



Análise do desgaste superficial de contatos W-CU em comutadores de taps de reguladores de tensão

Max Gabriel Steiner¹
Anderson Diogo Spacek²
Anderson Daleffe³
Gilson De March⁴

Resumo: o presente trabalho apresenta a análise de contatos móveis de comutação de taps de reguladores automáticos de tensão de linha, quanto a caracterização mecânica e o desgaste superficial dos contatos. Tendo em vista a necessidade de prever e conter falhas de operação destes equipamentos, e buscando delimitar o estudo, a presente proposta tem enfoque voltado para a análise do desgaste superficial dos contatos móveis de um regulador de tensão. Torna-se interessante analisar os contatos móveis destes equipamentos em virtude do atrito gerado durante as manobras automáticas de troca de taps e dos efeitos resultantes de arcos voltaicos que incidem das manobras. Os contatos foram avaliados em microscópio eletrônico de varredura e testados através de ensaio de desgaste abrasivo por roda de borracha. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho de contatos móveis, quanto as propriedades de resistência mecânica ao desgaste, através das técnicas de análise microestrutural, ensaio de desgaste abrasivo, medições de rugosidade e dureza superficial. Os resultados obtidos permitem concluir que os contatos analisados foram construídos através de um processo de sinterização W-Cu e apresentam resistência ao desgaste relativamente baixa, visto que a perda volumétrica média foi de 189,8 cm³. Além disso, a análise microscópica permitiu identificar a adesão de alguns elementos químicos na superfície dos contatos, após realizado o ensaio de desgaste abrasivo.

Palavras-chave: Desgaste. Reguladores automáticos de tensão. Contatos móveis. Comutadores de derivação em carga.

1 INTRODUÇÃO

Reguladores automáticos de tensão de linha são equipamentos transformadores automáticos de energia elétrica, instalados ao longo de sistemas de distribuição de energia que possibilitam a manutenção dos níveis de tensão elétrica, dentro de uma determinada faixa de operação [1].

¹ Mestre, UNISATC. E-mail: max.steiner@satc.edu.br

² Doutor, UNISATC. E-mail: anderson.spacek@satc.edu.br

³ Doutor, UNISATC. E-mail: anderson.daleffe@satc.edu.br

⁴ Mestre, UNISATC. E-mail: gilson.march@satc.edu.br



Há grande preocupação por parte das empresas de distribuição de energia elétrica em manter o nível de tensão fornecido aos consumidores dentro dos padrões e evitar falhas de operação de reguladores de tensão [2]. A manutenção destes equipamentos é considerada crítica, devido à aspectos construtivos e de operação do equipamento, sendo ela um fator preponderante para o desempenho, confiabilidade, tempo e custos de operação, visando sempre a melhoria e eficiência da continuidade dos serviços de distribuição de energia elétrica [1]. Dentre as falhas cabíveis ao equipamento, as falhas mecânicas podem ser consideradas as mais graves. No interior de um regulador de tensão há um comutador de derivação em carga, ou seja, chaves mecânicas utilizadas para comutar os taps do equipamento e elevar ou reduzir a tensão da rede. A comutação física dos taps com o comutador de derivação ocorre através de dois pares de contatos móveis presentes no comutador. O desgaste excessivo dos contatos móveis pode causar danos irreversíveis ao regulador e é geralmente um dos grandes problemas encontrados, uma vez que os contatos ficam submersos em óleo isolante, no interior do regulador, sendo possível inspecioná-los apenas com a retirada do equipamento da rede elétrica e transportando-o até a oficina [3].

O objetivo deste trabalho é de verificar as propriedades de resistência mecânica ao desgaste dos contatos móveis de um regulador automático de tensão de 13,8 kV, através da realização de ensaio de desgaste por roda de borracha e areia (ASTM G65-00 [4]), além de avaliar os compósitos por Microscopia Eletrônica de Varredura (MEV) e comparar a superfície “virgem” e a superfície desgastada pelo ensaio de desgaste.

2 MATERIAS E MÉTODOS

Esta seção apresenta informações sobre os materiais e os métodos utilizados para construção do trabalho, inicialmente apresentando-se a caracterização dos materiais, informações dos ensaios de dureza, rugosidade, desgaste e análises de microscopia eletrônica de varredura da superfície dos contatos móveis.

Os corpos de prova foram preparados e pesados antes e depois de cada ensaio, e posteriormente foram medidas a dureza e a rugosidade, objetivando



comparar o desgaste dos materiais submetidos às condições de operação do regulador de tensão.

2.1 MATÉRIA-PRIMA

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados contatos móveis do comutador de derivação modelo CR-3 da fabricante TOSHIBA, pertencente ao regulador de tensão automático monofásico tipo B de tensão nominal 13,8 kV e potência nominal 414 kVA. Estes contatos apresentam como componente principal o cobre e o tungstênio, suas composições químicas em peso podem ser vistas através da Tabela 1.

Tabela 1: Composição química em peso (wt%) dos contatos no ensaio.

Cu (%)	W (%)	Al (%)	Cl (%)	Ge (%)	K (%)
49,507	45,909	1,590	0,750	0,722	0,421
S (%)	Ca (%)	P (%)	Mn (%)	Ti (%)	V (%)
0,335	0,265	0,246	0,120	0,095	0,040

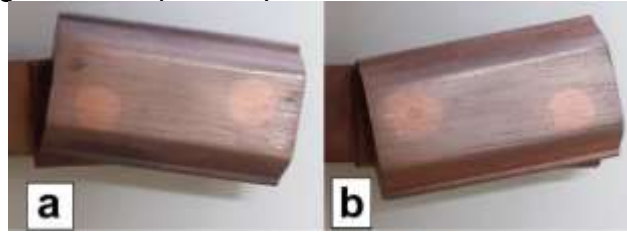
Fonte: Do Autor (2019)

Para a realização do ensaio de análise química utilizou-se um contato móvel novo, ou seja, sem que o mesmo tivesse sido utilizado antes e, portanto, isento de desgaste. A análise química do contato foi realizada utilizando-se um equipamento de Espectrometria de Fluorescência de Raios X por Energia Dispersiva (FRX), modelo EDX 7000 da marca Shimadzu.

2.2 CORPOS DE PROVA

Os ensaios foram realizados a partir de um par de contatos móveis do comutador CR3 descrito anteriormente que foram adequadamente limpos e preparados. A Figura 1 apresenta a imagem dos referidos contatos.

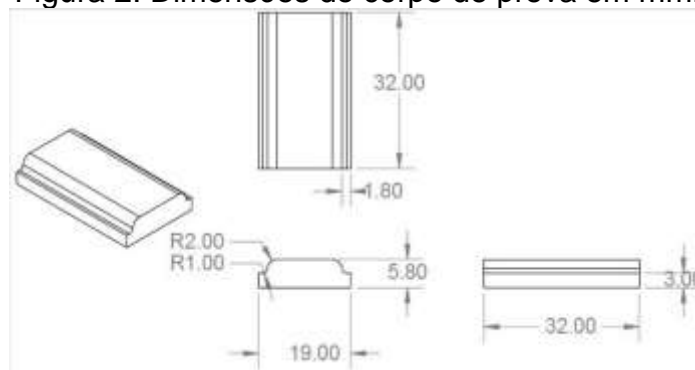
Figura 1: Corpos de prova utilizados nos ensaios.



Fonte: Do Autor (2019)

Na medição dimensional inicial, o par de contatos apresentou dimensões conforme demonstra-se na Figura 2.

Figura 2: Dimensões do corpo de prova em mm.



Fonte: Do autor (2019)

2.3 ENSAIO DE DUREZA

O teste de dureza realizado nos corpos de prova apresentados, com o objetivo de avaliar a dureza superficial dos mesmos, seguiu orientações da norma ABNT NBR 6506-1:2019 [5] para medição de dureza na escala Brinell. Foram realizadas três endentações em três diferentes pontos da superfície principal dos contatos e por fim realizada a média aritmética simples das três leituras.

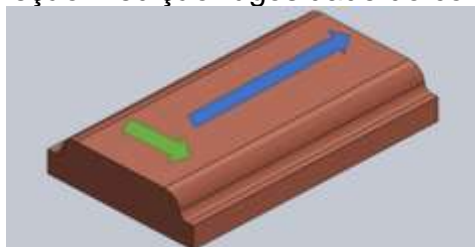
2.4 MEDIDA DE PERDA DE MASSA

Os dois contatos inicialmente foram pesados em uma balança de precisão antes dos ensaios de desgaste, objetivando obter parâmetros comparativos de perda de massa pós-ensaio. Foi utilizado para esta avaliação, uma balança de precisão modelo M214Ai – BEL, com resolução de 0,0001 g e faixa de medição de 0 a 210 g.

2.5 ANÁLISE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

Antes da realização do ensaio de desgaste por roda de borracha foi necessário identificar as condições superficiais dos corpos de prova. Segundo a norma ASTM G65-00 [4] para a realização do ensaio de desgaste é necessário que a rugosidade Ra do corpo de prova seja menor que $0,8 \mu\text{m}$. Utilizou-se, portanto, o rugosímetro digital portátil Mitutoyo SJ-310 de resolução $0,002 \mu\text{m}$, conforme a norma ABNT NBR 4287:2002 [6], onde obteve-se a rugosidade média Ra. A Figura 3 apresenta a direção da medição de rugosidade realizada nos corpos de prova.

Figura 3: Direção medição rugosidade do corpo de prova.



Fonte: Do Autor (2019)

Primeiramente foram coletados dados na direção indicada pela seta azul conforme apresentado na Figura 3, foram realizadas três medições em três trechos distintos (em cada extremidade e no meio) da superfície do corpo de prova. Em seguida, foram medidos os dados de rugosidade indicados pela seta verde conforme apresentado na Figura 3, realizando a análise em três pontos distintos (em cada extremidade e no meio) do corpo de prova. Estes procedimentos foram aplicados nos dois corpos de prova da Figura 1 e por fim calculou-se a média aritmética simples dos três resultados obtidos para cada direção.

2.6 ENSAIO DE DESGASTE

Visando caracterizar as propriedades de resistência ao desgaste empregou-se o ensaio de desgaste por roda de borracha e areia, conforme a norma ASTM G65-00 [4]. Para realizar este ensaio foram utilizados os contatos móveis da Figura 1, totalizando dois corpos de provas. Por meio da Tabela 2 é possível verificar os parâmetros empregados no ensaio de desgaste.



Tabela 2: Parâmetros do ensaio de desgaste.

DADOS DO ENSAIO	VALORES
Diâmetro da roda de borracha	228,6 mm
Tempo de ensaio	10 min
Rotação da roda de borracha	200 rpm
Granulometria da areia	0,212 a 0,300 mm
Vazão da areia (SiO ₂)	320 g/min
Carga aplicada	130 N

Fonte: Do Autor (2019)

Dessa forma a resposta em relação ao desgaste, ou seja, perda de volume foi obtida através da Equação 1, conforme a norma ASTM G65-00 [4].

$$\text{Perda de volume} = \frac{\text{perda de massa (g)}}{\text{densidade (g/cm}^3\text{)}} \times 1000 [\text{mm}^3] \quad (1)$$

2.7 CARACTERIZAÇÃO MORFOLÓGICA

A avaliação da morfologia dos corpos de prova foi realizada em um Microscópio Eletrônico de Varredura (MEV) modelo MA10, série EVO da marca Carl Zeiss com EDS Quantax Bruker. Dessa forma, foram realizados ensaios de microscopia eletrônica de varredura sobre o corpo de prova da Figura 1(a), primeiramente identificando uma região que não foi desgastada pelo ensaio de desgaste por roda de borracha e em seguida analisando uma região afetada pelo ensaio de desgaste.

3 ANÁLISE DOS DADOS

Nesta seção apresentam-se os resultados obtidos a partir dos ensaios mecânicos e são discutidos em detalhes.

3.1 COMPOSIÇÃO QUÍMICA

O resultado da composição química dos contatos permitiu verificar que os componentes mais presentes se trata do cobre e do tungstênio. Os demais elementos detectados foram principalmente o alumínio, cloro e germânio. Traços



dos elementos potássio, enxofre, cálcio, fósforo, manganês, titânio e vanádio também foram detectados.

3.2 DUREZA SUPERFICIAL

Os resultados de dureza superficial dos corpos de prova da Figura 1(a) e 1(b) são apresentados na Tabela 3 em dureza Brinell [HB].

Tabela 3: Resultados das medições de durezas.

MATERIAL EM TESTE	DUREZA BRINELL HB [KGF/MM ²]	DESVIO PADRÃO
Corpo de prova a	101,030	4,336
Corpo de prova b	92,337	5,280

Fonte: Do Autor (2019)

De acordo com os valores de dureza apresentados na Tabela 3, verificou-se que o corpo de prova da Figura 1(a) é levemente mais duro que o corpo de prova da Figura 1(b), houve poucas variações quanto aos resultados encontrados considerando a magnitude dos desvios padrões obtidos. Além disso, resultados de algumas pesquisas realizadas apontam que os valores obtidos no ensaio de dureza estão dentro dos valores padrão para compósitos W-Cu [7].

3.3 PERDA DE MASSA

Através das medidas de massa obtidas dos corpos de prova antes e após o ensaio de desgaste, foi analisado a perda de massa resultante do ensaio, conforme apresentado na Tabela 4.

Tabela 4: Dados da massa dos corpos de prova analisados durante ensaio.

MÉTODO	CORPO DE PROVA DA FIGURA 1(A) [G]	CORPO DE PROVA DA FIGURA 1(A) [%]	CORPO DE PROVA DA FIGURA 1(B) [G]	CORPO DE PROVA DA FIGURA 1(B) [%]
Antes do ensaio de desgaste	33,1564	100	35,4821	100
Após ensaio de desgaste	30,4885	91,9536	31,6693	89,2543
Total de perda	2,6679	8,0464	3,8128	10,7457

Fonte: Do Autor (2019)

Inicialmente os corpos de prova eram praticamente iguais quanto a massa, no entanto é possível verificar através da Tabela 4 que a massa dos



contatos antes da realização do ensaio de desgaste era um pouco maior no corpo de prova da Figura 1(b). Apesar de serem contatos semelhantes foi necessário realizar um processo de usinagem da superfície visando retirar imperfeições e enquadrá-los dentro das especificações de rugosidade requisitadas pela norma ASTM G65-00 [4], dessa forma os contatos ficaram com valores de massa pouco diferentes no momento de realizar o ensaio de desgaste.

3.4 ANÁLISE DA RUGOSIDADE SUPERFICIAL

A Tabela 5 apresenta os resultados da rugosidade superficial dos corpos de prova. As direções A e B estão indicadas pelas setas verde e azul, respectivamente, na Figura 3.

Tabela 5: Rugosidade média superficial dos corpos de prova da Figura 1(a) e da Figura 1(b).

MATERIAL	RUGOSIDADE SUPERFICIAL DIREÇÃO A (SETA VERDE)	RUGOSIDADE SUPERFICIAL DIREÇÃO B (SETA AZUL)
	[RA(μM)]	[RA(μM)]
Corpo de prova da Figura 1(a)	0,709	0,690
Desvio padrão da Figura 1(a)	0,020	0,108
Corpo de prova da Figura 1(b)	0,795	0,798
Desvio padrão da Figura 1(b)	0,106	0,114

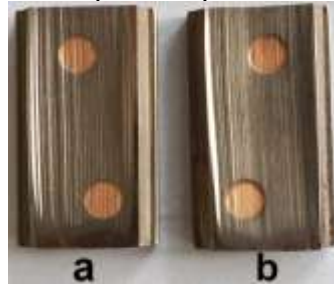
Fonte: Do Autor (2019)

Conforme a Tabela 5, os corpos de prova atenderam à norma ASTM G65-00 [4], com rugosidade Ra dentro do limite de 0,8 μm exigido para o ensaio de desgaste por roda de borracha e areia.

3.5 ENSAIO DE DESGASTE

Na Figura 4 é apresentado os corpos de prova da Figura 1 com marcas características típicas de desgaste em abrasômetro do tipo roda de borracha.

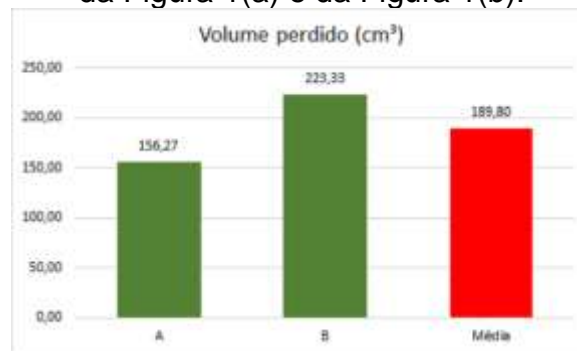
Figura 4: Corpos de prova após ensaio de desgaste.



Fonte: Do Autor (2019)

É possível observar na Figura 4 que ambos os corpos de prova apresentam condição visual de desgaste abrasivo acentuado. A Figura 5 apresenta um comparativo entre os volumes perdidos por cada corpo de prova, obtidos por meio da Equação 1 e a média aritmética simples entre os dois corpos.

Figura 5: Comparativo do resultado do ensaio de desgaste entre os corpos de prova da Figura 1(a) e da Figura 1(b).



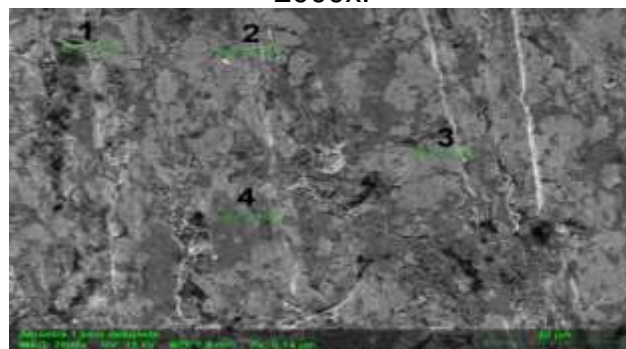
Fonte: Do Autor (2019)

Observando o gráfico da Figura 5 verifica-se que o corpo de prova da Figura 1(a) apresentou um desempenho melhor do que quando comparado ao corpo de prova da Figura 1(b), resultando numa perda de volume de 156,27 cm³ contra 223,33 cm³. A escolha de materiais para contatos elétricos envolve requisitos elétricos, térmicos, mecânicos e químicos, sendo necessário o uso de compósitos, já que nenhum material isolado atende a todas as exigências. Embora os corpos de prova tenham mostrado baixa resistência ao desgaste abrasivo, suas demais propriedades podem justificar seu uso em contatos móveis de reguladores de tensão. Considerando a hipótese de se tratar de um compósito W-Cu, durante as manobras, o aquecimento provoca a volatilização do cobre, o que resfria o esqueleto de tungstênio, com ponto de fusão elevado (3410 °C), tornando-o adequado para aplicações com arco elétrico em média e alta tensão [8].

3.6 ANÁLISE EM MEV

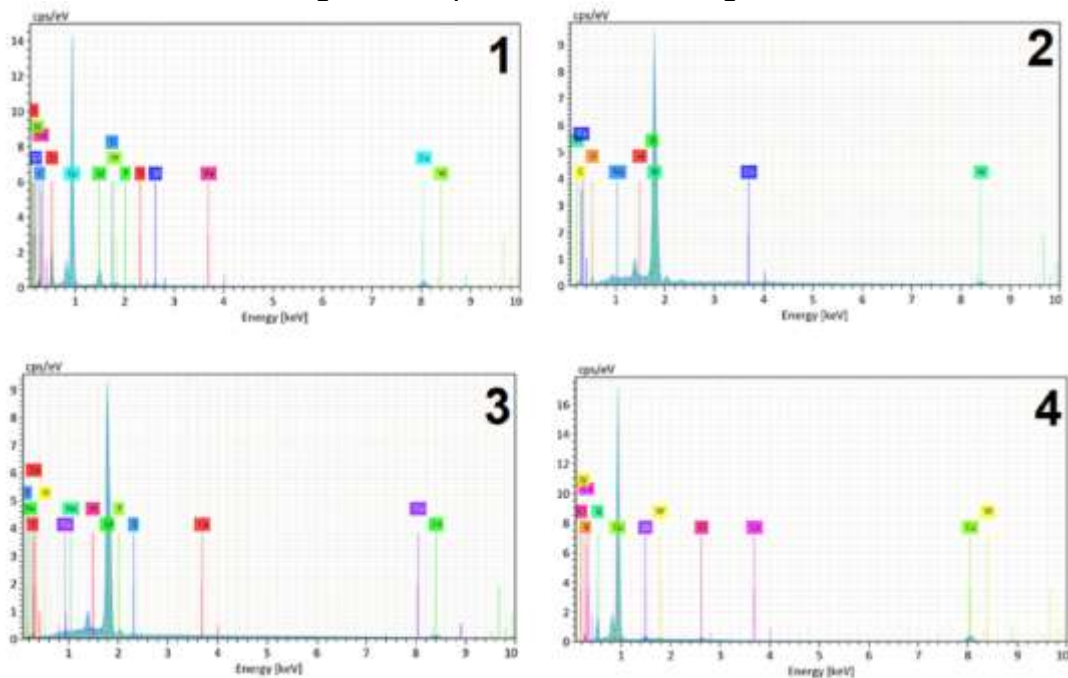
A Figura 6 mostra quatro pontos analisados por microscopia eletrônica de varredura (MEV) na superfície do corpo de prova da Figura 1(a), em regiões não afetadas pelo desgaste, numerados de 1 a 4. A Figura 7 apresenta os espectros EDS correspondentes a esses pontos.

Figura 6: Microscopia eletrônica do corpo de prova da Figura 1(a). Aumento de 2000x.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 7: Espectros de EDS para o corpo de prova da Figura 1(a) em regiões não desgastadas pelo ensaio de desgaste.



Fonte: Do Autor (2019)

A Figura 6 e a Tabela 6 indicam a presença de elementos como P, Si, Al, Ca e S em pequenas quantidades, comuns em pós de cobre. Também foram



identificados Fe, Ni, O e Mo, típicos de pós de tungstênio. Os elementos majoritários, Cu e W, sugerem um compósito sinterizado. A Tabela 6 apresenta a composição quantitativa obtida pelos espectros EDS [9].

Tabela 6: Dados EDS dos quatro pontos selecionados do corpo de prova da Figura 1(a) em zonas sem desgaste.

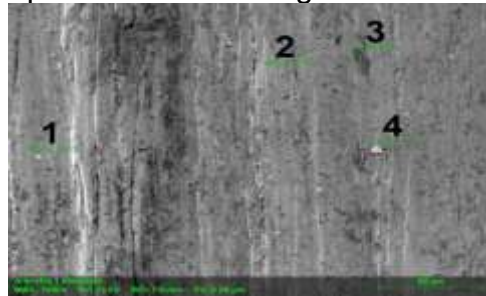
ELEMENTO	PONTO 1 [PESO %]	PONTO 2 [PESO %]	PONTO 3 [PESO %]	PONTO 4 [PESO %]
Cobre	77,35	0,00	0,56	86,58
Oxigênio	9,77	3,38	1,06	7,02
Carbono	7,12	4,16	2,78	3,97
Alumínio	3,28	0,54	0,36	1,08
Tungstênio	1,28	92,77	91,30	0,38
Cloro	0,90	0,00	0,00	0,82
Cálcio	0,12	0,00	0,05	0,15
Enxofre	0,08	0,00	0,00	0,00
Silício	0,06	0,00	0,00	0,00
Fósforo	0,05	0,00	0,19	0,00
Sódio	0,00	0,09	0,00	0,00

Fonte: Do Autor (2019)

A Tabela 6 apresenta altas concentrações de cobre e tungstênio em diferentes regiões do corpo de prova, sugerindo que se trata do compósito W-Cu, obtido por meio de uma sinterização de cobre e tungstênio. Além disso, contatos de W-Cu são amplamente utilizados em equipamentos de alta tensão, devido suas propriedades físicas de alta resistência à solda, erosão por arco, alta condutividade térmica e elétrica, podendo assim serem utilizados em reguladores [9].

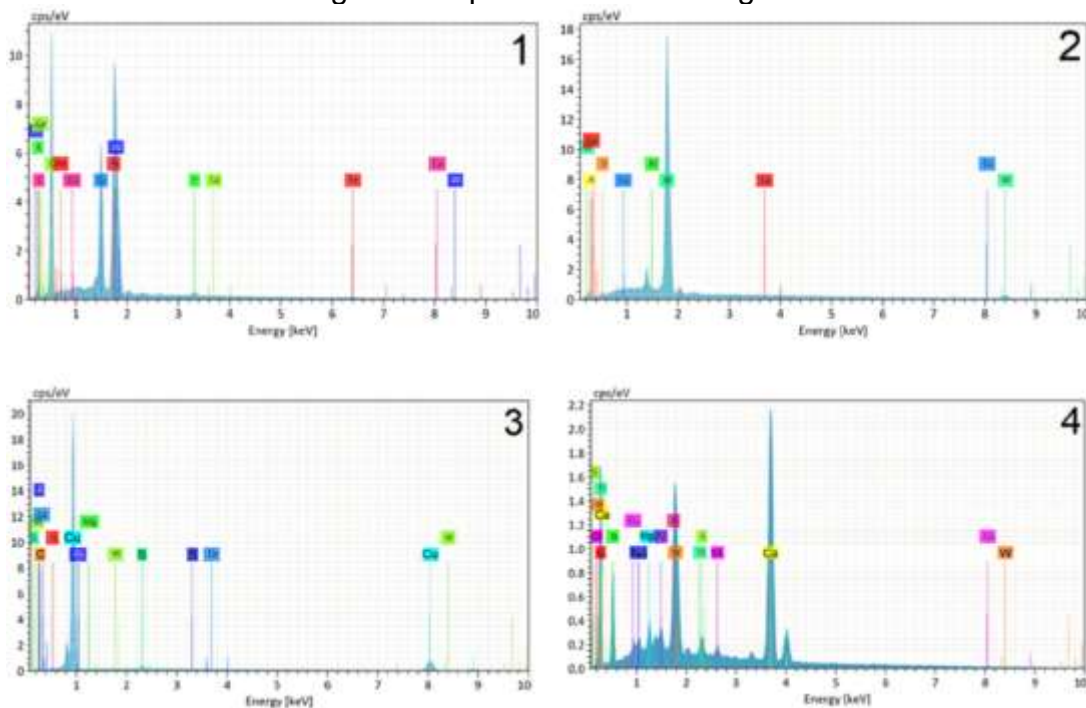
Geralmente o compósito W-Cu é produzido por metalurgia do pó e a combinação de um metal de alta condutividade com um metal refratário é o único caminho para obtenção das características necessárias a esse compósito. Os dados da Tabela 6 apontam o cobre como material de alta condutividade e o tungstênio como metal refratário. As propriedades requeridas são dependentes da composição e do processo de fabricação, ou seja, o tamanho da partícula, a forma e a distribuição da fase refratária, a homogeneidade da microestrutura e a quantidade de poros afetam as propriedades elétricas, mecânicas e térmicas do material compósito [9]. A Figura 8 apresenta quatro pontos analisados em MEV, foram definidos quatro pontos distintos para análise do corpo de prova da Figura 1(a), em regiões atingidas pelo ensaio de desgaste realizado. Estes foram identificados com os números de 1 a 4. A Figura 9 apresenta o resultado dos espectros EDS destes.

Figura 8: Microscopia eletrônica do corpo de prova da Figura 1(a) em zonas desgastadas pelo ensaio de desgaste. Aumento de 1000x.



Fonte: Do Autor (2019)

Figura 9: Espectros de EDS para o corpo de prova da Figura 1(a) em regiões desgastadas pelo ensaio de desgaste.



Fonte: Do Autor (2019)

A Tabela 7 apresenta um comparativo quantitativo das massas pontuais de cada elemento químico, localizadas através dos espectros de EDS nos pontos indicados pela Figura 8.

Tabela 7: Dados EDS dos quatro pontos selecionados do corpo de prova da Fig. 1(a) em zonas desgastadas por ensaio de desgaste.

ELEMENTO	PONTO 1 [PESO %]	PONTO 2 [PESO %]	PONTO 3 [PESO %]	PONTO 4 [PESO %]
Cobre	0,32	0,17	95,64	1,38
Oxigênio	38,33	1,49	0,54	14,55
Carbono	4,98	4,07	2,29	19,92
Alumínio	9,94	0,00	0,00	0,83
Tungstênio	33,59	94,26	0,22	17,89



Cloro	0,00	0,00	0,00	0,65
Cálcio	0,00	0,00	0,00	40,71
Enxofre	0,00	0,00	0,65	1,04
Silício	10,67	0,00	0,00	1,25
Fósforo	0,00	0,00	0,00	0,00
Sódio	0,00	0,00	0,62	0,67
Ferro	1,26	0,00	0,00	0,00
Potássio	0,91	0,00	0,03	0,00
Magnésio	0,00	0,00	0,00	0,95
Tálio	0,00	0,00	0,00	0,17

Fonte: Do Autor (2019)

A Tabela 7 mostra menor concentração de Cu e W em alguns pontos em relação à Tabela 6, provavelmente devido ao desgaste abrasivo. Isso sugere a presença de outros elementos da base do material. A perda de massa durante o ensaio pode expor regiões com composição química distinta da superfície. O compósito W-Cu, geralmente produzido por infiltração de Cu líquido em W poroso sinterizado, pode apresentar defeitos como poros, lagos de Cu e aglomerados de W, o que justifica as variações observadas nas análises por MEV [10].

As Tabelas 6 e 7 reforçam as limitações na faixa de composição do compósito W-Cu, já que o esqueleto de tungstênio só admite certa quantidade de cobre líquido sem comprometer a integridade do corpo. A Figura 1 evidencia características visuais acentuadas pela usinagem necessária para atender à rugosidade exigida no ensaio, típica do processo de infiltração, que requer ajustes pós-produção para correção de forma e superfície [9]. Correlacionando os dados das Tabelas 6 e 7, a Tabela 8 compara as massas pontuais de silício e oxigênio em regiões não desgastadas e desgastadas, com base nas análises por MEV.

Tabela 8: Dados EDS dos elementos químicos silício e oxigênio extraídos da Tabela 6 e Tabela 7.

ELEMENTO	LOCAL ANALISADO	PONTO 1 [PESO %]	PONTO 2 [PESO %]	PONTO 3 [PESO %]	PONTO 4 [PESO %]
Silício	Zona não desgastada	0,06	0,00	0,00	0,00
Silício	Zona desgastada	10,67	0,00	0,00	1,25
Oxigênio	Zona não desgastada	9,77	3,38	1,06	7,02
Oxigênio	Zona desgastada	38,33	1,49	0,54	14,55

Fonte: Do Autor (2019)

A Tabela 8 mostra aumento nas concentrações de silício e oxigênio em pontos desgastados, indicando possível aderência do abrasivo ao corpo de prova da



Figura 1(a). Isso se justifica pelo uso de areia (SiO_2) no ensaio de desgaste por roda de borracha.

Com base na Tabela 1, supõe-se que o material analisado seja o compósito W-50Cu, com cerca de 50% em massa de cobre, valor compatível com a faixa comercial (10–60%) obtida por infiltração, técnica que deixa marcas visíveis nos contatos (Figura 1). Embora de menor custo e fácil acesso, essas ligas são suscetíveis à oxidação e inadequadas para ambientes corrosivos [11]. Além disso, a dureza observada (Tabela 3) é compatível com o W-50Cu, cuja dureza diminui com o aumento do teor de cobre [9].

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo teve por objetivo melhor compreender o comportamento do desgaste superficial de contatos móveis de reguladores de tensão. De acordo com os resultados, tornou-se possível identificar a composição química dos contatos móveis, analisar o comportamento da superfície quanto ao desgaste abrasivo e a perda volumétrica gerada pelo ensaio de desgaste, além de medir a dureza, identificar o compósito característico destes contatos e correlacionar as condições superficiais da superfície desgastada e não desgastada.

Neste sentido, verificou-se que os contatos apresentam resistência ao desgaste e dureza relativamente baixas, a perda volumétrica média foi de $189,8 \text{ cm}^3$ e a dureza ficou na faixa dos 100 HB. No entanto, aspectos de maior relevância para equipamentos elétricos de alta tensão, onde esses contatos são aplicados, induzem na utilização do compósito W-50 Cu, buscando atender também outras propriedades importantes para estes sistemas, em detrimento de outras.

Comparando as condições superficiais da superfície desgastada e não desgastada foi possível identificar, na zona desgastada, a presença de alguns elementos químicos, silício e oxigênio, que anteriormente não foram encontrados na zona não desgastada. Dessa forma, foi possível inferir que o aparecimento destes elementos se deve em razão do abrasivo (areia) ter aderido à superfície dos contatos durante o ensaio de desgaste abrasivo.



REFERÊNCIAS

- [1] REIS, M. S., **Implementação de um regulador de tensão com comutador eletrônico de tap**, Tese de D.Eng., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2013.
- [2] L. FERREIRA AND E. F. DE SIMAS FILHO. **A voltage regulator fault risk assessment method through discrete wavelet analysis of an acoustic vibration signal**, 2018 Simposio Brasileiro de Sistemas Eletricos (SBSE), pp. 1-6, Niteroi, 2018.
- [3] FERREIRA, L. A. R. **Uma nova abordagem para a avaliação do estado de reguladores de tensão usando transformada discreta wavelet**, Dissertação de mestrado, PPGEE/UFBA, Salvador, BA, Brasil, 2019.
- [4] ASTM G65-00. **Standard Test Method for Measuring Abrasion Using Dry Sand/Rubber Wheel Apparatus**, ASTM International, West Conshohocken, PA, 2000.
- [5] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR ISO 6506-3:2019. **Materiais metálicos - Ensaio de dureza Brinell - Parte 3: Calibração de blocos de referência**, Rio de Janeiro, 2019.
- [6] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT, NBR ISO 4287:2002. **Especificações geométricas do produto (GPS) - Rugosidade: Método do perfil - Termos, definições e parâmetros da rugosidade**, Rio de Janeiro, 2002.
- [7] Powder metallurgy electrical contacts materials. In: ASM Handbook. (Ed.) **Powder metal technologies and applications**. Materials Park, OH, v. 7, 9. 1022-1030, 1998.
- [8] ASM Committee on Electric Contact Materials. **Electric contact materials**. In: ASM Metals Handbook. (Ed.). Park, OH, v.3, p. 662-694, 1984.
- [9] COSTA, F. A., **Síntese e sinterização de pós compósitos do sistema W-Cu**, Tese de D.Sc., IPEN, São Paulo, SP, Brasil, 2004.
- [10] CHIAVERINI, V. **Metalurgia do pó: técnicas e produtos**, 3 ed., São Paulo, SP, ABM, 1992.
- [11] SANTOS, C. A., **Compactação e sinterização de compósitos de cobre-grafite para uso em contatos elétricos**, Dissertação (Mestrado), UENF, Campo dos Goytacazes, RJ, Brasil, 1998.