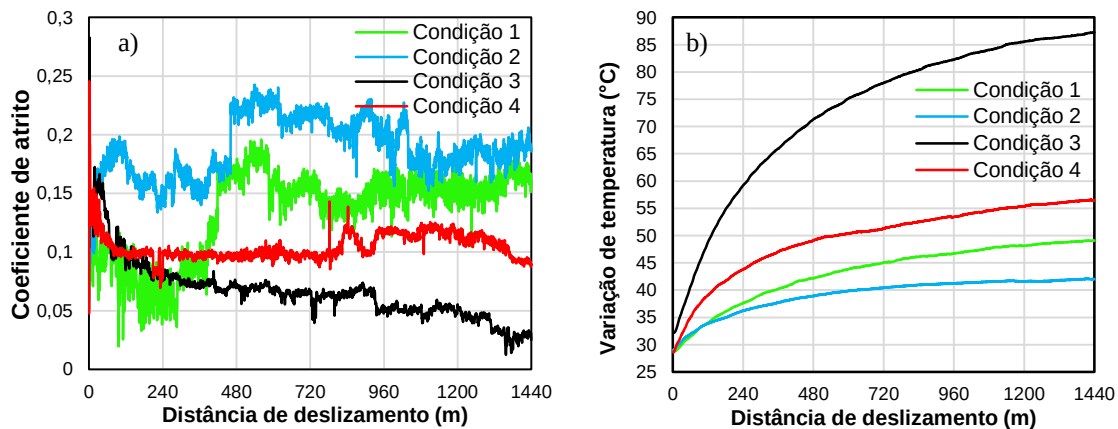


Figura 2. Resultados do PTFE puro para todas as condições a) coeficiente de atrito b) temperatura em função da distância de deslizamento.

Pode-se estimar o início do regime de *steady-state* em aproximadamente 480 m para todas as condições de ensaio do PTFE puro. Além disso, as inclinações encontradas para cada curva foram: $\theta_{PTFE,1} = 0,35\mu\text{m/m}$, $\theta_{PTFE,2} = 0,34\mu\text{m/m}$, $\theta_{PTFE,3} = 0,31\mu\text{m/m}$, $\theta_{PTFE,4} = 0,28\mu\text{m/m}$.

Os resultados da Fig. 3 sugerem um comportamento semelhante do compósito de PTFE carregado com 20% de rejeito de scheelita em relação ao PTFE puro, em que com o aumento da carga (condições 3 e 4) o desgaste se intensifica e o coeficiente de atrito é reduzido. Observa-se também que o período de *steady-state* para o compósito não pode ser estimado na mesma distância de deslizamento. Logo, para a condição 1 teve início em aproximadamente 480 m; condição 2 em 110 m; condição 3 em 187 m e por fim na condição 4 em 168 m. Sendo assim, temos as seguintes inclinações: $\theta_{PTFE/20\%,1} = 0,045\mu\text{m/m}$, $\theta_{PTFE/20\%,2} = 0,013\mu\text{m/m}$, $\theta_{PTFE/20\%,3} = 0,18\mu\text{m/m}$, $\theta_{PTFE/20\%,4} = 0,064\mu\text{m/m}$.

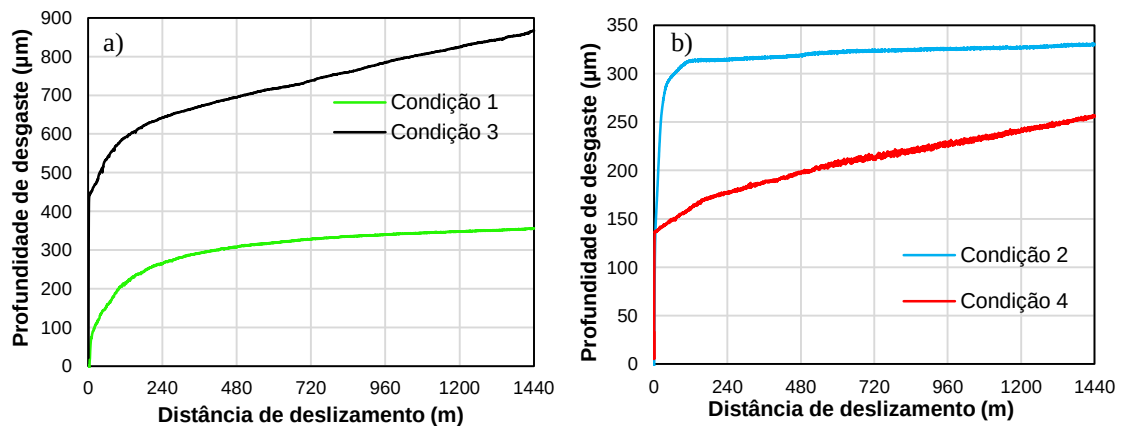


Figura 3. Profundidade de desgaste em função da distância de deslizamento do PTFE/20% submetido a) condições 1 e 3 e b) 2 e 4

Tal como o PTFE puro, o compósito também apresentou um aumento nos valores de variação de temperatura, como mostra a Fig. 4b, em que na condição onde os parâmetros de velocidade e carga foram mais altos, houve uma maior variação de temperatura, estando mais uma vez de acordo com a literatura citada (Tzanakis *et al.*, 2013).

Além disso, de acordo com as Fig. 2b e 4b, nas condições 1 e 3 onde as velocidades foram mais elevadas, foi possível observar uma queda na variação de temperatura do compósito quando comparado com o PTFE puro, evidenciando que o PTFE com carga suporta maiores velocidades (consequentemente um aumento da vida em serviço) devido o menor aquecimento entre o par tribológico ($\Delta T_{1,PTFE/20\%} = 17,47^\circ\text{C} < \Delta T_{1,PTFE} = 20,27^\circ\text{C}$; $\Delta T_{3,PTFE/20\%} = 32^\circ\text{C} < \Delta T_{3,PTFE} = 55,10^\circ\text{C}$).

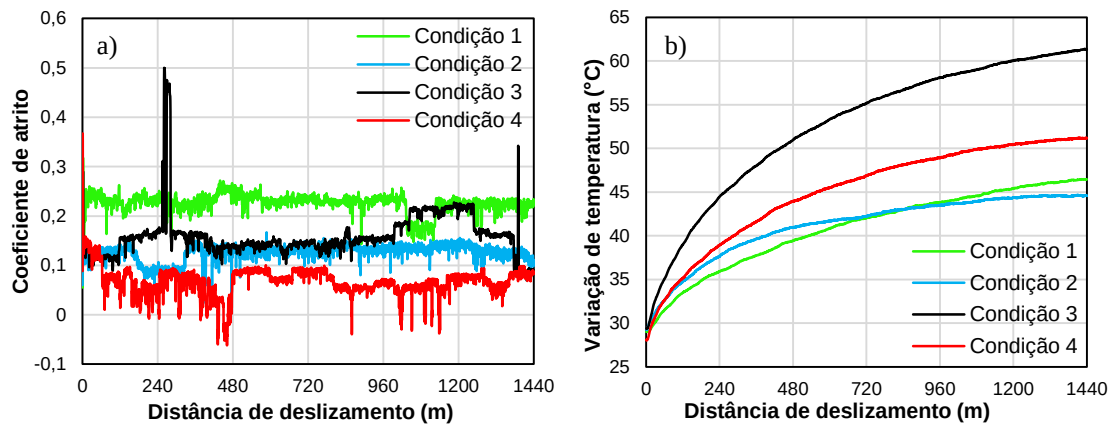


Figura 4. Resultados do PTFE/20% para todas as condições a) coeficiente de atrito b) temperatura em função da distância de deslizamento.

A Figura 5 apresenta os valores das taxas de desgaste específica calculadas a partir da Eq. (1) tanto para o PTFE puro quanto para o compósito. Verifica-se a diminuição em uma ordem de grandeza da taxa de desgaste do compósito com 20% quando comparada com a do PTFE puro. Essa diminuição da taxa de desgaste sugere que o rejeito de scheelita confere à matriz de PTFE uma maior resistência ao deslizamento. Song *et al.*, 2016 revelaram em seus resultados que ao reforçar o PTFE com o bissulfeto de molibdênio (MoS_2) houve uma significativa redução da taxa de desgaste do mesmo.

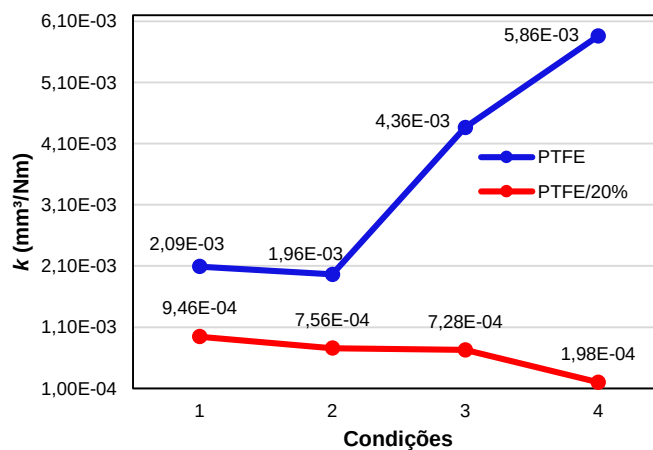


Figura 5. Resultados da taxa de desgaste específica para todas as condições.

4. CONCLUSÃO

Neste estudo, pode-se concluir que a influência da pressão de contato foi semelhante entre o PTFE puro e o PTFE carregado com 20% de rejeito de scheelita, onde o aumento da carga aplicada diminuiu o coeficiente de atrito. Além disso, nas condições onde a pressão e velocidade foi mais elevada, houve um aumento considerável da temperatura entre o par tribológico. Foi possível observar também que o compósito com 20% de carga diminuiu em uma ordem de grandeza a resistência ao desgaste do PTFE puro. Entretanto, vale ressaltar que esse trabalho é um estudo preliminar, o qual terá continuidade com maior aprofundamento.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Mina Brejuí, situada em Currais Novos – RN, por disponibilizar o rejeito de scheelita utilizado nesta pesquisa. Além disso, agradecemos aos integrantes do Grupo de Estudos em Tribologia e Integridade Estrutural (GET) da UFRN. Por fim, agradecemos a CAPES pelo apoio financeiro fornecido.

6. REFERÊNCIAS

- Araújo Neto, A.P. de, Silva Neto, R.D.A., Souza, J.R de, Medeiros, S.K.P. de and Medeiros, J.T.N., 2016, "Evaluation of PTFE Composites With Mineral Tailing Considering, Friction, Wear and Cost", World Academy of Science, Engineering and Technology, Vol. 10, pp. 938-938.
- Blanchet, T.A., Kandanur, S.S. and Schadler, L.S., 2010, "Coupled effect of filler content and counter surface roughness on PTFE nanocomposite wear resistance", Tribology Letters, Vol. 40, pp. 11-21.
- Conte, M. and Igartua, A., 2012, "Study of PTFE composites tribological behavior", Wear, Vol. 296, pp. 568-574.
- Gu, D., Duan, C., Fan, B., Chen, S. and Yang, Y., 2016, "Tribological properties of hybrid PTFE/Kevlar fabric composite in vacuum", Tribology International, Vol. 103, pp. 423-431.
- Jia, Z. and Yang, Y., 2012, "Self-lubricating properties of PTFE/serpentine nanocomposite against steel at different loads and sliding velocities", Composites: Part B, Vol. 43, pp. 2072-2078.
- Quaglini, V., Dubini, P., Ferroni, D. and Poggi, C., 2009, "Influence of counterface roughness on friction properties of engineering plastics for bearing applications", Materials and Design, Vol. 30, pp. 1650-1658.
- Shen, J.T., Top, M., Pei, Y.T. and De Hosson, J.Th.M., 2015, "Wear and friction performance of PTFE filled epoxy composites with a high concentration of SiO₂ particles", Wear, Vol. 322-323, pp. 171-180.
- Song, F., Wang, Q. and Wang, T., 2016, "Effects of glass fiber and molybdenum disulfide on tribological behaviors and PV limit of chopped carbon fiber reinforced Polytetrafluoroethylene composites", Tribology International, Vol. 104, pp. 392-401.
- Souza, J.R. de, 2015, "Desenvolvimento de compósitos tribologicamente eficazes", 192 f. Tese de Doutorado em Engenharia Mecânica – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal.
- Tzanakis, I., Conte, M., Hadfield, M. and Stolarski, T.A., 2013, "Experimental and analytical thermal study of PTFE composite sliding against high carbon steel as a function of the surface roughness, sliding velocity and applied load", Wear, Vol. 303, pp. 154-168.
- Ünlü, B.S., Uzkut, M., Pinar, A.M. and Özdin, K., 2015, "Microstructural properties of particle-reinforced polytetrafluoroethylene composite bearings after wear", Materials Science, Vol. 51, No. 2, pp. 194-199.
- Xu, J., Yan, H. and Gu, D., 2014, "Friction and wear behavior of polytetrafluoroethylene composites filled with Ti₃SiC₂", Materials and Design, Vol. 61, pp. 270-274.

7. RESPONSABILIDADE AUTORAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

THE INFLUENCE OF CONTACT PRESSURE AND SLIDING SPEED IN THE TRIBOLOGICAL STUDY OF A PTFE BASED COMPOSITE

Gabriel Marinho Vieira, gabrielmarinho_15@hotmail.com¹
Antônio Paulino de Araújo Neto, tonypaulino14@hotmail.com¹
Iago Henrique Lima Santiago, ihlimasantiago@gmail.com¹
Juliana Ricardo de Souza, julianars.materiais@gmail.com¹
João Telésforo de Nóbrega Medeiros, jtelesforo@yahoo.com¹

¹Grupo de Estudos em Tribologia e Integridade Estrutural (GET) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Caixa Postal: 1524 – Campus Universitário Lagoa Nova, CEP 59078-970 | Natal/RN - Brasil

Abstract: The aim of this study is to identify how different conditions of contact pressure and sliding speed influence the tribological behavior of a PTFE composite. In order to compare their behavior, two different materials were evaluated: pure PTFE and PTFE filled with 20% of tailings of scheelite (RS). During the tribological test, a tribometer with a pin-to-disk configuration was used, in which the carbon steel pin was in flat contact (plane-plane) with the specimens. The sliding speed and load applied were doubled from 0.4 m/s to 0.8 m/s and 80 N to 160 N, respectively. However, the sliding distance remained constant (1440 m). The results showed that there was a decrease in the coefficient of friction while the contact pressure has increased for both, pure PTFE and composite. Furthermore, for the condition with the highest values of contact pressure and velocity, there was a considerable increase in the temperature between the tribological pair, as expected.

Keywords: PTFE, composite, tribology, contact pressure, sliding speed.