



ANÁLISE DO DESGASTE SUPERFICIAL DO AÇO ABNT 8620 DESLIZANDO SOBRE AÇO ABNT 8620 POR MEIO DA VARIAÇÃO DA CARGA NORMAL EM ENSAIO DE PINO SOBRE DISCO

Matheus da Silva Lages, matheuslages@yahoo.com.br¹

Raphael Gomes de Paula, raphaelmecanica@gmail.com¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Ernani Sales Palma, ernani@demec.ufmg.br¹

Alexandre Mendes Abrão, abrao@demec.ufmg.br¹

Luiz Leite da Silva, silvall@cdtn.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus da Pampulha - CEP 31270-901 - Belo Horizonte/MG

Resumo: O estudo do comportamento mecânico dos materiais é necessário na engenharia e projeto de máquinas e produtos, para isso diversos tipos de ensaios são utilizados, como ensaios de tração, compressão, fadiga e teste para avaliar o coeficiente e força de atrito (teste de pino sobre disco). Quando duas superfícies são colocadas em contato para deslizar uma sob a outra, uma força surge em direção contrária ao movimento, a força de atrito. O atrito gerado causa desgaste nas superfícies podendo ocorrer de diferentes maneiras e em diferentes magnitudes, dependendo dos parâmetros presentes, como velocidade de deslizamento, força normal aplicada, temperatura, umidade e composição do material. Neste trabalho foi avaliado o desgaste ocasionado pelo deslizamento de pino de aço ABNT 8620 sobre disco de aço ABNT 8620 com variação da carga normal. O tipo de desgaste observado foi o desgaste por abrasão, sendo que o coeficiente de atrito encontrado para as cargas de 5N e 3N aplicadas foram 0,5 e 0,4, respectivamente.

Palavras-chave: Ensaios de desgaste, desgaste por abrasão, materiais metálicos.

1. INTRODUÇÃO

Tribologia pode ser definida como “a ciência e tecnologia das interações superficiais em relação ao movimento”, ou seja, a tribologia estuda a superfície dos materiais quando estão em contato. O principal foco de estudo da tribologia consiste no desgaste dos materiais. O desgaste pode ser entendido como a perda progressiva de material a partir do movimento relativo de duas superfícies sólidas em contato. Os principais tipos de desgaste são: desgaste corrosivo, adesivo, abrasivo e por fadiga. Desgaste corrosivo é causado por uma reação química e/ou eletroquímica da interface com o meio. Desgaste adesivo ocorre quando as rugosidades entre duas superfícies estão em contato. Estas podem fragmentar e os fragmentos serem transferidas de superfície para superfície, aumentando a área, e causando danos nas faces em contato. A perda de material pode-se verificar sob a forma de partículas de desgaste. Desgaste abrasivo ocorre quando uma superfície de elevada dureza desliza sobre outra superfície de igual ou menor dureza (Bhushan, 2000).

O processo abrasivo pode ser dividido em desgaste a dois corpos, em que o elemento abrasivo é a superfície mais dura, e desgaste a três corpos, onde se forma um terceiro corpo (partículas soltas abrasivas ou partículas de desgaste), este mecanismo geralmente é iniciado por adesão. Desgaste por fadiga é observado em materiais que estão sujeitos a esforços cíclicos e é provocado pela propagação de fissuras superficiais, que levam à formação de fragmentos. Neste tipo de desgaste é relevante considerar o número de ciclos e o tempo. Uma representação esquemática dos tipos de desgastes citados é apresentada na Fig. 1 (Smith, 1998).

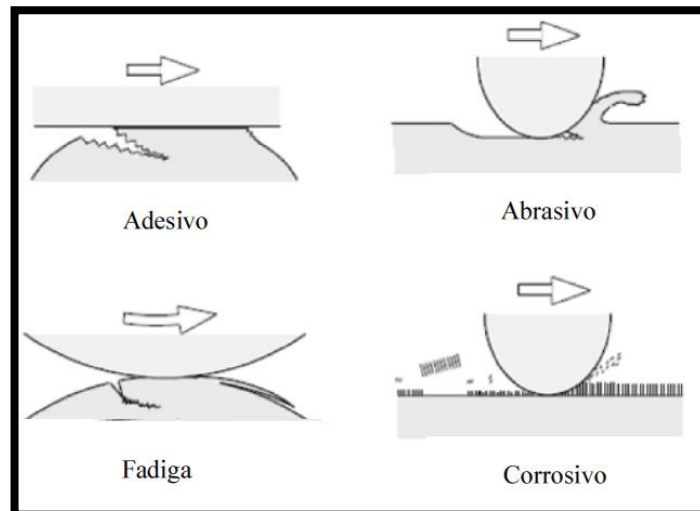


Figura 1: Exemplos de desgaste (adaptado de HUTCHINGS)

Os mecanismos de desgastes podem se manifestar de duas formas: através do deslizamento e do rolamento. O atrito por deslizamento é caracterizado por vários pontos de um corpo que ficam em contato com os pontos de outro corpo, enquanto no atrito através de rolamento, os pontos de contato estão limitados a uma região, Fig. 2.

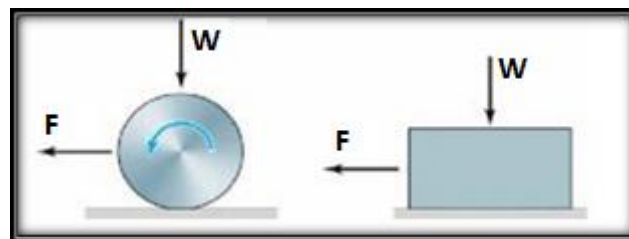


Figura 2: Força de atrito (F) nos mecanismos de deslizamento e rolamento (adaptado de HUTCHINGS)

A relação entre a força de atrito (F) com a carga normal aplicada (W) é diretamente proporcional. A primeira lei do atrito equaciona essa relação e é expressa na Eq. (1):

$$F = \mu W \quad (1)$$

Sendo F a força necessária para mover um corpo sobre o outro, W a carga normal aplicada e μ o coeficiente de atrito. O coeficiente de atrito é uma relação adimensional da força de atrito entre dois corpos e a força normal que estes estão submetidos (Neto, 2014).

Os testes tribológicos são realizados através de um equipamento conhecido como tribômetro. Diversos fatores influenciam nos desgastes dos materiais e consequentemente nos resultados dos testes, esses fatores estão relacionados com as características do projeto como a carga aplicada, tipo de movimento e lubrificação. Outros fatores são: as condições de operação, área de trabalho, pressão de contato, temperatura, umidade, acabamento superficial, tipo de material, composição química, propriedades mecânicas, estrutura cristalina, tamanho de grãos, revestimento e presença de defeitos. A equação de Archard, Eq. (2), é utilizada comumente para prever o desgaste por deslizamento entre dois materiais (Hutchings, 1992):

$$Q = \frac{K.W}{H} \quad (2)$$

Onde:

- Q: volume desgastado do material, por unidade de distância percorrida.
- K: coeficiente de desgaste (variando de 0 até 1).
- W: Carga normal (N)
- H: Dureza do corpo desgastado (N.m^{-2})

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O material utilizado para este trabalho foi o aço ABNT 8620, este aço é amplamente usado em diversas aplicações mecânicas, como na indústria automotiva, confecção de parafusos sem fim, setores de direção, eixos de comandos de

válvulas, árvores secundárias, engrenagens para caminhões, cruzetas, coroas, pinhões e virabrequins. A composição química deste aço está indicada na Tab. 1.

Tabela 1: Composição química do aço ABNT 8620

NORMA	EQUIVALENTES	COMPOSIÇÃO QUÍMICA (% EM PESO)								
		C	Mn	P Máx.	S Máx.	Si	Ni	Cr	Mo	Fe
ABNT 8620	AISI 8620	0,18%	0,70%	0,03%	0,04%	0,15%	0,40%	0,40%	0,15%	Bal.
		0,23%	0,90%			0,35%	0,70%	0,60%	0,25%	

O experimento realizado foi o pino sobre disco, ambos foram confeccionados com o aço ABNT 8620. O disco foi retirado de uma barra de 16 mm. O pino foi usinado conforme indicado esquematicamente na Fig. 3. O disco e o pino foram cuidadosamente lixados e polidos sendo que a rugosidade média Ra foi aproximadamente 0,8 μm .

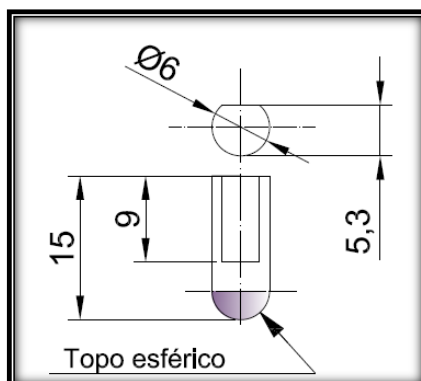


Figura 3: Dimensões do pino para o ensaio pino sobre disco.

Para o estudo do desgaste e do coeficiente de atrito foram realizados dois ensaios no equipamento Microtest modelo MT/60/NE, Fig. 4. Os ensaios foram realizados de acordo com a norma ASTM G99 – 05(2010). Inicialmente, uma amostra de teste estacionária pino ou esfera com uma força normal definida é pressionada contra a superfície plana de outra amostra em um disco rotacional. A força normal é aplicada sobre o pino ou esfera por meio de um conjunto de pesos que pode variar de acordo com a carga que o usuário pretende aplicar, deste modo, a carga aplicada mantém-se constante durante todo o ensaio.



Figura 4: Tribômetro Microtest modelo MT/60/NE

Para o primeiro ensaio foi utilizada a carga 5 N e diâmetro 14 mm para pista de deslizamento, após o término do primeiro ensaio o pino foi rotacionado de modo a evitar que a área desgastada interferisse no segundo ensaio que foi realizado com carga de 3 N e diâmetro 8,4 mm para pista de deslizamento. Os valores de velocidade e revolução foram variados para manter a mesma velocidade periférica percorrida para os dois ensaios, na Tabela 2 são indicados os parâmetros utilizados em cada teste.

Tabela 2: Dados utilizados no ensaio pino sobre disco.

Teste	Carga normal (N)	ROTAÇÃO (rpm)	Diâmetro (mm)	Revoluções	Distância Percorrida (m)
1	5	295,7	14	3000	131
2	3	492,8	8,4	5038	131

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Dureza

Os resultados de dureza Vickers do material como recebido estão indicados na Tabela 2. Os ensaios foram realizados com uma carga de 10 kgf e tempo de penetração de 15 segundos. Foram retiradas três amostras do material e realizadas 10 medições, o valor médio encontrado ficou próximo de 193 HV. O volume de material desgastado (Q) sofre influência direta da dureza do material, como observado na equação de Archard, Eq. (2), de maneira que para maiores valores de dureza, menor será o volume de material desgastado em um teste tribológico.

Tabela 2: Dureza Vickers.

Teste de dureza das amostras		
Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
HV10	HV10	HV10
191,8	193,1	200,7
193,8	195,8	193,7
193	196,9	192,5
195	188,9	196,9
195,5	196,6	192,2
192,3	185,5	195,9
195	193	192,1
193,6	186,5	199,5
189,5	197,3	193,8
195,5	195,9	191,8
Média HV10	Média HV10	Média HV10
193,5	193,0	194,9
Desvio	Desvio	Desvio
1,82	4,22	3,04

3.2. Caracterização Tribológica

Pela análise das micrografias, verificou-se desgaste tanto nos pinos quanto nos discos, Fig. 5, 6 e 7. O desgaste foi mais intenso para a condição de carregamento com 5 N, como indicado na Fig. 6.

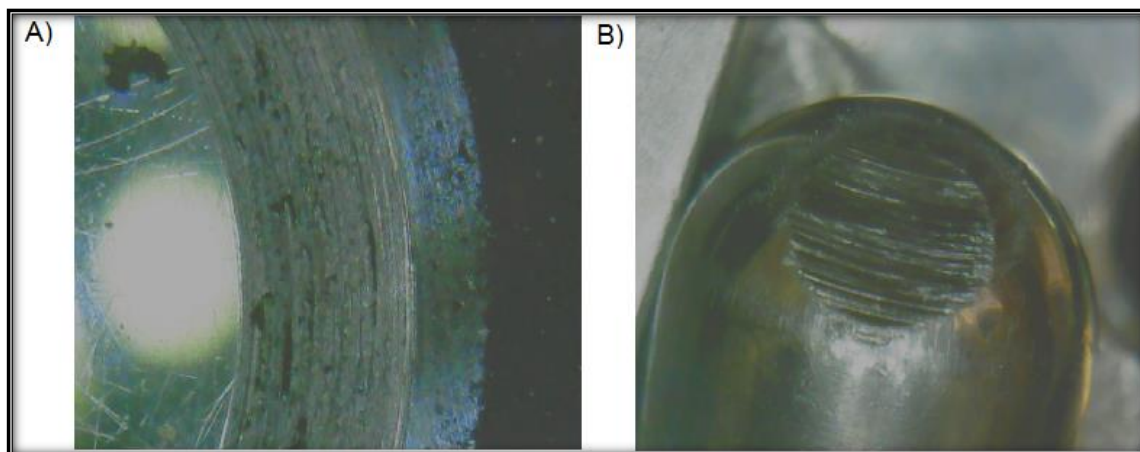


Figura 5: Imagens de microscopia do desgaste do disco (A) e do pino (B) após o primeiro experimento, carga 5 N.

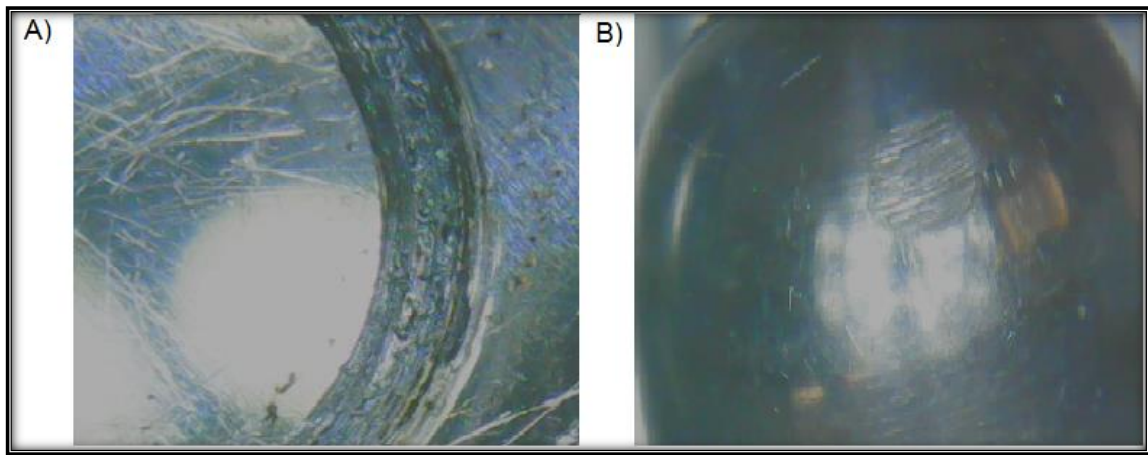


Figura 6: Imagens de microscopia do desgaste do disco (A) e do pino (B) após o segundo experimento, Carga 3 N.

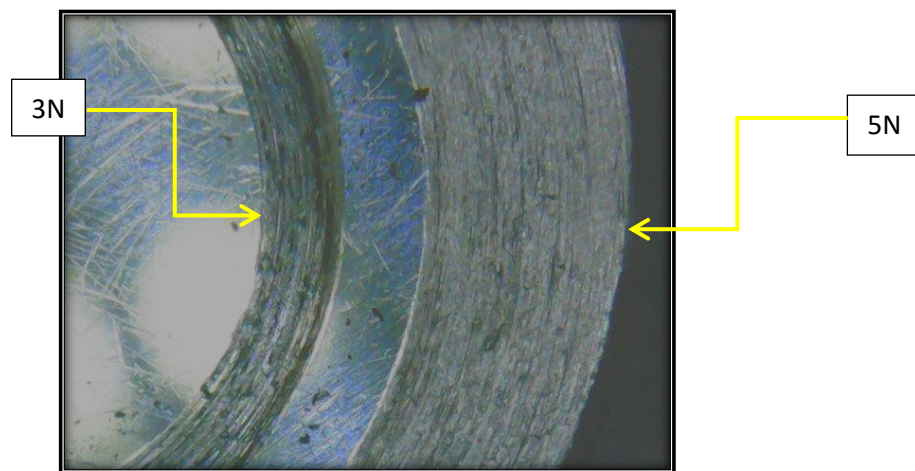


Figura 7: Imagens de microscopia do desgaste do disco após os dois experimentos.

Analisando as imagens obtidas por microscopia eletrônica de varredura é possível identificar com maiores detalhes a morfologia do tipo de desgaste ocorrido nos dois ensaios, Fig. 8(a) e 9(a). Nota-se a presença de áreas de arrancamento com fragmentos, na direção do deslizamento do disco, e o perfil de desgaste foi o mesmo para os pinos, Fig. 8(c) e 9(c). Com maior ampliação é possível verificar os detalhes dos fragmentos sobre a superfície desgastada Fig. 8(b) e 9(b).

A diferença no desgaste entre as duas amostras já era esperada pela análise da equação de Archard (Eq. 2). Como os materiais desgastados possuem propriedades idênticas de composição química, coeficiente de desgaste (K) e dureza (H), a única variável é a carga normal (W), de modo que aplicando uma carga de maior intensidade espera-se uma maior quantidade de volume desgastado (Q).

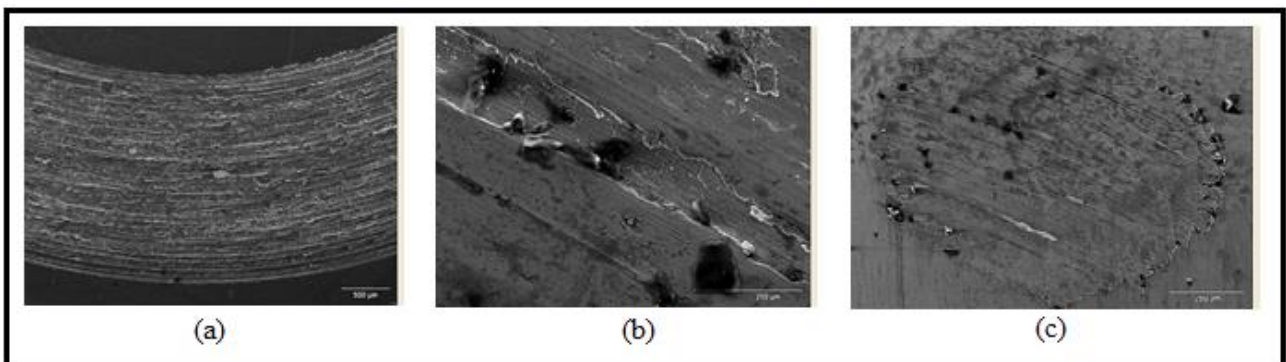


Figura 8: Microscopia eletrônica de varredura para o ensaio com carga de 5N, ampliação (a) 35X , (b) 500X e (c) 35X.

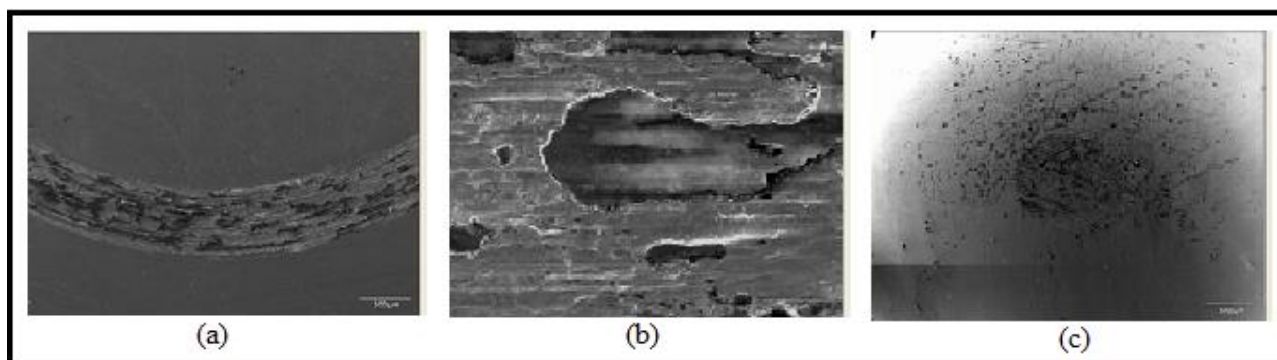


Figura 9: Microscopia eletrônica de varredura para o ensaio com carga de 3N, ampliação (a) 35X , (b) 500X e (c) 35X.

Grande parte dos fragmentos analisados quimicamente no ensaio utilizando carga de 5 N são estruturas ricas nas concentrações de carbono e ferro como indicado na Fig. 10.

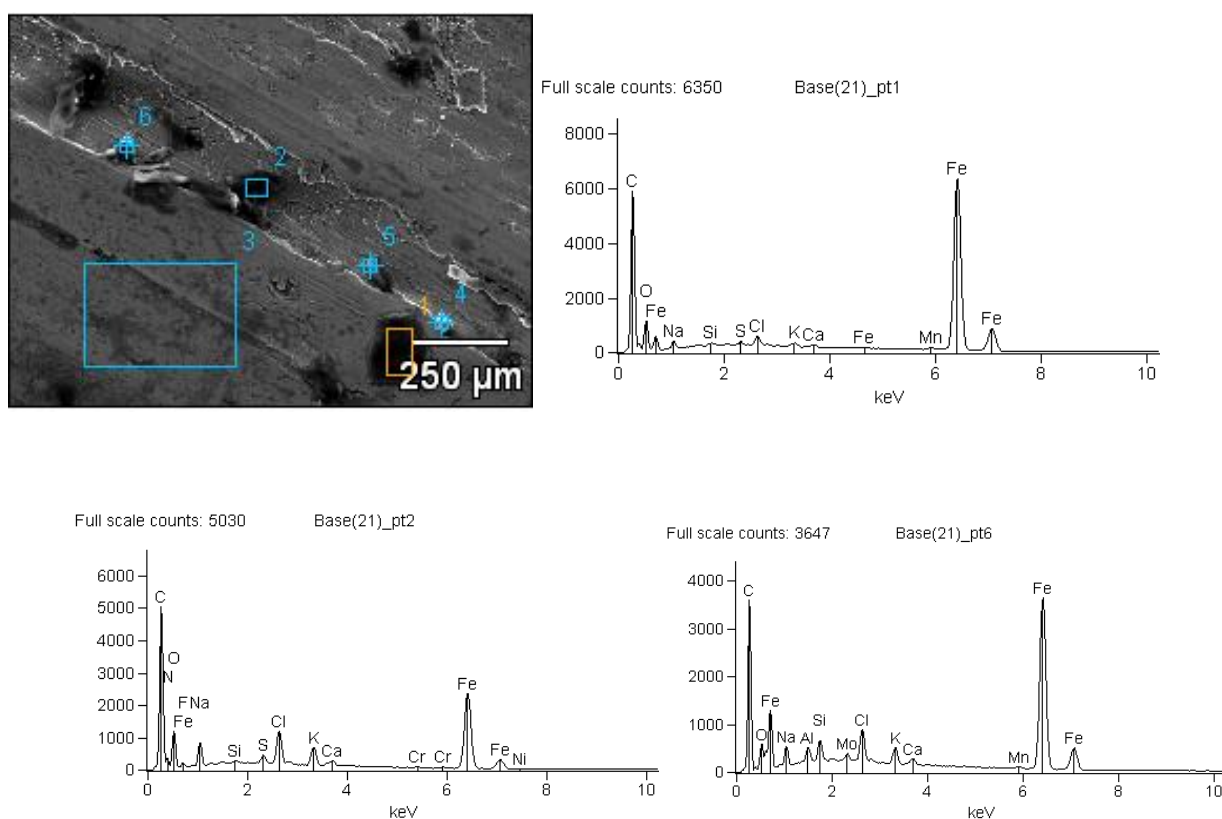


Figura 10: Análise química por EDS para o ensaio com carga de 5 N, ampliação 500X.

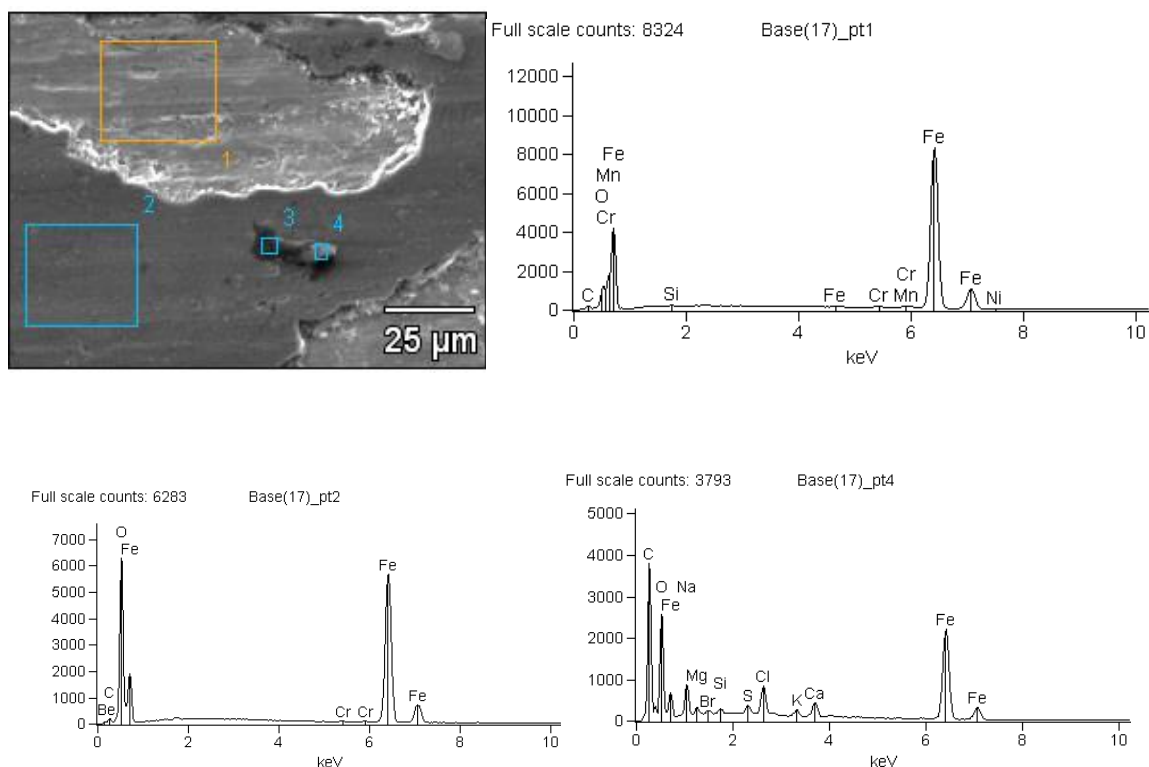


Figura 11: Análise química por EDS para o ensaio com carga de 5 N, ampliação 500X.

Na Fig. 10(b) verifica-se a presença de grandes regiões escuras na pista de deslizamento para o ensaio com carga de 3 N. A análise química indicou a presença de fragmentos ricos em carbono e ferro e presença óxidos nas regiões mais escuras (área 2), como indicado na Fig. 11.

Os gráficos obtidos nos ensaios realizados no tribômetro são apresentados nas Fig. 12 e 13. A análise dos dados indicou para o primeiro ensaio, carga de 5 N, um valor médio para o coeficiente de atrito de 0.5, enquanto o segundo experimento, carga de 3 N, apresentou um valor para coeficiente de atrito inferior a 0.4. Foi observado oscilações nos valores do coeficiente de atrito para o ensaio com carga de 5 N durante os primeiros 80 metros percorridos. Isto pode estar relacionado à formação e quebra de uma camada de óxido entre os dois materiais.

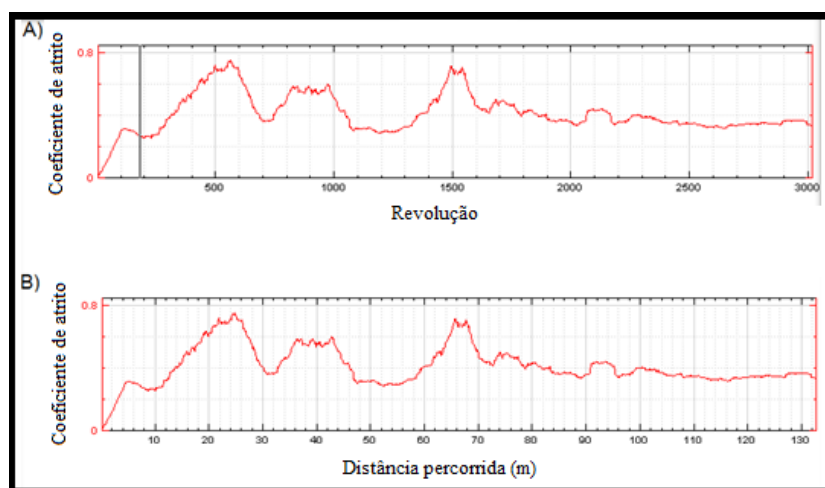


Figura 12: Coeficiente de atrito medido para a carga de 5 N: A) Coeficiente de atrito x revolução; B) Coeficiente de atrito x distância percorrida

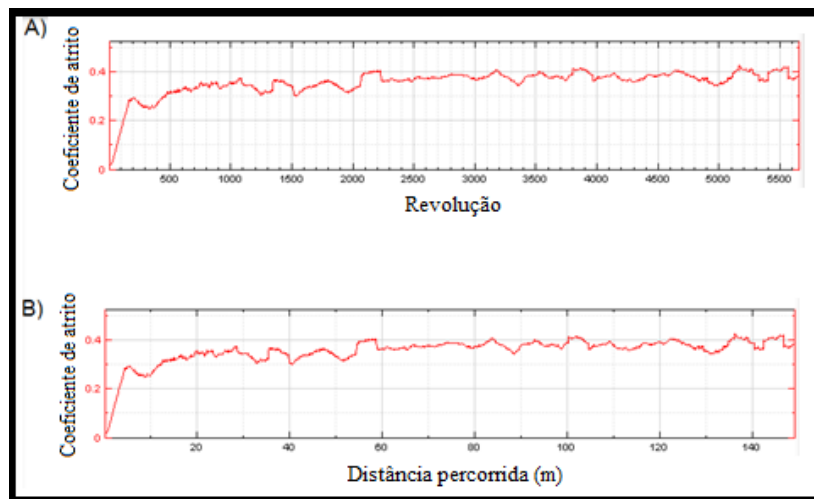


Figura 13: Coeficiente de atrito medido para a carga de 3 N: A) Coeficiente de atrito x revolução; B) Coeficiente de atrito x metros percorridos.

Para o ensaio utilizando carga de 3 N houve uma aparente estabilidade dos valores do coeficiente de atrito durante todo o ensaio.

4. CONCLUSÃO

Pela análise das imagens obtidas por microscopia ótica e eletrônica de varredura podemos concluir que o mecanismo de desgaste foi por abrasão para os dois tipos de carregamentos utilizados, pois existe evidência de arrancamento do material, tanto do pino quanto do disco. Além disso, não há indícios de grande variação na largura dos sulcos em toda a sua extensão, indicando que os fragmentos se desgastam quase no mesmo nível.

As diferenças nos tamanhos das áreas desgastadas, sendo maior para o primeiro experimento (carga 5 N) e menor para o segundo (carga 3 N) pode ser explicada pela maior carga aplicada no contato das duas superfícies. Com aplicação da carga de 5 N o atrito foi maior, provocando maior desgaste e aumento no raio do pino, ocasionando maior área de contato entre o pino e o disco e, consequentemente, o aumento da área desgastada.

O tipo de desgaste é diferente para os dois experimentos, sendo o desgaste para o primeiro experimento (carga 5 N) é considerado severo e para o segundo experimento (carga 3 N) é considerado suave.

O ensaio com carga de 5 N apresentou um coeficiente de atrito médio de 0.5, já o ensaio utilizando carga de 3 N apresentou um coeficiente de atrito inferior a 0.4. A variação nos valores do coeficiente de atrito para o ensaio com carga de 5 N pode estar associada a formação e destruição de uma camada de óxidos durante o deslizamento do pino sobre o disco.

As partículas analisadas indicaram uma elevada concentração de carbono, ferro e oxigênio. Uma possível explicação para o desgaste abrasivo seria a formação de uma superfície oxidada devido ao aumento de temperatura ocasionado pelo atrito e posterior deterioração em pequenos fragmentos que, subsequentemente, agirão como abrasivos, acelerando o desgaste.

5. REFERÊNCIAS

- ASTM G99-05, Standard test method for wear testing with a pin-on-disc apparatus (2010).
- Bhushan, B. (2000) "Tribology: Friction, Wear, and Lubrication" em: Drof RC (ed.) The Engineering Handbook, RCR Press LLC.
- Donnet, C. and Erdemir, A. (2004) "Solid lubricant coatings: recent developments and future trends", Tribology Letters 17 387-397.
- Microtest, S.A, "Test equipamento MT: wear test "pin-on-disk" type".
- Hutchings, I. M, 1992, "Tribology, Friction and Wear of Engineering Materials", Department of Materials Science and Metallurgy, University of Cambridge, London.
- Neto, A. V. A, 2014, "Atrito de escorregamento e atrito de rolamento: análise de situação simples", Universidade Federal de Feira de Santana, Bahia.
- Smith, W. (1998) "Princípios de Ciência e Engenharia dos Materiais", 3ª Ed., Mc Graw Hill.

6. RESPONSABILIDADE AUTORAL

ANALYSIS OF WEAR SURFACE OF STEEL ABNT 8620 SLIDING ON STEEL ABNT 8620 VARIATION FOR MIDST OF NORMAL LOAD IN PIN ON DISK TEST

Matheus da Silva Lages, matheuslages@yahoo.com.br¹

Raphael Gomes de Paula, raphaelmecanica@gmail.com¹

Marcelo Araújo Câmara, marcelocamara@demec.ufmg.br¹

Ernani Sales Palma, ernani@demec.ufmg.br¹

Alexandre Mendes Abrão, abrao@demec.ufmg.br¹

Luiz Leite da Silva, silvall@cdtn.br¹

¹Universidade Federal de Minas Gerais, Av. Antônio Carlos, 6627 - Campus da Pampulha - CEP 31270-901 - Belo Horizonte/MG

Abstract: The study of the mechanical behavior of materials is required in engineering and design of machines and products, for this various types of tests are used, as tensile test, compression, fatigue and test to evaluate the coefficient of friction and frictional force (pin test on disco).

When two surfaces are placed in contact to slide one under the other, a force arises in the opposite direction to the movement, the friction force. The friction generated causes wear on the surfaces may occur in different ways and at different intensity, depending on the parameters present, such as sliding speed, applied normal force, temperature, humidity and composition of the material. This work was evaluated the wear caused by the sliding of ABNT 8620 steel pin on ABNT 8620 steel disc with variation of the normal load. The type of wear observed was abrasion wear, and the friction coefficient found for the loads applied 3N and 5N were 0,5 and 0,4, respectively.

Keywords: *Wear test, abrasive wear, metallic materials.*

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo deste trabalho.