

MICROABRASÃO EM LIGAS SINTERIZADAS PARA COROAS DE SONDAGEM MINERAL¹

André Menegaz Lozzer²

Ricardo Machado Tottola³

Ronaldo Eisele⁴

José Daniel Biasoli de Mello⁵

Marcelo Camargo Severo de Macêdo⁶

Cherlio Scandian⁷

Resumo

Este estudo visa realizar uma análise de desgaste abrasivo em matrizes de ligas sinterizadas de tungstênio utilizadas em coroas para sondagem mineral, através do ensaio de microabrasão. Sete tipos de materiais para coroas sinterizadas por infiltração em fase líquida e sem diamantes foram ensaiados. A granulometria do pó de tungstênio e a adição de pós metálicos com outra composição são os fatores de distinção. Foi medida a dureza Vickers das ligas com carga utilizada de 10 kgf. Já os testes de microabrasão foram realizados com lama abrasiva de SiC e água. O coeficiente de desgaste dimensional foi calculado no regime permanente pela metodologia clássica baseada num perfil esférico ideal. O comportamento em desgaste é relacionado com a dureza, o tamanho das partículas de tungstênio e adições. Os mecanismos de desgastes foram avaliados a partir de micrografias obtidas por microscopia eletrônica de varredura.

Palavras-chave: Brocas de perfuração; Sinterizados; Microabrasão.

MICRO-ABRASION OF SINTERED ALLOYS BITS FOR ROCK DRILLING

Abstract

This work aims to analyze the abrasive wear of sintered tungsten alloys used on impregnated diamond bits for mining exploration by micro-abrasion test. Seven alloys produced by liquid phase sintering and without diamond were studied. The main differences effects of tungsten powder mean size and other alloy additions were evaluated. Vickers Hardness was measured with com 10 kgf load. Micro-abrasion tests were performed with an abrasive slurry (SiC and water). Dimensional wear coefficients were calculated on the steady state and assuming a spherical geometry. Dimensional wear coefficients were compared with hardness, the tungsten powder size and also alloy additions. Wear mechanisms were evaluated by scanning electron microscopy.

Key words: Impregnated diamond bits; Sintered materials; Micro-abrasion.

¹ Contribuição técnica apresentada na 61º Congresso Anual da ABM, de 24 a 27 de julho de 2006, Rio de Janeiro – RJ

² Mestrando no PPGEM, UFES – ES, andremenegaz@yahoo.com.br

³ Mestrando no PPGEM, UFES – ES, metalurgia@geosol.com.br

⁴ Engenheiro Geólogo - logistica@geosol.com.br

⁵ Professor Dr. LTM/FEM/UFU- MG - membro da ABM, ltm-demello@ufu.br

⁶ Professor Dr. PPGEM/UFES - ES - membro da ABM, mcamargo@npd.ufes.br

⁷ Professor Dr. PPGEM/UFES – ES - membro da ABM, cherlios@npd.ufes.br

1 INTRODUÇÃO

Na prospecção mineral, uma importante etapa é a sondagem mineral testemunhada. Para a realização desta etapa, empregam-se, normalmente, coroas diamantadas ou, também chamadas, brocas de perfuração. Essas coroas são fabricadas através do processo de sinterização por infiltração,^(1,2) constituindo-se basicamente de uma matriz metálica com dispersão de pequenos diamantes de forma aleatória. As matrizes metálicas, formadas por um esqueleto de pós de tungstênio unidos por uma liga metálica infiltrante (neste caso, o latão), têm por objetivo dar sustentação aos diamantes e ao mesmo tempo ser desgastada, a fim de expor os mesmos durante a utilização da ferramenta. Contudo, este desgaste não pode ser muito elevado, pois, senão os diamantes serão arrancados facilmente. A constituição, em peso, aproximada das coroas é 1/3 pós de W, 1/3 de liga infiltrante e 1/3 diamantes.^(3,4)

Neste trabalho foram realizados testes de microabrasão a fim de comparar qualitativamente sete tipos de matrizes metálicas para as coroas. A diferença reside, basicamente, no tamanho de pós de tungstênio e a quantidade relativa destes, além de algumas adições de pós com outras composições. A partir dos ensaios de microabrasão realizados, pode ser feita uma correlação entre o coeficiente de desgaste e algumas características das matrizes metálicas, tais como: dureza, composição e granulometria do pó.

2 MÉTODOS E EXPERIMENTOS

As amostras foram identificadas segundo o tamanho médio dos pós metálicos de tungstênio (W) que as compõe e os respectivos pós de adição, o que pode ser observado na Tabela 1. Todas as amostras foram sinterizadas sem diamantes com a seguinte liga infiltrante: Cu-43Zn-1Sn (% em peso). A sinterização foi realizada em forno tipo mufla na temperatura de aproximadamente 1050°C.

Tabela 1. Nomenclatura e constituição dos materiais utilizados

Material	Constituição
4	W (tamanho médio de 3,5 µm)
4-Cu	W (tamanho médio de 3,5 µm) + 60Cu-25Co-15Fe
4-Fe	W (tamanho médio de 3,5 µm) + 72Fe-25Co-3Cu
4-Mo	W (tamanho médio de 3,5 µm) + Mo
6-16	W (tamanho médio de 6 µm) + W (tamanho médio de 16 µm)
6	W (tamanho médio de 6 µm)
16	W (tamanho médio de 16 µm)

Tanto as amostras para o teste de microabrasão quanto às do ensaio de dureza foram polidas manualmente com lixas d'água com granulometrias diferentes entre 180 e 600.

Os ensaios de microabrasão foram realizados em um equipamento do tipo esfera livre, onde a mesma é movida por um eixo motor e desliza sobre o corpo de prova fixo num suporte inclinado que, através de uma célula de carga, mede continuamente a força normal sobre o contato durante todo o teste. A esfera é de aço inoxidável martensítico com um diâmetro de 30 mm e seu contato com o corpo de prova é feito em um meio abrasivo em fluxo contínuo. O equipamento também possui um misturador magnético para agitar continuamente a lama abrasiva sem

possibilidades de contaminação e uma luneta de observação. O aspecto geral do equipamento é apresentado na Figura 1.

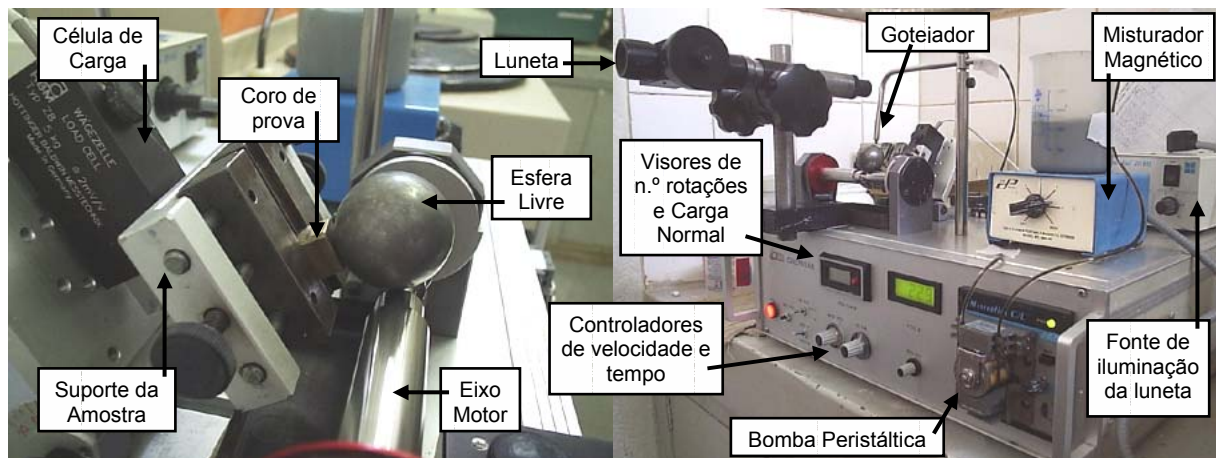


Figura 1. Ilustração do equipamento de microabrasão (Calowear, LTM/UFU).

Os parâmetros adotados para a realização dos ensaios estão descritos na Tabela 2.

Tabela 2. Parâmetros do teste de microabrasão

Rotação do eixo motor	150 (rpm)
Ângulo de inclinação do suporte	70 (°)
Força normal estática	0,22 ± 0,01 (N)
Abrasivo	SiC com granulometria média de 5 µm
Concentração do abrasivo - (SiC)	0,1 (mg / cm ³)
Gotejamento do Abrasivo	1 gota a cada 3 segundos

No ensaio de microabrasão admite-se que a impressão da calota na amostra, ou seja, a região desgastada tenha o mesmo perfil geométrico do corpo responsável por sua impressão. Assim, é possível determinar o volume de material desgastado (V) a partir do diâmetro da esfera (\varnothing_e) e do diâmetro da calota desgastada (b) através da equação 1. ^(5, 6)

$$V \approx \frac{\pi \cdot b^4}{32 \cdot \varnothing_e}, \text{ para } b \ll \varnothing_e$$

Equação 1

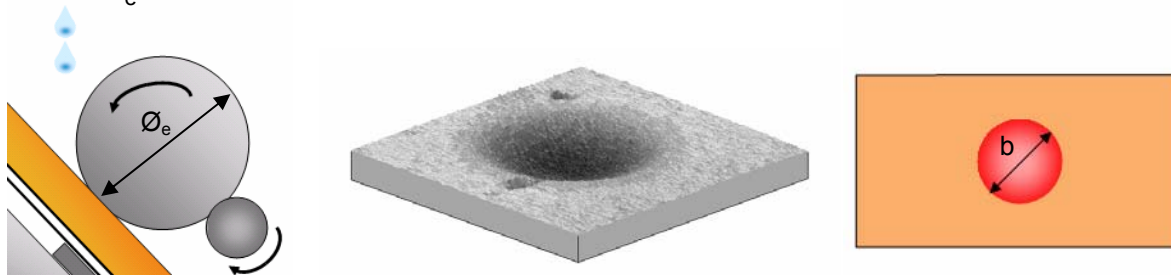


Figura 2. Esquema de impressão, imagem e dimensão da calota desgastada.

Na Figura 2, acima, são mostrados, a título de ilustração, o esquema do dispositivo de teste empregado, uma imagem gerada por interferometria a laser da calota sobre a amostra e o diâmetro da mesma.

Este modelo simples de desgaste abrasivo equivale à equação de Archard para desgaste por deslizamento:⁽⁵⁾

$$Q = \frac{V}{S} = \frac{K \cdot N}{H} \quad \text{Equação 2}$$

A partir de 2, considera-se a relação $\frac{K}{H}$ igual a k, levando, assim:

$$k = \frac{V}{S \cdot N} \quad \text{Equação 3}$$

Onde k representa o coeficiente de desgaste dimensional, cuja unidade é dada em $\text{m}^3 \cdot (\text{N} \cdot \text{m})^{-1}$,⁽⁶⁾ V é o volume de material desgastado, S é a distância deslizada e N a força normal sobre o contato.

Deste modo, unindo as equações 1 e 3, pode relacionar-se o coeficiente de desgaste dimensional (k) com o diâmetro da calota desgastada (b), o diâmetro da esfera livre (\varnothing_e) e as variáveis de ensaio: distância deslizada (S) e força normal sobre o contato (N), o que é ilustrado na equação 4.

$$k = \frac{\pi \cdot b^4}{32 \cdot \varnothing_e \cdot S \cdot N}, \text{ para } b \ll \varnothing_e \quad \text{Equação 4}$$

Para cada uma das sete amostras, chegou-se a um valor para o coeficiente de desgaste dimensional a partir dos valores dos quatro últimos pontos de cada ensaio contidos no regime permanente, resultando, assim, 12 valores por amostra, utilizados para os cálculos da média e do desvio padrão. O regime permanente foi considerado o ponto a partir do qual todas as amostras apresentaram variação inferior a 8% para o coeficiente de desgaste ao longo do tempo.

A avaliação das calotas desgastadas, via microscópio eletrônico de varredura (MEV), permitiu fazer alguma inferência sobre os mecanismos de desgaste das sete amostras, onde foi observado, basicamente, o mesmo comportamento. As observações por microscopia eletrônica de varredura (MEV) foram realizadas num equipamento marca LEICA-OXFORD, modelo S440i, da Cia Siderúrgica de Tubarão (CST).

Os ensaios de dureza foram realizados em durômetro Vickers (WPM) com carga de 10 kgf, por 30 s, em 10 pontos da superfície de cada corpo de prova (cp), sendo 3 cp's por liga, logo a média foi obtida sobre trinta pontos.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Na Figura 3, é destacado o aspecto geral do material sinterizado, onde as partículas claras são constituídas de pós de tungstênio, cujo tamanho médio original é de 3,5 μm e a parte escura é a liga infiltrante, Cu-43Zn-1Sn. Pode ser observado que houve certo coalescimento das partículas de tungstênio durante o processo de sinterização em fase líquida.^(1,2)

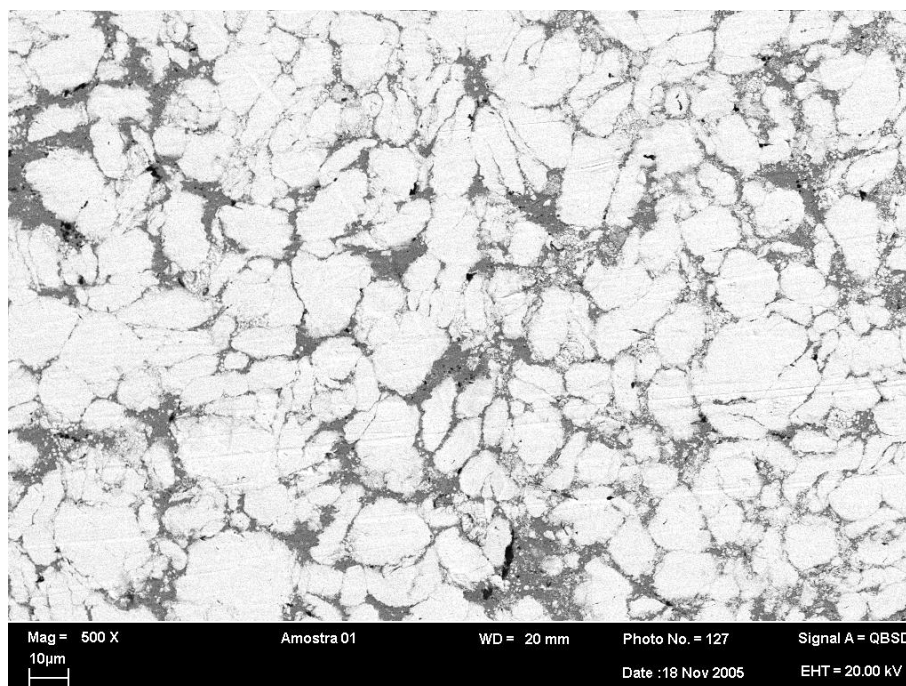


Figura 3. Micrografia eletrônica de varredura mostrando o aspecto geral da amostra.

A Figura 4 ilustra o comportamento da amostra de material de granulometria média $3,5 \mu\text{m}$ quanto ao regime permanente. Pode-se observar que a partir da distância percorrida de 5 metros, para este material, o sistema tribológico atingiu tal regime.

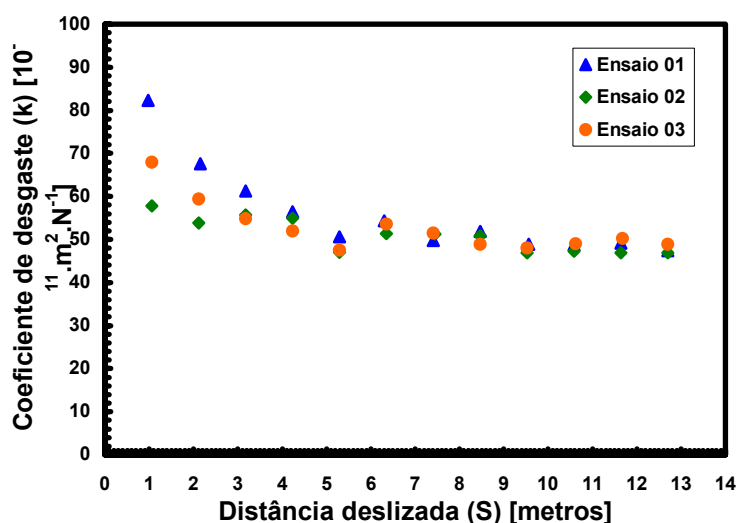


Figura 4. Variação do coeficiente de desgaste dimensional ao longo da distância deslizada para a amostra de material "4".

As durezas para as amostras, assim como os coeficientes de desgaste dimensional estão apresentados na Tabela 3, porém uma análise qualitativa entre as amostras fica mais clara quando representados na forma gráfica da Figura 5.

As coroas fabricadas a partir de pós de tungstênio de tamanho médio original de $16 \mu\text{m}$ apresentaram os menores valores de dureza, na ordem de 300HV_{10} . Além destas, a coroa com pós de tungstênio de tamanho médio original de $3,5 \mu\text{m}$, na qual foi adicionado pó de $60\text{Cu}-25\text{Co}-15\text{Fe}$, também, atingiu baixo valor de dureza na mesma faixa que as duas mencionadas. Já as ligas contendo só tungstênio de menor tamanho ($3,5$ e 6) e aquelas com adição de Mo ou de $72\text{Fe}-25\text{Co}-3\text{Cu}$

apresentaram resultados na ordem de 340 HV₁₀. Os resultados de dureza obtidos estão claramente relacionados com o tamanho da partícula de W e com o pó de liga adicionado, em geral, menor o tamanho maior é a dureza. As adições de ligas a base de Fe e de Mo não alteram significativamente o valor de dureza em relação ao material que contém só W de tamanho médio original de 3,5 µm. Já a adição de liga de cobre reduz a dureza.

Tabela 3. Durezas e Coeficientes de desgaste dimensional.

Amostras	Dureza Vickers 10kgf	Coefficiente de desgaste dimensional ($k \cdot 10^{11} \cdot \text{m}^2 \cdot \text{N}^{-1}$)
4	335 ± 12	48,18 ± 1,11
4-Cu	290 ± 18	54,36 ± 3,19
4-Fe	340 ± 17	41,68 ± 3,22
4-Mo	341 ± 6	46,31 ± 1,27
16	288 ± 10	39,86 ± 1,88
6-16	311 ± 8	41,35 ± 3,10
6	348 ± 9	43,56 ± 1,65

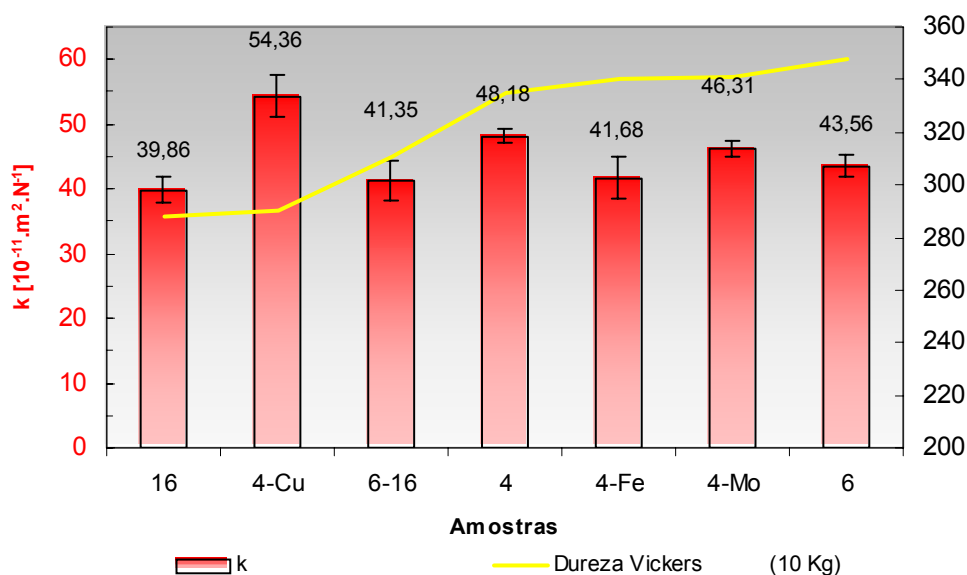


Figura 5. Representação gráfica das Durezas e Coeficientes de desgaste dimensional, calculados a partir da dimensão da calota desgastada das amostras.

Considerando apenas os materiais que contém somente pós de W e latão (Figura 6), o coeficiente de desgaste dimensional diminui quando o tamanho médio original das partículas de W aumenta. Isto está provavelmente relacionado com o aumento da fração volumétrica de infiltrante, no caso latão Cu-43Zn-1Sn para todas, que é uma fase menos dura. A fração aumenta de 16,2 % para 22,4% quando o tamanho do pó de W é reduzido de 16 µm para 3,5 µm.

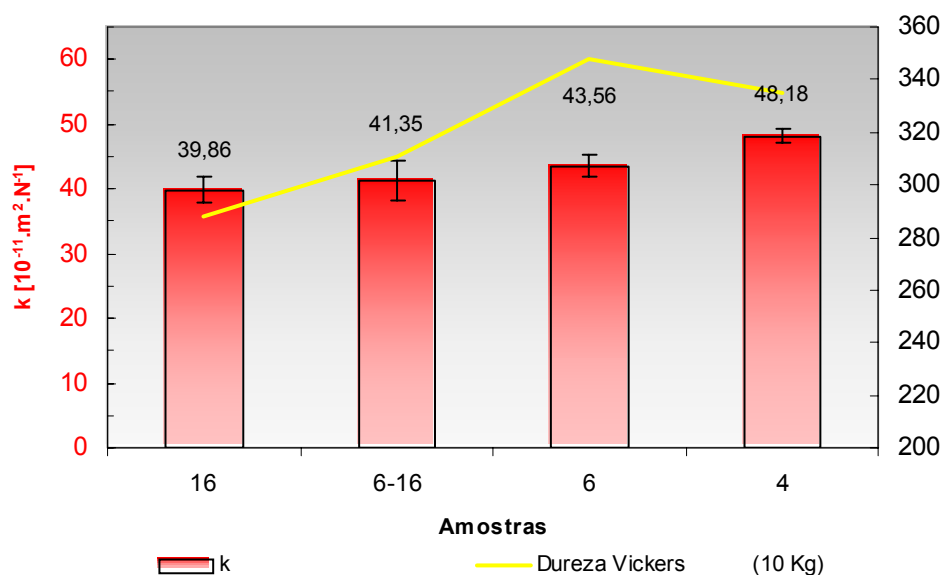


Figura 6. Efeito da granulometria média original nas durezas e coeficientes de desgaste dimensional das amostras constituídas apenas de pós de W e latão.

O efeito das adições de pós de outras ligas ao material com granulometria de 3,5 μm é interessante (Figura 7). A adição da liga 60Cu-25Co-15Fe aos pós de 3,5 μm , levou a um aumento da fração volumétrica de infiltrante (31%), sendo que o material 4-Cu apresentou o maior coeficiente de desgaste dimensional. Já o Mo não altera muito o coeficiente de desgaste. Finalmente a adição de Fe reduz o coeficiente de desgaste comparando com a amostra constituída de W puro e latão (material “4”).

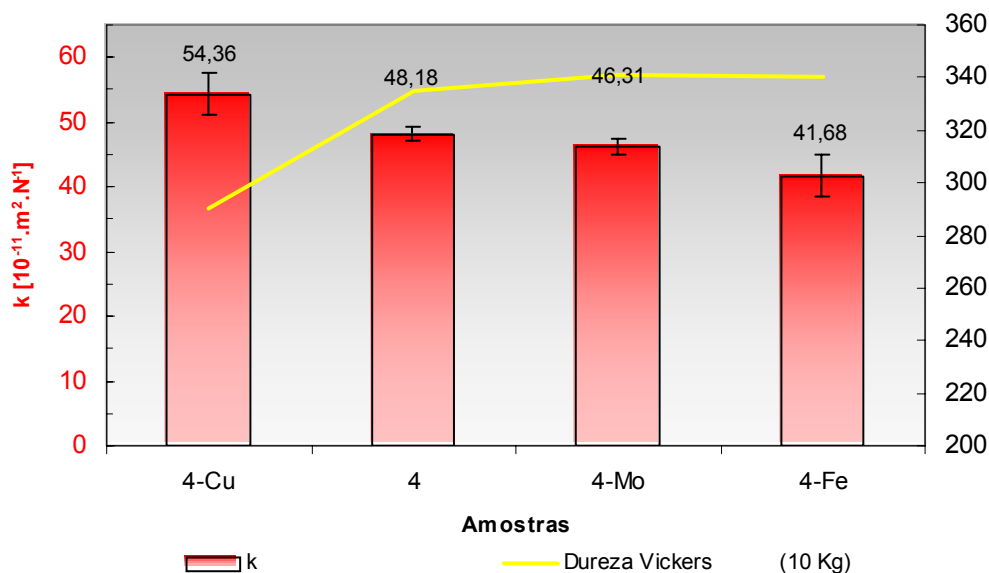


Figura 7. Influência das adições na dureza e coeficientes de desgaste dimensional das amostras fabricadas com pós de W de tamanho médio de 3,5 μm .

A Figura 8 mostra que as indentações presentes na liga infiltrante (parte escura) são mais pronunciadas do que as que ocorrem nos pós de W. Isto sugere a importância da fração volumétrica de infiltrante no coeficiente de desgaste.

Comparando as Figuras 8 e 9 que são, respectivamente, fotos em MEV utilizando elétrons secundários e retroespalhados, é possível visualizar que o desgaste

abrasivo apresentou, praticamente, os mesmos mecanismos para todas as amostras, ou seja, o mecanismo foi o de três corpos, no qual as partículas abrasivas rolam entre as duas superfícies produzindo múltiplas indentações sem uma direcionalidade preferencial. A amostra do material “4-Cu” apresentou alguns eventos de microcorte.⁽⁷⁾

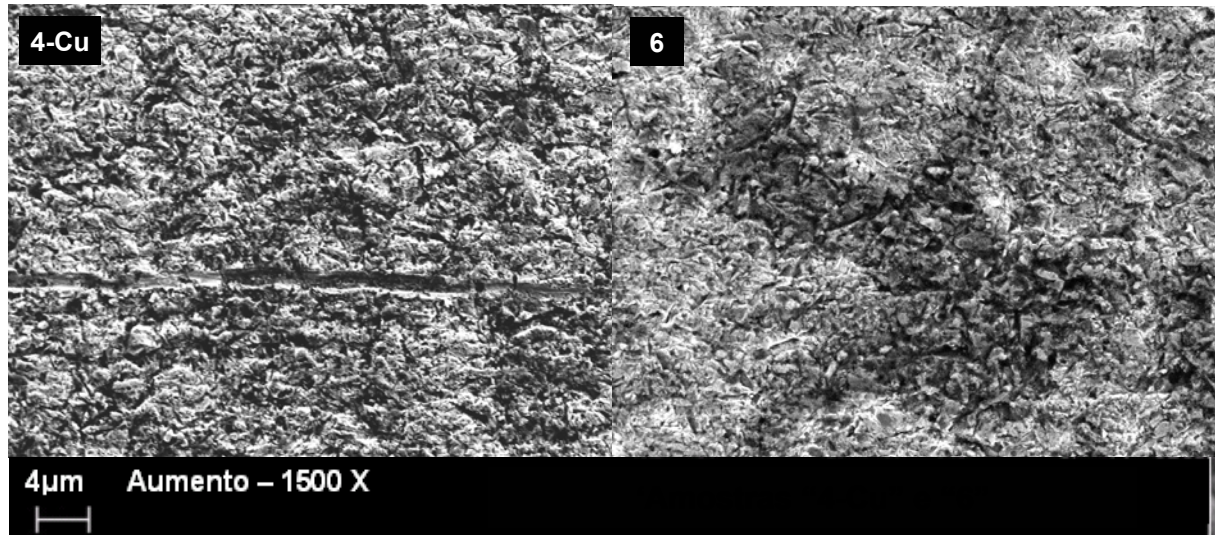


Figura 8. Fotos em microscópio eletrônico de varredura para as amostras dos materiais “4-Cu” e “6” com aumento de 1500 vezes. Elétrons secundários.

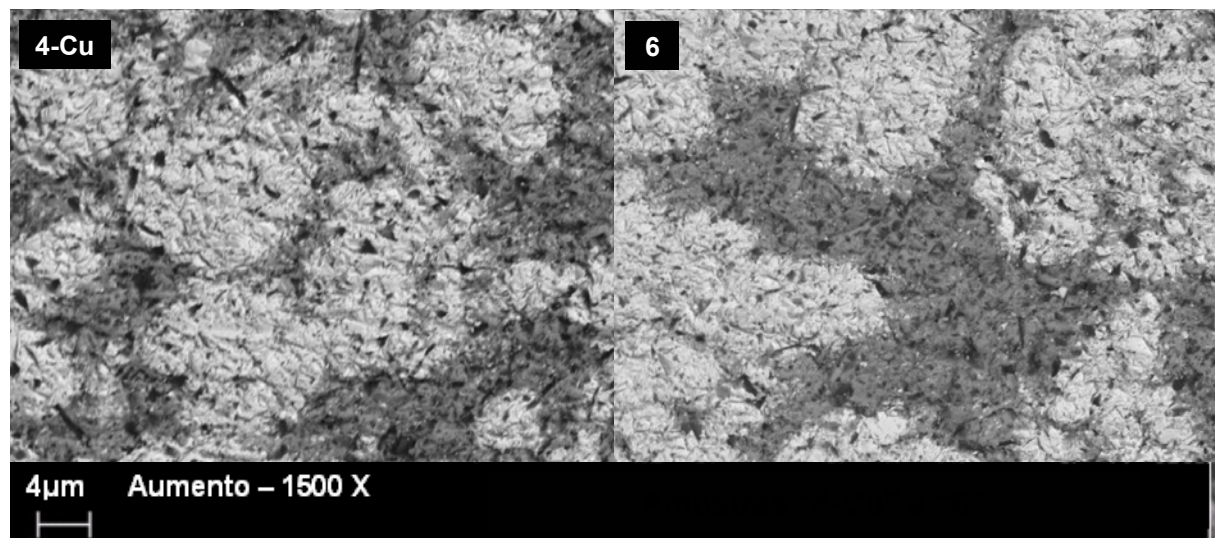


Figura 9. Fotos em microscópio eletrônico de varredura para as amostras dos materiais “4-Cu” e “6” com aumento de 1500 vezes. Elétrons retroespalhados.

4 CONCLUSÕES

As conclusões deste trabalho são basicamente três:

Considerando somente as amostras sem os pós de adição, à medida que se diminui a granulometria, obtém-se um maior coeficiente de desgaste. Isto se deve, provavelmente, a uma maior quantidade de liga infiltrante exposta ao processo de desgaste abrasivo. Como este material é mais macio que o W, é admissível que as ligas sejam menos resistente.

Analisando somente os materiais com mesma granulometria e com diferentes pós de adição, tem-se que aqueles pós que aumentam a fração volumétrica de infiltrante, possivelmente por dissolução, aumentam o coeficiente de desgaste, o que acontece nos materiais “4-Cu”. Já aqueles a base de Fe, conseguiu-se uma redução significativa no coeficiente de desgaste, pois dificilmente o ferro se dissolveria no infiltrante à temperatura de sinterização empregada (aproximadamente, 1050 °C). O mecanismo de desgaste dominante destes testes de microabrasão foi o de três corpos, pois as análises revelaram indentações sem direções preferenciais ao longo de toda a calota provocadas pelo rolamento das partículas abrasivas entre as superfícies.

REFERÊNCIAS

- 1 R. M. German; **Liquid Phase Sintering**, 1985, Ed. Plenum Press, 239 p.
- 2 R. M. German; **Sintering Theory and Practice**, 1996, Ed. John Wiley & Sons, 550 p.
- 3 J. D. Dawn; **Powder Metallurgy**, 1988, vol 4, n2, pp 4-86.
- 4 J. D. Dawn; **Materials Science and Technology**, 1988, vol. 14 pp 896-900.
- 5 Rutherford K L, Hutchings I M; **Journal of Testing and Evaluation**, JTEVA, 25(2), March 1997, 250-260.77
- 6 Trezona R I, Allsopp D N, Hutchings I M; **Wear**, 225-229 (1999), 205-214.
- 7 W. M. da Silva, R. Binder, J. D. B. de Mello; **Wear**, 258, 2005, pp 166-177.