

ANÁLISE TRIBOLÓGICA DO CONTATO ENTRE INSERTOS DE WC/CO E AMOSTRAS DE CONCRETO DE DIFERENTES RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO UNIAXIAL.

André de Lima Vallim

Paulo André de Camargo Beltrão

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças, Curitiba - PR
andre.vallim@alunos.utfpr.edu.br; beltrao@utfpr.edu.br

Giuseppe Pintaude

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças, Curitiba - PR
pintaude@utfpr.edu.br

Resumo: O estudo em questão busca simular e avaliar o sistema tribológico formado por insertos de mineração e substratos rochosos de diversas classificações através de ensaios em tribômetro entre amostras de concreto de diferentes resistências a compressão e insertos de mineração de carboneto de tungstênio. Foram variados os valores de resistência a compressão das amostras de concreto e das velocidades tangenciais do inserto para avaliar os mecanismos de desgaste e variação dos elementos químicos presentes na superfície do inserto através de análises em MEV e EDS, respectivamente. Para garantir a repetibilidade do estudo, cada configuração de ensaio foi ensaiada duas vezes para se identificar possíveis variações nos resultados qualitativos e quantitativos de cada configuração. As análises realizadas identificaram mecanismos de desgaste já conhecidos do carboneto de tungstênio, como o surgimento de fraturas intergranulares, a remoção da matriz de cobalto superficial e a deposição de material cerâmico na superfície do inserto após a ocorrência de desgaste adesivo. Apesar de terem sido realizados ensaios sob diferentes valores de resistência a compressão uniaxial das amostras de concreto e velocidades tangenciais de inserto, não foram observadas variações significativas nos elementos químicos superficiais presentes pós-ensaios entre as configurações, mesmo tendo sido identificada a deposição de material cerâmico em todas as amostras ensaiadas. Mesmo com os mecanismos de desgaste associados ao tribossistema se mostrando constantes em todos os ensaios realizados percebeu-se uma variação nas áreas desgastadas dos insertos dentre as diferentes condições de ensaio. Foi observado que amostras de concreto com menores valores de resistência a compressão tendem a atingir maiores valores de área de contato afetada do inserto, após uma certa faixa de resistência a compressão uniaxial também se observou que menores velocidades tangenciais resultam em maiores valores de área de contato afetada no inserto de carboneto de tungstênio. Os resultados observados neste estudo permitem inferir a possibilidade de existir uma relação entre a área de contato afetada do inserto de mineração, os valores de velocidade tangencial do inserto e resistência a compressão uniaxial do substrato rochoso, relação esta que pode ser objeto de estudos futuros.

Palavras-chave: tribologia na mineração; desgaste de metal duro; resistência a compressão uniaxial; taxas de penetração de inserto; insertos de mineração

1. INTRODUÇÃO

As perdas associadas ao atrito na indústria de mineração vem sendo foco de estudos por diferentes autores, como Majeed et al. (2020) e Yang et al. (2014), que buscam formas de prever valores como coeficiente de atrito e taxa de desgaste e melhorar o desempenho da mineração através de diferentes métodos para prevenir as perdas materiais e energéticas associadas ao contato formado pela broca de mineração e o substrato rochoso. Apesar de existirem estudos comparando diferentes tipos de substratos rochosos, não foram encontrados muitos estudos que associem parâmetros rochosos a parâmetros de operação durante a mineração, então o comportamento do desgaste do inserto com a variação em parâmetros rochosos ainda não é um tema muito explorado, conforme citado por autores como K. Abbas (2018) e Dougherty et al. (2014).

Dentre possíveis parâmetros de rocha que podem ser utilizados, a resistência a compressão uniaxial é apontada como ideal para classificar diferentes formações rochosas e uma das principais responsáveis pelo desgaste superficial das brocas de mineração e seus insertos (Yenice, 2019).

O objetivo deste estudo é associar a variação na resistência a compressão uniaxial de substratos rochosos e variação de diferentes valores de velocidade tangencial de insertos de mineração aos mecanismos de desgaste. Também serão avaliados os elementos químicos superficiais e a variação das zonas desgastadas dos insertos para se estabelecer uma relação entre estas variáveis aos parâmetros observados, buscando simular as condições reais de operação em um ambiente controlado de laboratório.

2. METODOLOGIA DE PESQUISA

Para avaliar a influência da resistência à compressão e da velocidade de corte nas taxas de penetração do inserto e nos desgastes associados ao contato foram utilizadas amostras de concreto de diferentes resistências à compressão para simular formações rochosas de diferentes classificações, como rochas sedimentares, ígneas e metamórficas, por exemplo.

Foram fabricadas amostras cilíndricas de concreto com 100 mm de diâmetro e 200 mm de altura que posteriormente foram cortadas em discos de aproximadamente 30 mm de altura. Para a realização de ensaios em diferentes resistências à compressão foram calculadas diferentes razões de água, areia a base de quartzo, brita de granito, cimento CP5, superplastificante e sílica ativa, resultando em amostras de concreto de aproximadamente 40 MPa, 56 MPa e 94 MPa para simular formações rochosas de baixa, média e alta resistência à compressão, respectivamente, conforme classificação feita por Attewell e Farmer (2012). A razão dos ingredientes para cada resistência resultante pode ser verificada na Tab. 1.

Tabela 1. Massa dos ingredientes utilizados para fabricação dos corpos de prova, em kg. (O autor, 2022)

Material	Baixa resistência	Média resistência	Alta resistência
Cimento [kg]	5,5	6,7	8
Areia [kg]	7	8,2	7
Brita [kg]	13,4	12,6	12,9
Água [kg]	2,5	2,12	2,2
Superplastificante [kg]	0,01	0,03	0,04
Sílica ativa [kg]	0	0,28	0,35

Os ensaios tribológicos foram realizados em tribômetro, sob uma pré-carga de 40 N e taxa de amostragem de 50 Hz, e foi percorrida uma pista de 50 m em cada ensaio. Para avaliar os efeitos da velocidade sobre os parâmetros analisados foram utilizados tempos de ensaio de 1 hora e 2 horas, resultando em velocidades de corte de 0,0139 m/s e 0,0069 m/s, respectivamente, cada configuração foi ensaiada duas vezes e as configurações adotadas em cada ensaio podem ser visualizadas na Tab. 2.

Tabela 2. Parâmetros de ensaio. (O autor, 2022)

Resistência [MPa]	Nº do ensaio	RPM	Raio [cm]	Tempo [s]	v [mm/s]	Revoluções	Pressão de contato [Mpa]
40	1	9,824	2,700	3600	13,9	549	509,55
40	2	6,631	2,000	3600	13,9	398	509,55
40	3	5,531	1,199	7200	6,9	664	509,55
40	4	5,540	1,197	7200	6,9	665	509,55
56	5	11,08	1,197	3600	13,9	665	566,5
56	6	8,854	1,498	3600	13,9	532	566,5
56	7	4,024	1,648	7200	6,9	483	566,5
56	8	3,684	1,800	7200	6,9	443	566,5
94	9	7,368	1,800	3600	13,9	443	665,52
94	10	7,368	1,800	3600	13,9	443	665,52
94	11	3,083	2,151	7200	6,9	370	665,52
94	12	3,499	1,895	7200	6,9	420	665,52

Os insertos utilizados são semiesféricos e com 12 mm de diâmetro, as superfícies dos insertos foram analisadas antes e após os ensaios em um microscópio eletrônico de varredura (MEV), da marca Zeiss, modelo EVO MA 15, onde foram identificadas suas microestruturas, as composições superficiais também foram identificadas através de um EDS (espectroscopia por energia dispersiva) da marca X-max com área de sensor de 20 mm². Nas Fig. 1. e Fig. 2 é possível avaliar os resultados das avaliações em MEV e EDS pré-ensaio para um dos insertos.

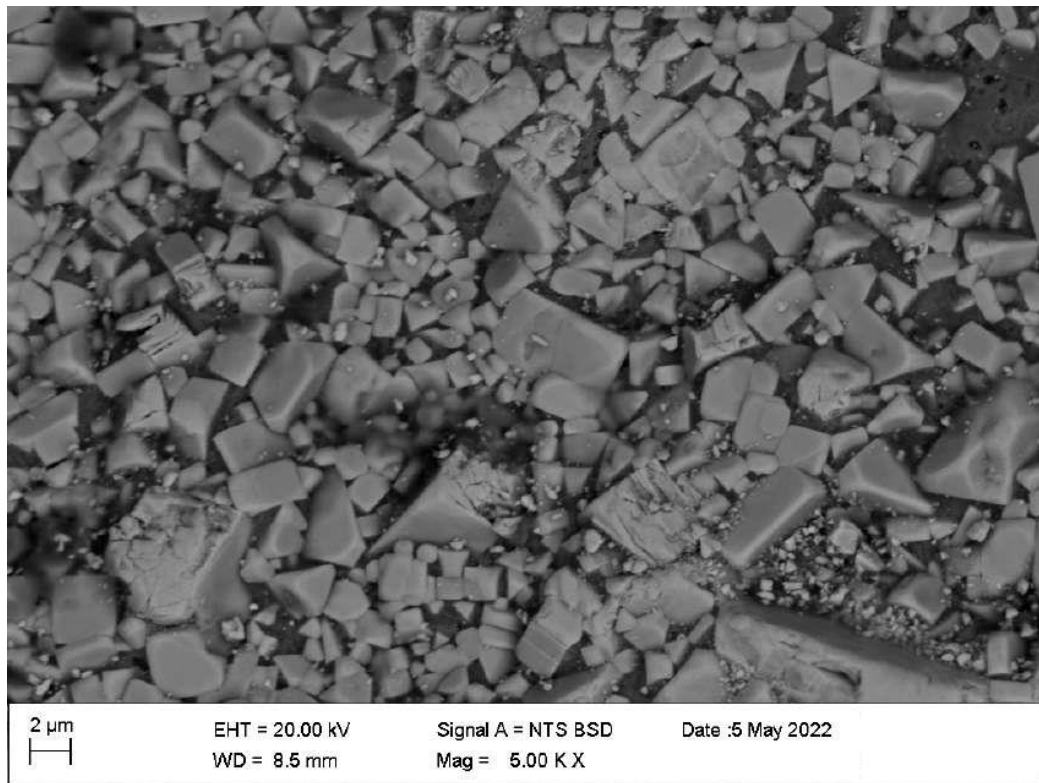


Figura 1. Microscopia da superfície do inserto, pré-ensaio. (O autor, 2022)

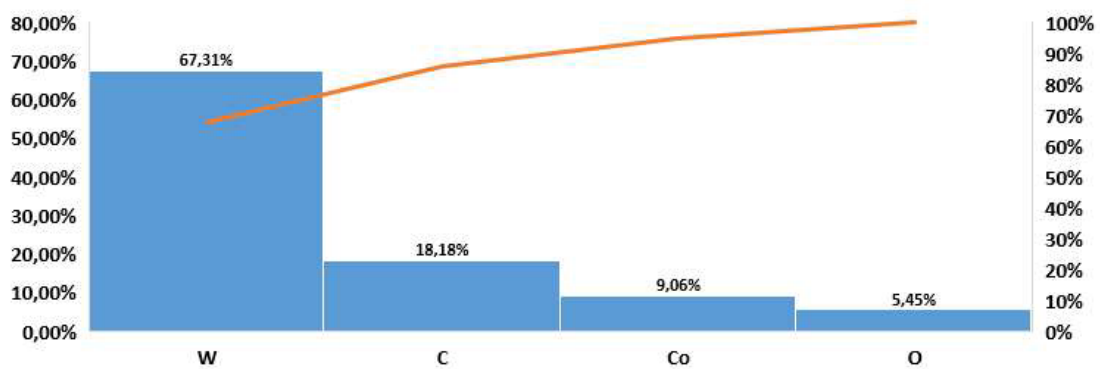


Figura 2. Análise da composição inicial do inserto em EDS. (O autor, 2022)

3. RESULTADOS

3.1. Mecanismos de desgaste

A análise das superfícies das amostras em MEV identificou diversos mecanismos de desgaste comuns ao metal duro, conforme exemplificado por Gee et al. (2007) e Katiyar et al. (2016).

3.1.1 Desgaste abrasivo

Conforme destacado pelas marcações em vermelho registradas na Fig. 3, pode-se identificar evidências de desgaste abrasivo e suas possíveis orientações, outro ponto a ser observado é a planicidade dos grãos de carboneto de tungstênio

que parecem dividir um plano comum, gerando assim um aspecto de polimento e evidenciando uma possível deformação plástica.

3.1.2 Desgaste adesivo

As áreas mais escuras registradas nas imagens são resultados da deposição de material cerâmico durante os ensaios e oxidação da superfície, indicando assim a possibilidade de desgaste por adesão. Estas áreas também foram verificadas nas amostras de todas as configurações e se mostram mais presentes nas regiões de fim do contato do inserto com a superfície de concreto, conforme mostra a Fig. 3. As regiões mais escuras identificadas na análise em EDS indicam a presença de material cerâmico que foi removido pelo inserto ao longo do contato e depositado na superfície do inserto no fim deste contato entre o pino e o disco, similar a um efeito de arrastamento.

3.1.3 Remoção da matriz de cobalto

Pela Fig. 3 também se pode avaliar a ausência da matriz de cobalto (Co), os autores Gee et al. (2007) mencionam que a ausência desta matriz em materiais compostos por metal duro tende a diminuir a resistência mecânica e fragilizar a superfície do material, causando o aumento da tensão superficial dos grãos de carboneto de tungstênio e diminuindo a resistência a desgaste do material ainda mais.

3.1.4 Fraturas intergranulares

Foram encontradas fraturas intragranulares nos grãos de carboneto de tungstênio através das imagens provenientes do MEV, Gee et al. (2007) discorre sobre a ocorrência deste tipo de fratura em ensaios com metal duro conforme são adotadas crescentes tensões de contato, indicando assim sua relação direta. Na Fig. 3 é possível identificar a presença de fraturas tanto em amostras ensaiadas em superfícies de concreto com 40 MPa de resistência à compressão uniaxial quanto em amostras ensaiadas em superfícies de concreto com 94 MPa de resistência à compressão uniaxial, logo não se trata de um mecanismo exclusivo de uma faixa de resistência e também não aparenta existir uma influência da resistência a compressão ou da velocidade do inserto.

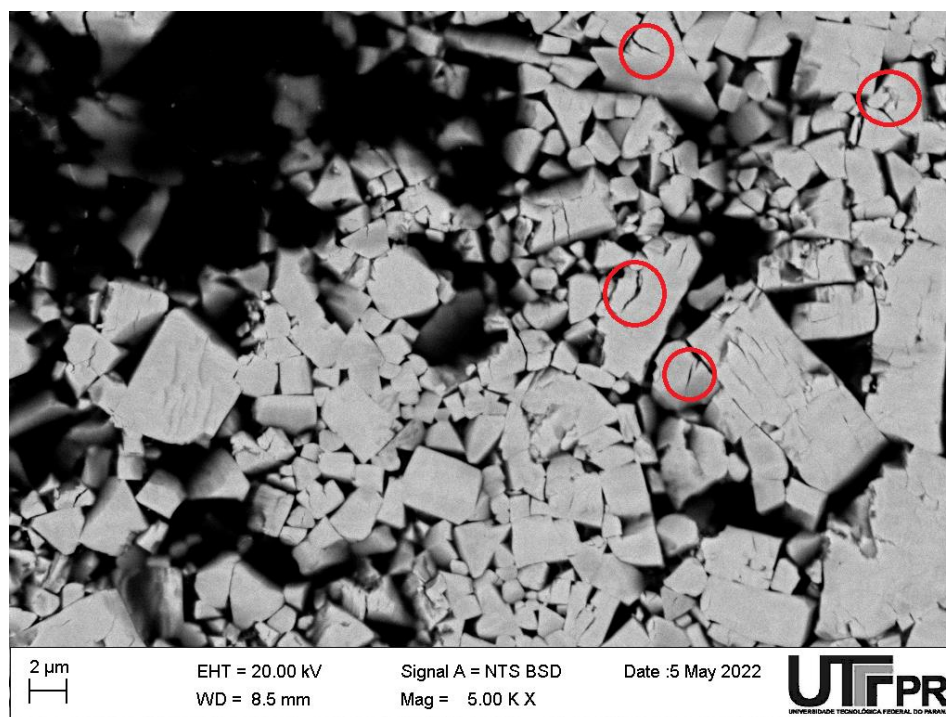


Figura 3. Exemplo de amostra de 40 MPa de resistência a compressão que apresentou fraturas intragranulares (marcadas em vermelho) após ensaio em tribômetro. (O autor, 2022)

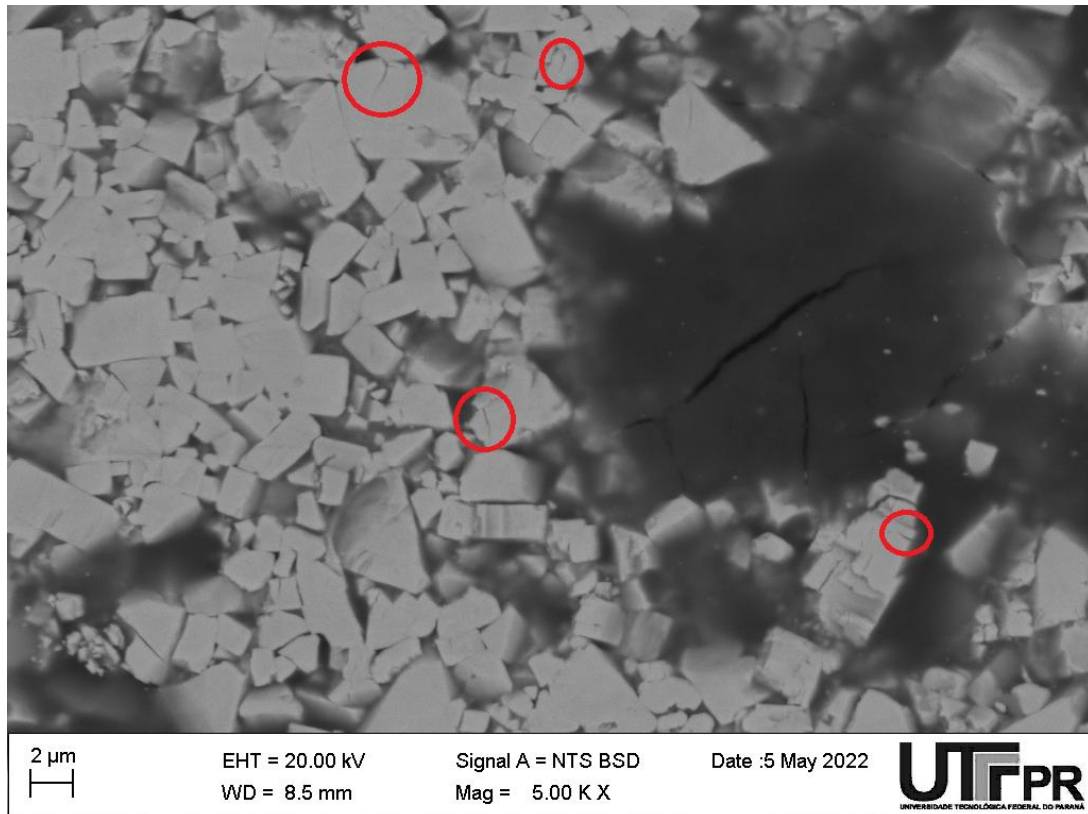


Figura 4. Exemplo de amostra de 93 MPa de resistência a compressão que apresentou fraturas intragranulares (marcadas em vermelho) após ensaio em tribômetro. (O autor, 2022)

3.2 Área de contato afetada

Através de análises em MEV percebeu-se uma redução nas áreas de contato afetadas pelo ensaio ao se comparar crescentes valores de resistência à compressão e velocidade tangencial do inserto, conforme se observa na Fig. 4. Também se pode observar uma maior variação nas áreas de contato, para diferentes velocidades, quando se avaliam resistências a compressão superiores a 60 MPa.

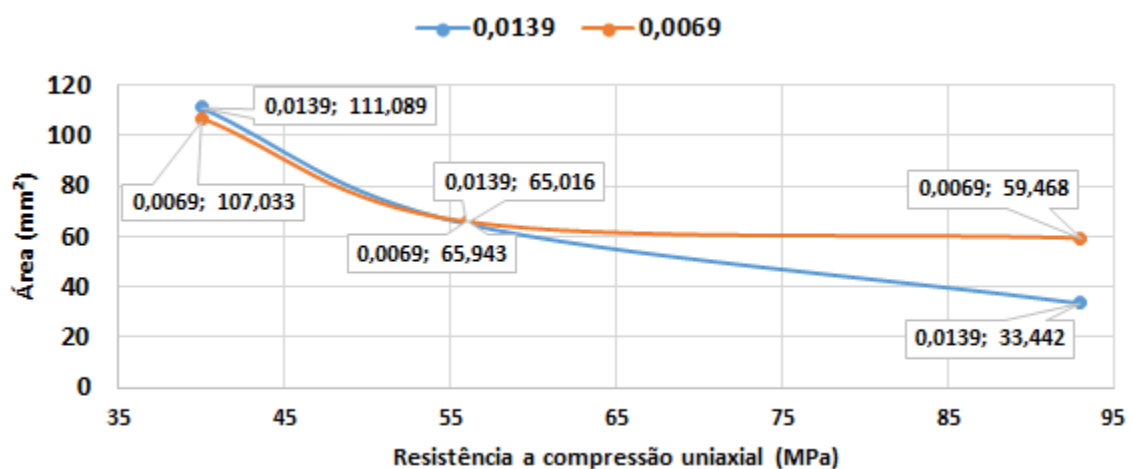


Figura 4. Avaliação da área de contato afetada após ensaio, para cada configuração de ensaio. (O autor, 2022)

3.3 Composição

Após os ensaios em tribômetro foram realizadas avaliações de composição superficial via EDS para cada faixa de resistência abordada no estudo. Foram selecionados pontos nas regiões escuras que antes não se encontravam presentes na pré-análise do inserto, conforme exemplificado na Fig. 5, os resultados podem ser avaliados na Tab.3. A presença de elementos químicos como oxigênio (O), silício (Si), cálcio (Ca) e alumínio (Al) sugere a remoção dos grãos de WC da região e posterior ocorrência de deposição de concreto na superfície e oxidação no local. A ausência do carboneto de tungstênio e a presença destes materiais identificados nas análises é um forte indício de desgaste adesivo, conforme mencionado por Gee et al. (2007), o desgaste de WC/Co por adesão é possível devido à matriz de cobalto, que ao entrar em contato com o material cerâmico tem suas asperezas deformadas plasticamente, gerando a adesão e o desgaste superficial por consequência.

Tabela 3. Percentual em massa dos elementos químicos identificados nas regiões escuras das superfícies das amostras após ensaios em tribômetro. (O autor, 2022)

Ensaio	O	Na	Mg	Al	Si	S	K	Ca	Ti	Fe	Co	W	C
40 MPa; 13,9 mm/s	35,17	0,38	0,49	1,68	11,44	0,26	0,92	6,38	0	1,21	7,65	28,93	5,49
40 MPa; 6,9 mm/s	48,18	0,62	0,66	3,40	22,92	0,42	1,35	10,61	0,40	2,63	0,85	7,97	0
56 MPa; 13,9 mm/s	48,29	0	0,73	2,22	18,77	0,55	0,81	15,85	0,63	2,15	1,37	8,62	0
56MPa; 6,9 mm/s	41,68	0,41	1,02	2,35	15,17	0,30	1,02	10,13	0,53	2,66	1,83	16,78	6,13
94 MPa; 13,9 mm/s	51,01	0,53	2,22	3,08	22,01	0,31	0,93	11,53	1,70	4,83	1,85	0	0
94 MPa; 6,9 mm/s	51,78	0	0,90	3,15	20,60	0,64	1,03	18,63	0,64	1,88	0	0	0

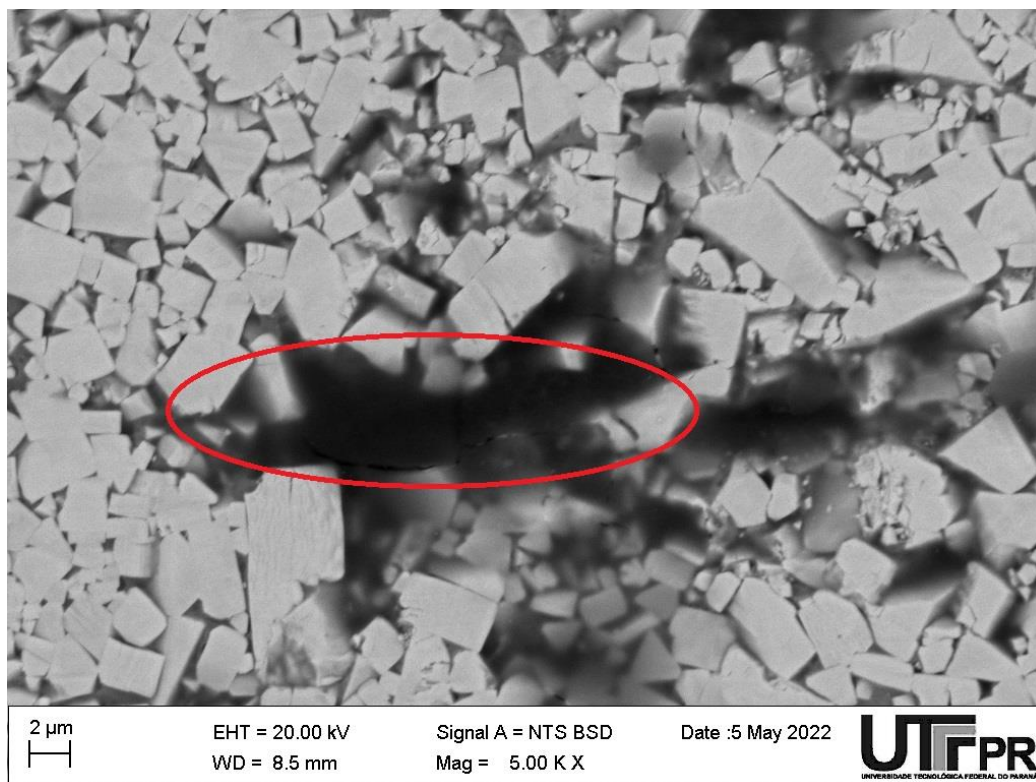


Figura 5. Exemplo de região afetada por desgaste adesivo após ensaio em tribômetro. (O autor, 2022)

A presença de elementos químicos como oxigênio (O), silício (Si), cálcio (Ca) e alumínio (Al) sugere a remoção dos grãos de WC da região e posterior ocorrência de deposição de concreto na superfície e oxidação no local. A ausência do carboneto de tungstênio e a presença destes materiais identificados nas análises é um forte indício de desgaste adesivo, conforme mencionado por Gee et al. (2007), o desgaste de WC/Co por adesão é possível devido à matriz de cobalto, que ao entrar em contato com o material cerâmico tem suas asperezas deformadas plasticamente, gerando a adesão e o desgaste superficial por consequência.

Percebeu-se também uma maior deposição de material nas regiões de fim de contato do inserto através da presença, em sua totalidade, de óxidos provenientes do contra corpo de concreto, dando assim fortes indícios de desgaste por adesão devido à ausência dos elementos químicos que previamente constituíam a superfície do inserto.

4. CONCLUSÃO

As análises de microscopia realizadas revelaram mecanismos de desgaste já identificados anteriormente em componentes de carboneto de tungstênio, indicando assim a inexistência de diferenças relevantes nestes mecanismos conforme são modificados parâmetros como resistência a compressão uniaxial ou velocidade tangencial do inserto em tribossistemas formados pelo contato entre insertos de mineração de carboneto de tungstênio e diferentes substratos rochosos. Também não foram observadas variações consideráveis entre as composições superficiais dos insertos após a realização dos ensaios em cada configuração.

As avaliações das zonas de contato afetadas mostram uma possível relação entre os parâmetros avaliados (resistência a compressão uniaxial e velocidade tangencial do inserto de mineração), abrindo a possibilidade de estudos futuros que abordem o tema.

5. REFERÊNCIAS

- ATTEWELL, P. B.; FARMER, I. W. **Principles of Engineering Geology**. Springer Netherlands, 2012.
- DOUGHERTY, P. S. M.; PUDJOPRAWOTO, R.; FRED HIGGS, C. Bit cutter-on-rock tribometry: Analyzing friction and rate-of-penetration for deep well drilling substrates. **Tribology International**, v. 77, p. 178–185, 2014. Elsevier. Acesso em: 12/3/2023.
- GEE, M. G.; GANT, A.; ROEBUCK, B. Wear mechanisms in abrasion and erosion of WC/Co and related hardmetals. **Wear**, v. 263, n. 1-6 SPEC. ISS., p. 137–148, 2007.
- K. ABBAS, R. A review on the wear of oil drill bits (conventional and the state of the art approaches for wear reduction and quantification). **Engineering Failure Analysis**, v. 90, n. July 2017, p. 554–584, 2018.
- KATIYAR, P. K.; SINGH, P. K.; SINGH, R.; KUMAR, A. L. Modes of failure of cemented tungsten carbide tool bits (WC/Co): A study of wear parts. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 54, p. 27–38, 2016. Elsevier Ltd.
- MAJEED, Y.; ABU BAKAR, M. Z.; BUTT, I. A. Abrasivity evaluation for wear prediction of button drill bits using geotechnical rock properties. **Bulletin of Engineering Geology and the Environment**, v. 79, n. 2, p. 767–787, 2020. Bulletin of Engineering Geology and the Environment.
- YANG, X.; WU, S.; KANG, Y.; WANG, X.; XIA, R. Pitting mechanism of cemented carbide tool in the early stage of rock drilling. **International Journal of Refractory Metals and Hard Materials**, v. 42, p. 103–107, 2014. Elsevier Ltd. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijrmhm.2013.08.009>>. .
- YENICE, H. Determination of drilling rate index based on rock strength using regression analysis. **Anais da Academia Brasileira de Ciencias**, v. 91, n. 3, 2019. Academia Brasileira de Ciencias.

6. RESPONSABILIDADE PELAS INFORMAÇÕES

O(s) autor(es) é (são) o(s) único(s) responsável(is) pelas informações incluídas neste trabalho.

TRIBOLOGICAL ANALYSIS OF THE CONTACT BETWEEN WC/CO DRILL BITS AND CONCRETE SAMPLES OF VARYING UNIAXIAL COMPRESSIVE STRENGTHS.

André de Lima Vallim

Paulo André de Camargo Beltrão

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças, Curitiba - PR
andre.vallim@alunos.utfpr.edu.br; beltrao@utfpr.edu.br

Giuseppe Pintaude

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Av. Sete de Setembro, 3165 - Rebouças, Curitiba - PR
pintaude@utfpr.edu.br

Abstract. *The study in question seeks to simulate and evaluate the tribological system formed by mining drill bits and rocky substrates of different classifications through tribometer tests between concrete samples of different uniaxial compression resistances and tungsten carbide mining drill bits. The resistance values of the concrete samples and the tangential velocities of the drill bit were varied to evaluate surface wear and variation of the chemical elements present on the surface of the drill bit through analyzes in SEM and EDS, respectively. To ensure study repeatability, each test setup was executed twice to identify possible variations in the qualitative and quantitative results of each setup. The analyzes carried out identified the already known wear types on tungsten carbide, such as the occurrence of intergranular fractures, the removal of the superficial cobalt matrix and the deposition of ceramic material on the surface of the drill bit after the occurrence of wear. Although tests were carried out under different values of uniaxial resistance of the concrete samples and tangential drill bit speeds, variations in representations of the chemical elements present after tests between the configurations were not observed, even though the deposition of ceramic material was identified in all tested samples. Even with the wear types associated to the tribosystem being constant in all the tests carried out, a variation in the worn areas of the drill bits within the different test conditions can be seen. It was observed that concrete samples with lower values of uniaxial compression strength resistance tend to reach higher values of contact area wear by the drill bit, after a certain value of uniaxial compression strength resistance it was also observed that increasing tangential velocities result in higher values of contact area wear on the tungsten carbide drill bit. The results observed in this study allow inferring the possibility of a relationship between the contact area wear of the mining drill bit, the tangential velocity values of the drill bit and resistance to uniaxial suffixes of the rocky substrate, a relationship that may be the subject of future studies.*

Keywords: tribology in mining processes; hard metal wear; uniaxial compression strength; rate of penetration; mining drill bits

RESPONSIBILITY NOTICE

The author(s) is (are) the only responsible for the printed material included in this paper.