

CONEM 2016
CONGRESSO NACIONAL DE
ENGENHARIA MECÂNICA

21-25
AGOSTO DE 2016
FORTALEZA - CEARÁ

ESTUDO DO MECANISMO DE DESGASTE DO PAR TRIBOLÓGICO AÇO RÁPIDO AISI M2 E FERRO FUNDIDO NODULAR COM DIFERENTES VELOCIDADES PERIFÉRICAS: EFEITO DO REVESTIMENTO DE SiO_2 DEPOSITADO PELO PROCESSO SOL-GEL

Fernanda de Freitas, fernanda_defreitas@outlook.com¹

Natália Fernanda Santos Pereira, natsantos23@gmail.com¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Manuel Houmard, mhoumard@ufmg.br¹

Juan Carlos Campos Rubio, juan@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte (MG)

Resumo: Pinos de aço rápido AISI M2 utilizando revestimento de dióxido de silício (SiO_2) por meio do processo sol-gel e sem revestimento e disco de ferro fundido nodular foram analisados através de ensaios tribológicos nas velocidades periféricas de 30, 40 e 50 m/min e carga normal constante de 10 N. Este estudo teve como objetivo avaliar a utilização do revestimento de SiO_2 em brocas de HSS e, posteriormente avaliar seu comportamento na operação de furação, uma vez que os revestimentos tendem a melhorar as condições de corte na interface cavaco-ferramenta e aumentar a resistência das ferramentas ao desgaste, permitindo um melhor desempenho. Os resultados indicaram coeficiente de atrito abaixo de 0,3. Além disso, os testes utilizando pino revestido e pino sem revestimento tratados termicamente a 400°C durante duas horas apresentaram desgaste de abrasão, enquanto o pino conforme recebido, nas velocidades de 30 e 40 m/min apresentou desgaste de adesão.

Palavras-chave: sol-gel, revestimento de dióxido de silício, ferro fundido nodular, tribológico, microdureza

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa por revestimentos para aplicações em ferramentas de corte é cada vez mais difundida.

Segundo Faga et al. (2007), o objetivo principal da utilização de revestimentos é melhorar o desempenho das ferramentas, visando um menor tempo de usinagem e consumo de lubrificantes, aumentar sua vida útil e, consequentemente, reduzir os custos de usinagem e o impacto ambiental.

Existem diversas técnicas de deposição de revestimentos utilizadas pelas indústrias como, por exemplo, pulverização a plasma, deposição química e física de vapor, eletrodeposição e aspersão térmica. Entretanto, algumas dessas técnicas apresentam alguns problemas, tais como o elevado custo dos equipamentos, complexidade dos processos, dificuldade no controle e, consequentemente, torna o custo dos produtos revestidos alto, quando comparados com os produtos não revestidos.

Por isso, o processo Sol-Gel, por ser uma técnica mais simples, com baixo custo e que permite o revestimento de geometrias complexas, vem sendo estudado para diversas aplicações, inclusive em ferramentas de corte.

O processo Sol-Gel, descrito por Chen et al. (2000), permite a preparação de filmes finos de revestimentos, com elevado grau de pureza, baixas temperaturas de síntese e, especialmente, um controle preciso de sua composição.

O presente trabalho apresenta um estudo tribológico de pinos de aço rápido AISI M2, sem revestimento e com revestimento de dióxido de silício (SiO_2) pelo processo Sol-Gel deslizando sobre disco de ferro fundido nodular, conhecido também como ferro fundido de grafita esferoidal. De acordo com Chiaverini (1987), a forma esferoidal da grafita não interrompe a continuidade da matriz e por este motivo suas propriedades mecânicas como ductilidade, tenacidade e resistência são melhores do que as do ferro fundido cinzento, pois os veios da grafita fragilizam o material.

O objetivo é comparar os resultados de coeficiente de atrito (μ), força de atrito (F_a) e mecanismo de desgaste, utilizando três situações: pino revestido e tratado termicamente, pino sem revestimento e com tratamento e pino sem revestimento e sem tratamento (conforme recebido) deslizando sobre ferro fundido nodular.

2. PREPARAÇÃO DO REVESTIMENTO E APLICAÇÃO

O revestimento dióxido de silício (SiO_2) foi preparado sob as seguintes condições: água (H_2O), etanol ($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$) e ácido clorídrico (HCl), foram adicionados em um recipiente e agitados por 15 minutos para homogeneização. O precursor Tetraetóxissilano (TEOS) foi, em seguida, adicionado ao recipiente e, novamente, foram agitados por mais 30 minutos. O recipiente de reação foi posteriormente fechado e mantido por 48 horas a 30°C antes de realizar as deposições.

O substrato utilizado foi pino de Aço Rápido AISI M2, com diâmetro de 6 mm. Os aços rápidos têm sido muito utilizados em ferramentas, pois têm mostrado características como resistência ao desgaste e abrasão, estabilidade dimensional, boa tenacidade e capacidade de manter dureza elevada a altas temperaturas (SCHLATTER, 2012).

Este pino foi mergulhado na solução e retirado a uma velocidade constante de 0,5 m/s para homogeneizar a camada de revestimento e em seguida, realizou-se a secagem em uma estufa a 80°C durante 10 minutos. Esse procedimento de deposição do revestimento foi repetido por 3 vezes. O pino foi tratado termicamente a 400°C durante duas horas com o objetivo de ajudar no endurecimento do revestimento e eliminar possíveis porosidades.

A preparação do revestimento e sua deposição estão resumidos na Fig. 1.

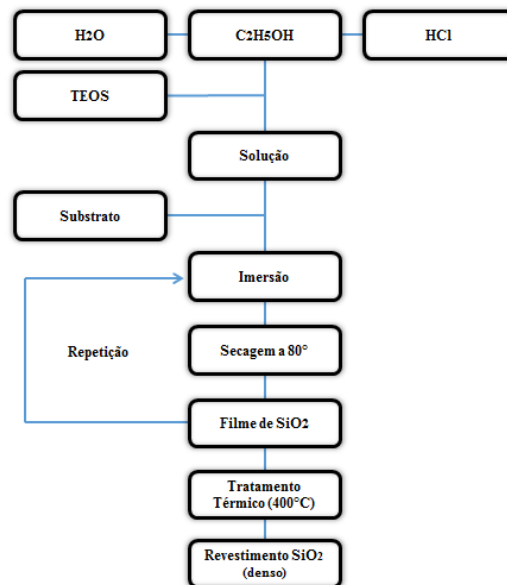


Figura 1. Fluxograma da preparação e aplicação do revestimento

A espessura da camada do revestimento pelo processo Sol-Gel pode alcançar cerca de 200 nm, sem nenhum defeito macroscópico.

3. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

3.1 Materiais

O material do pino selecionado foi AISI M2 de topo esférico de 6 mm de diâmetro conforme ilustrado na Fig. 2:

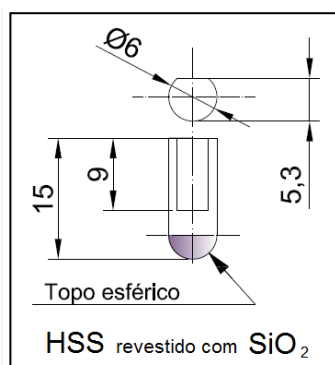


Figura 2. Pino de topo esférico

O material do disco utilizado foi o ferro fundido nodular, com dimensões 50x53x14 mm, apresentando rugosidade superficial de 0,35 μm , conforme a norma ASTM G99-05 (2010) e composição química conforme Tab. 1.

Tabela 1. Composição química do Ferro Fundido Nodular

Composição Química- Disco					
C	Si	Mn	P	S	Mg
3,71	2,49	0,134	0,085	0,011	0,032

3.2 Testes de laboratório

Utilizou-se um tribômetro da Microtest, modelo SMT-A/0100 – nº série B01100-19 conforme Fig. 3, para determinar o coeficiente de atrito dos materiais estudados. Os dados foram coletados através do programa Nanovea Tribometer Software. Aplicou-se uma carga normal constante de 10 N e velocidades de deslizamento de 30, 40 e 50 m/min para todas as condições do pino. A duração dos testes de atrito foi concluída quando o pino atingiu a distância de 450 metros. Não utilizou-se lubrificante e a temperatura e umidade relativa do ar foram ambiente.

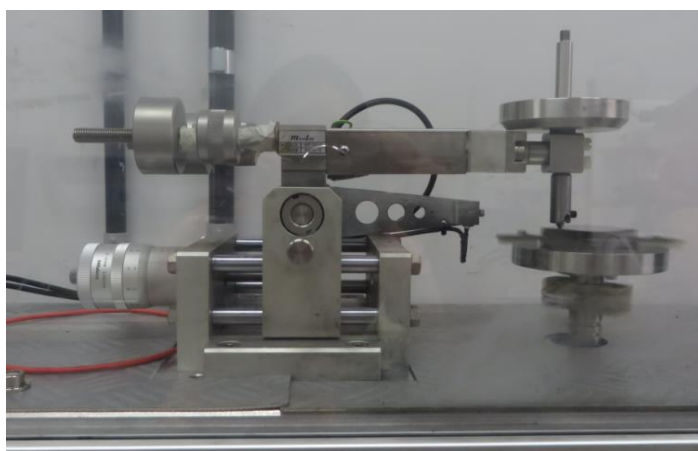


Figura 3. Teste de atrito – Pino sobre disco

Imagens do desgaste dos pinos e do disco foram coletadas utilizando uma lupa eletrônica com ampliação de 50 a 500x.

A microdureza dos pinos, nas três condições, foi avaliada por meio de ensaio de microdureza Vickers. Os ensaios foram realizados em microdurômetro Shimadzu, com capacidade de ampliação de 400x com uma carga aplicada de 490,3 mN (HV0,05).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Testes tribológicos

Durante os testes de deslizamento com carga normal de 10 N, os valores instantâneos de atrito e forças normais foram constantemente registrados até atingir distância de deslizamento de 450 metros. Os valores instantâneos de coeficiente de atrito foram computados em tempo real e apresentados graficamente para todos os testes realizados.

- **Velocidade de 30 m/min**

Na velocidade de 30 m/min, notou-se uma estabilidade na curva de coeficiente de atrito referente ao pino com revestimento até a uma distância percorrida de 300 m. Esta estabilidade pode ser atribuída à presença do revestimento, conforme detalhado na Fig. 4.

Para baixas velocidades de deslizamento, há um potencial de oxidação baixo e uma fina camada de óxido que se forma pode ser facilmente removida, propiciando o contato metal-metal e ocasionando o desgaste por adesão.

Este tipo de desgaste foi verificado pela pista do pino conforme recebido. Observa-se uma diferença avaliada qualitativamente, na largura do canal comparada às pistas do pino sem revestimento e com tratamento e do pino com revestimento, conforme apresentam as Fig. 5 e 6.

O tipo de desgaste observado para o pino sem revestimento e com tratamento e para o pino com revestimento foi o desgaste abrasivo.

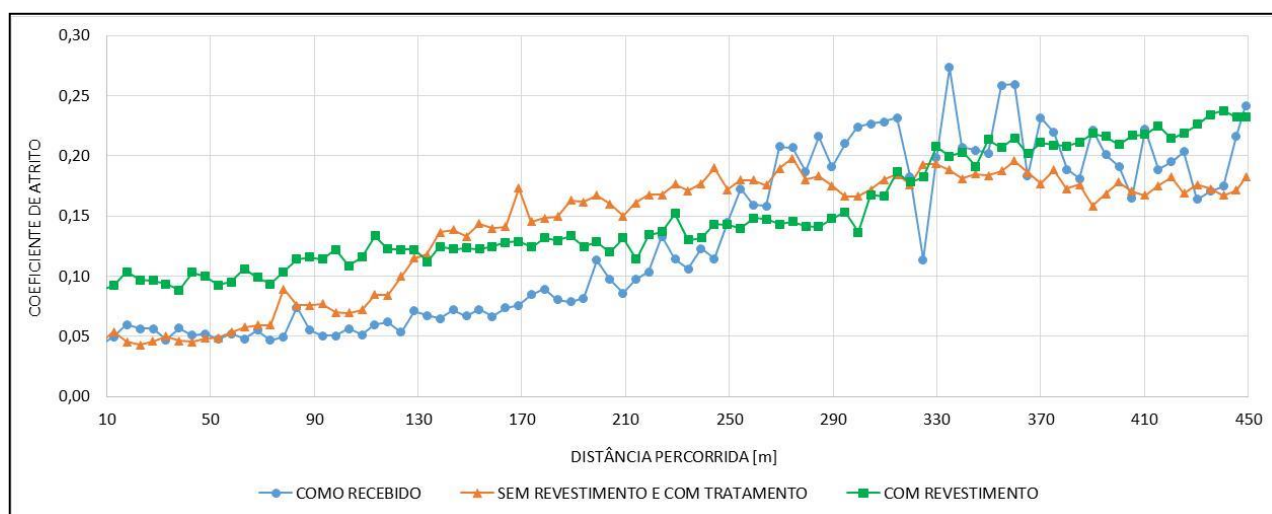


Figura 4. Curva do coeficiente de atrito para o pino como recebido, sem revestimento e com tratamento e com revestimento na velocidade de 30 m/min



Figura 5. Imagens dos Pinos – Velocidade de 30 m/min



Figura 6. Imagens da Pista – Velocidade de 30 m/min

- **Velocidade de 40 m/min**

Para a velocidade de 40 m/min, sendo nos testes a velocidade intermediária, apresentou o mesmo comportamento da curva de coeficiente de atrito na velocidade de 30 m/min, isto é, um baixo potencial de oxidação e facilidade de remover a camada de óxido, contribuindo para um ligeiro aumento nos valores de coeficiente de atrito para o pino com revestimento e o pino sem revestimento com tratamento, conforme detalhado na Fig. 7.

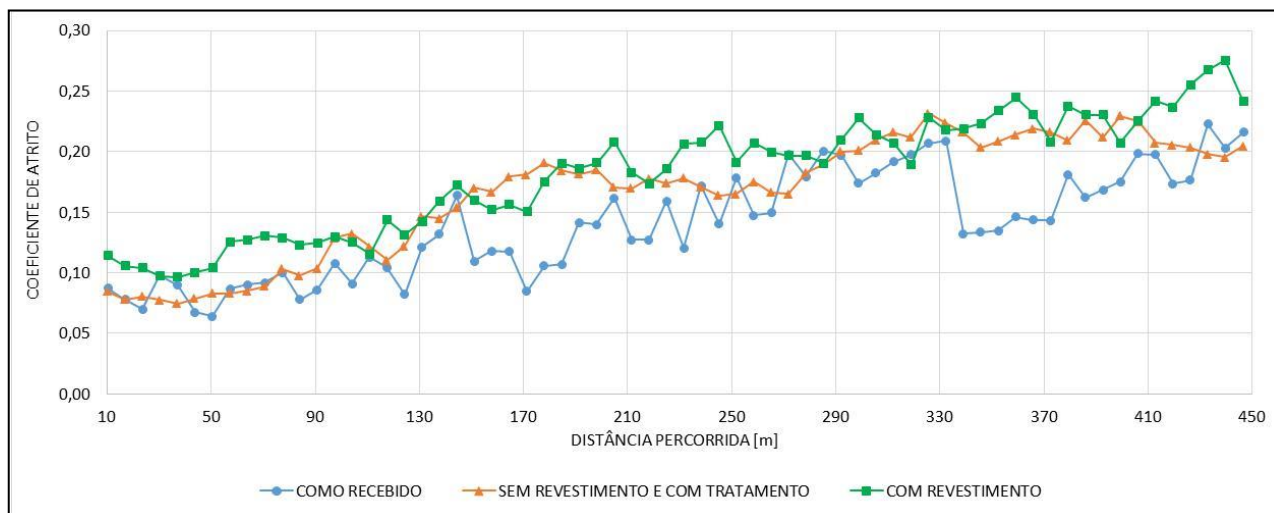


Figura 7. Curva do coeficiente de atrito para o pino como recebido, sem revestimento e com tratamento e com revestimento na velocidade de 40 m/min

Com relação ao tipo de desgaste produzido na velocidade de 40 m/min, pôde-se observar que o pino com revestimento e o pino sem revestimento e com tratamento também apresentaram um desgaste abrasivo. Para o pino conforme recebido, o desgaste apresentado foi de adesão, conforme detalhado na Fig. 8. Observou-se também uma diferença avaliada qualitativamente, na largura do canal produzido pelo pino como recebido em relação ao pino revestido e o pino sem revestimento e com tratamento, conforme apresentado na Fig. 9.

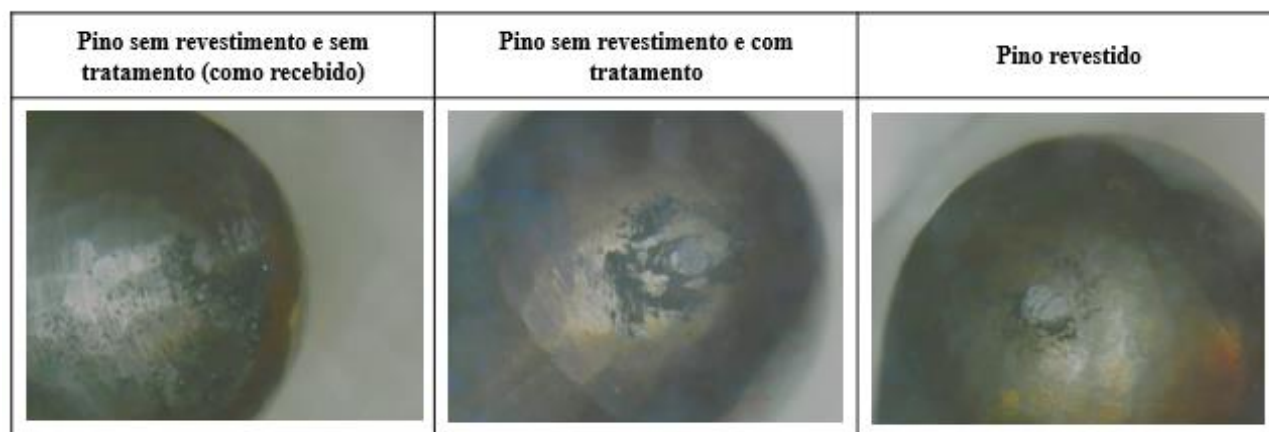


Figura 8. Imagens dos Pinos – Velocidade de 40 m/min



Figura 9. Imagens da Pista – Velocidade de 40 m/min

- Velocidade de 50 m/min**

Na velocidade de 50 m/min, o coeficiente de atrito, para as três condições do pino, manteve-se próximo de 0,20 conforme Fig. 10. As curvas do coeficiente de atrito apresentaram comportamento similar. Essa justificativa pode ser atribuída ao fato que, à medida que a velocidade de deslizamento aumenta, a camada de óxido também cresce, diminuindo o coeficiente de atrito.

O desgaste predominante para as três condições dos pinos foi o desgaste abrasivo. Este tipo de desgaste ocorre pela ação de partículas duras pressionadas e deslizando sobre as superfícies, penetrando na superfície e removendo partículas alongadas ou lascas de material, conforme descrito por Teixeira (2011).

As Figuras 11 e 12 apresentam as imagens dos pinos e das pistas.

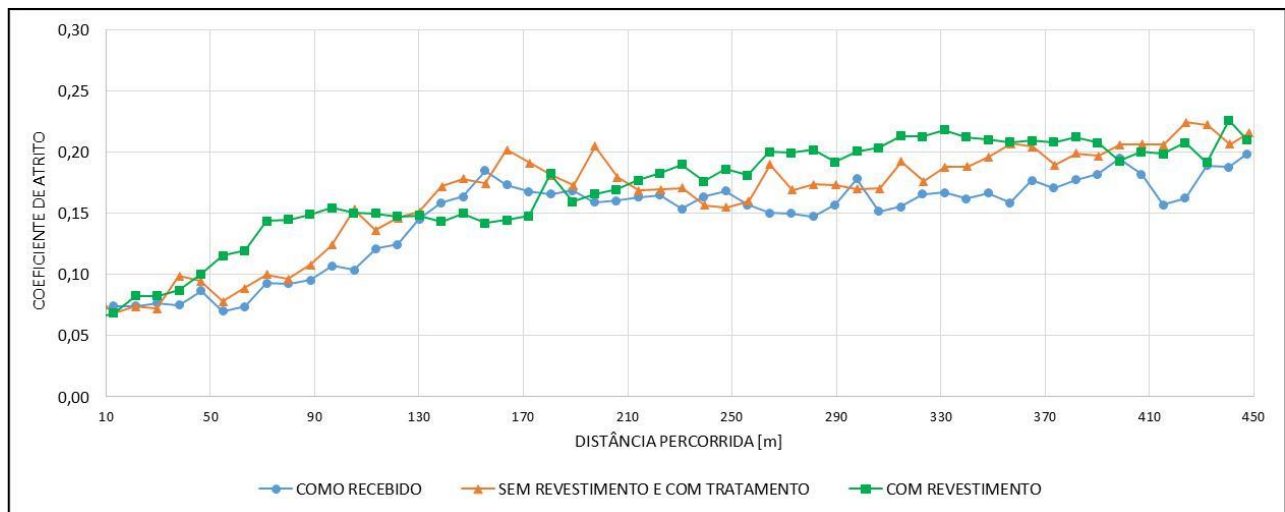


Figura 10. Curva do coeficiente de atrito para o pino como recebido, sem revestimento e com tratamento e com revestimento na velocidade de 50 m/min



Figura 11. Imagens dos Pinos – Velocidade de 50 m/min



Figura 12. Imagens da Pista – Velocidade de 50 m/min

Conforme descrito por Hutchings (1992), alguns materiais contêm fases que proporcionam películas interfaciais finas de baixa força de cisalhamento. No caso dos ferros fundidos um filme de baixa resistência ao cisalhamento é formado pelo componente da grafita, resultando em um baixo coeficiente de atrito.

Do ponto de vista tribológico, a presença de grafita no ferro fundido é desejável, porque melhora a resistência ao desgaste. A grafita tem uma influência significativa no desgaste, pois age como um lubrificante sólido, tanto no sistema lubrificado quanto no sistema a seco. Além do tipo de grafita (morfologia), a resistência ao desgaste depende também de outras propriedades do material tais como: composição, microestrutura, dureza e também das condições de trabalho. (Takeuchi, 1968 apud Teixeira, 2011).

Blau (2008) afirma que os materiais com grafita, criam um filme na fase inicial da curva e a presença de detritos, produz um aumento subsequente do coeficiente de atrito.

A abrasão foi o mecanismo de desgaste predominante. Observou-se a presença de um pó, podendo ser identificado como sendo resíduos de flocos de grafita do material do disco.

As Figuras 13, 14 e 15, apresentam as curvas de coeficiente de atrito para os três pinos estudados e nas três velocidades periféricas. Observa-se que o pino sem revestimento e com tratamento e o pino revestido, apresentaram uma melhor estabilidade da curva de coeficiente de atrito comparada com o pino conforme recebido.

Quanto ao revestimento, obteve-se uma menor variação da curva de coeficiente de atrito para a velocidade de 30 m/min, apresentado na Fig. 15.

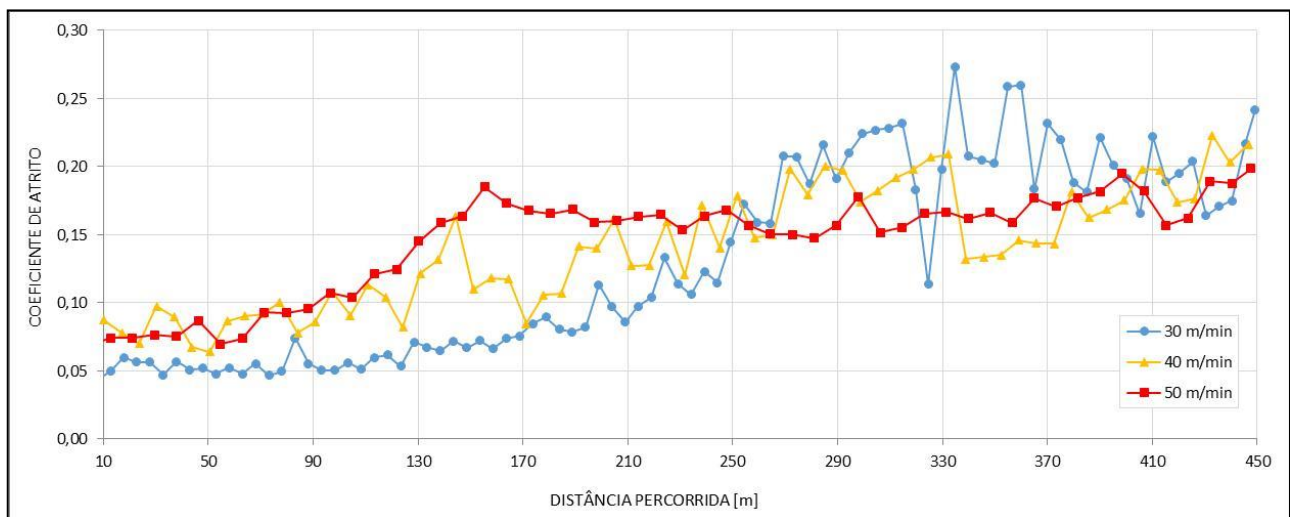


Figura 13. Curva do coeficiente de atrito para o pino conforme recebido nas três velocidades periféricas

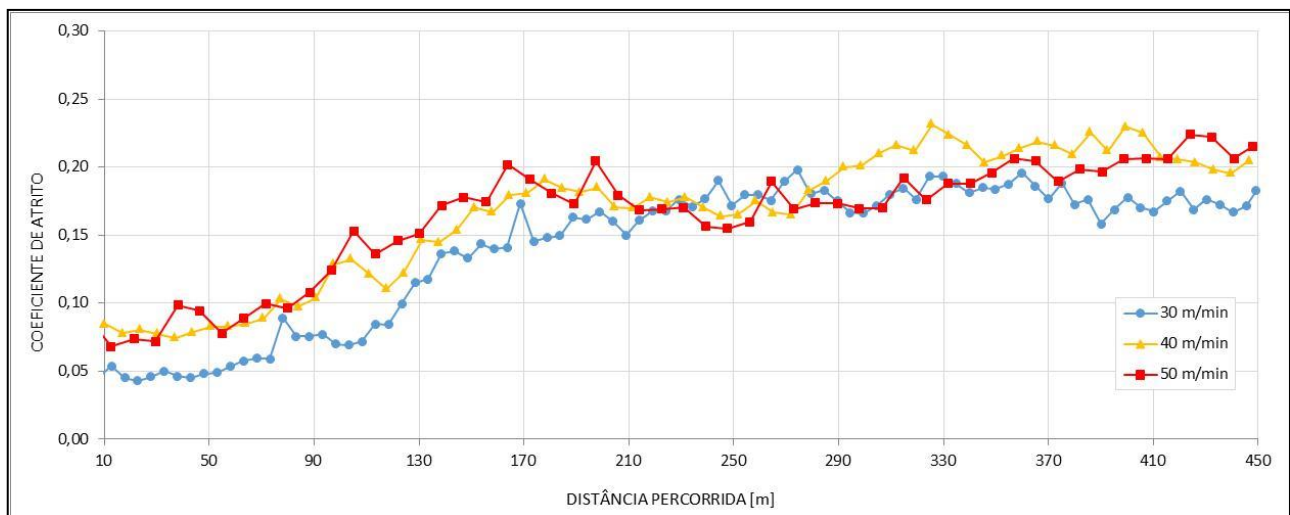


Figura 14. Curva do coeficiente de atrito para o pino sem revestimento e com tratamento nas três velocidades periféricas

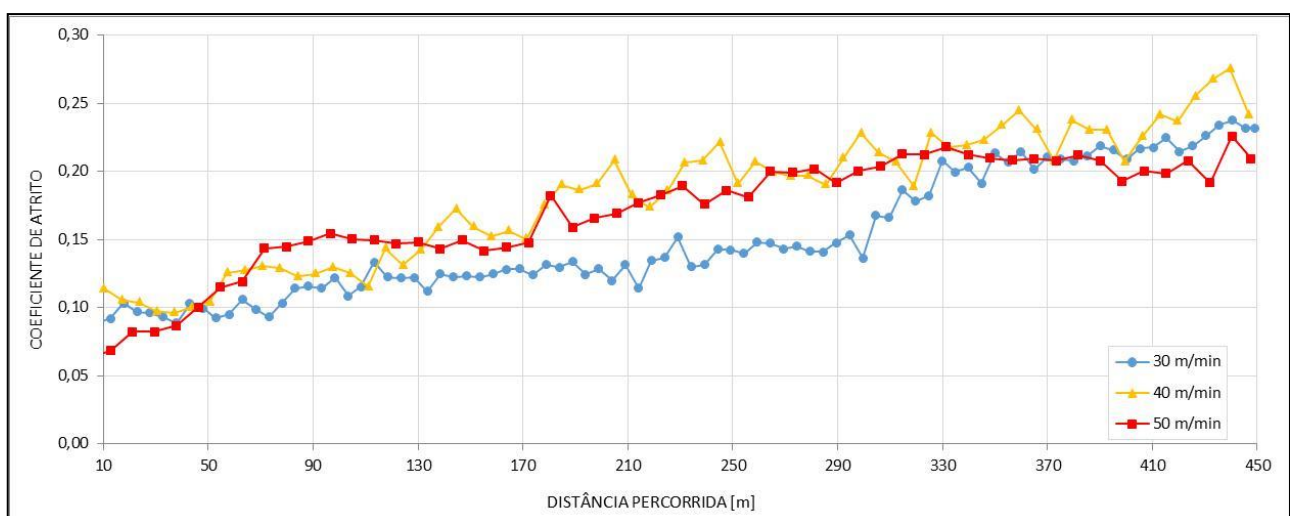


Figura 15. Curva do coeficiente de atrito para o pino com revestimento e com tratamento nas três velocidades periféricas

4.2 Perfil de microdureza

A microdureza dos materiais foi medida em um microdurômetro com carga de 490,3 mN com tempo de aplicação da carga de 20 segundos.

A variação da microdureza é apresentada na Fig. 16. Estes resultados foram obtidos a partir do perfil horizontal em apenas um lado dos pinos, conforme indicado na Fig. 17.

Fazendo uma análise dos resultados encontrados para as três condições de teste, verificou-se que não houve alteração de microdureza em decorrência do tratamento térmico.

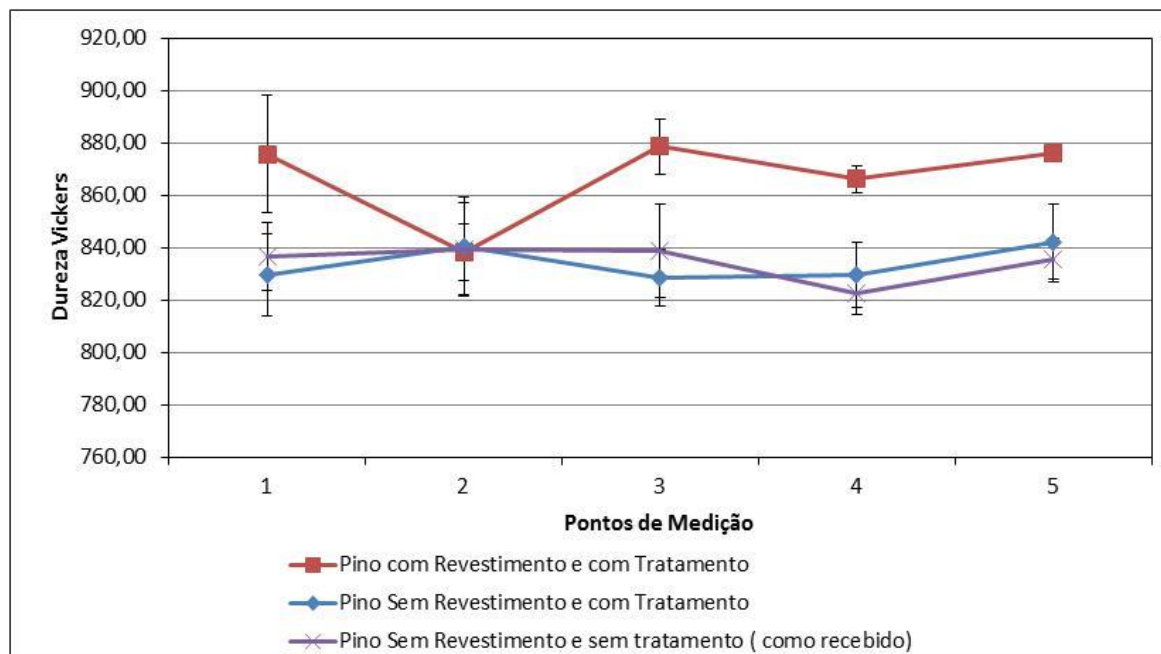


Figura 16. Microdureza Vickers dos pinos

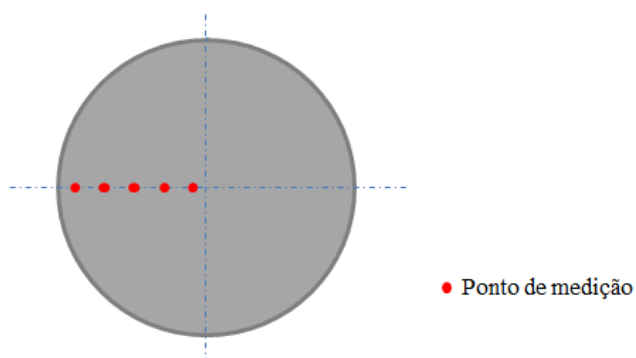


Figura 17. Região do ponto de medição

5. CONCLUSÃO

Através dos ensaios realizados, observou-se que o coeficiente de atrito do aço rápido deslizando sobre ferro fundido nodular, apresentou um coeficiente de atrito abaixo de 0,3 para todas as condições testadas.

A abrasão foi o mecanismo de desgaste predominante. Para as velocidades de 30 e 40 m/min, foi identificado desgaste de adesão para o pino conforme recebido.

O revestimento de dióxido de Silício pelo processo Sol-Gel auxiliou para uma melhor estabilidade da curva de coeficiente de atrito em relação às curvas obtidas dos pinos conforme recebido e sem revestimento e com tratamento, apresentando uma menor variação na velocidade de 30 m/min.

Em relação à microdureza, foi visto que o tratamento térmico não influenciou a dureza dos pinos tratados quando comparado com o pino conforme recebido.

6. REFERÊNCIAS

- ASTM G99-05, 2010 Standard Test Method for Wear Testing with a Pin-on-Disk Apparatus
- Blau, P.J., 2008. "Friction Science and Technology; From Concepts to Applications". Taylor and Francis Group, second edition.
- Chiaverini, V., 1987. "Aços e Ferros Fundidos". Associação Brasileira de Metais, São Paulo, 517p. – 1997.
- Chen, Y. C., Ai, X., Huang, C. Z., Wang, B. Y., 2000. "Preparation of α -alumina coated carbide tools by the sol-gel process". Materials Science and Engineering A, 288 (2000) 19-15.
- Faga, M.G., Gautier, G., Calzavarini, R., Perucca, M., Boot, E. A., Cartasegna, F. Settineri. L., 2007. "AlSiTiN nanocomposite coatings developed via Arc Cathodic PVD: Evaluation of wear resistance via tribological analysis and high speed machining operations". ScienceDirect Wear 263 (2007) 1306-1314.
- Hutchings, I. M., 1992. "Tribology: friction and wear of engineering materials. CRC Press.
- Schlatter, D., 2012. "Efeito da têmpera e revenido nas propriedades mecânicas e microestruturais de aços rápidos obtidos por processos convencionais e metalurgia do pó". Florianópolis, UFSC, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais.
- Teixeira, Kleber Donizetti, 2011. "Influência da velocidade de deslizamento no desgaste do par tribológico ferro fundido cinzento centrifugado - ferro fundido cinzento MC12 e MC13". 117 f. Dissertação - Faculdade de Engenharia do Campus de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, Guaratinguetá.
- Takeuchi, E., 1968. "The mechanisms of wear of cast iron in dry sliding". Wear, Tokyo, v.2.

7. RESPONSABILIDADE AUTURAL

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.

STUDY OF THE WEAR MECHANISM OF THE TRIBOLOGICAL PAIR HSS AISI M2 AND NODULAR CAST IRON WITH DIFFERENT PERIPHERAL SPEEDS: EFFECT OF THE SiO₂ COATING DEPOSITED BY THE SOL-GEL PROCESS

Fernanda de Freitas, fernanda_defreitas@outlook.com¹

Natália Fernanda Santos Pereira, natsantos23@gmail.com¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Manuel Houmard, mhoumard@ufmg.br¹

Juan Carlos Campos Rubio, juan@ufmg.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Presidente Antônio Carlos 6627, 31270-901 Belo Horizonte (MG)

Abstract. HSS pin AISI M2 using silicon dioxide (SiO₂) coating by sol-gel process and no coating and disc of nodular cast iron have been analyzed by tribo-testing at peripheral speeds of 30, 40 and 50 m/min and constant normal load of 10N. This issue had the goal of evaluating the use of SiO₂ coating on HSS drills and its behavior on the drilling process, since the coatings tend to improve cutting condition at the interface chip-tool and increase tool wear resistance, achieving a better performance. The results indicated coefficient of friction up to 0,3. Furthermore, the tests using coated pin and no coated pin with heat treatment at 400°C during two hours presented abrasive wear, while the as received pin, at the speeds 30 and 40 m/min presented adhesion wear.

Keywords: sol-gel, silicon dioxide coating, nodular cast iron, tribology, microhardness