



GRUPO - XV

GRUPO DE ESTUDO DE SISTEMAS DE INFORMAÇÃO E TELECOMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS ELÉTRICOS - GTL

ESTUDO DA DEGRADAÇÃO DO MATERIAL DE CAPA DE CABOS ÓPTICOS AÉREOS PELO EFEITO DE TRILHAMENTO ELÉTRICO CONCOMITANTEMENTE AO ENVELHECIMENTO POR INTEMPERISMO

Hernani Maurício Ferreira Szymanski (*)
Furukawa Electric LatAm S.A.

Marilda Munaro
Institutos LACTEC

RESUMO

O efeito de trilhamento elétrico em cabos ópticos autossustentados faz necessária a utilização de materiais especiais na extrusão de capa, cuja validação se dá com base em normas que, contudo, não levam em consideração os efeitos degradantes oriundos da radiação UV e intempéries. Foram avaliados, comparativamente, dois materiais de capa de cabos ópticos ADSS resistentes ao efeito de trilhamento elétrico, porém, de forma concomitante ao envelhecimento acelerado por intemperismo. As duas amostras contendo hidróxido de magnésio comprovaram que as características de retardância à chama da carga inorgânica e de antioxidantes agem como fator atenuante do efeito de trilhamento elétrico.

PALAVRAS-CHAVE

Trilhamento elétrico, intemperismo, anti-tracking, polietileno

1.0 - INTRODUÇÃO

As redes de fibras ópticas utilizadas para transmissão de dados em telecomunicações apresentam crescimento constante e significativo no Brasil e em muitos outros países em desenvolvimento.

Os cabos ópticos possuem construções variadas e que os tornam compatíveis com a instalação nos mais diversos tipos de ambientes como dutos, diretamente enterrados, imersos em água ou em redes aéreas.

Uma das formas mais comuns e econômicas de instalação de cabos ópticos é a utilização de estruturas já disponíveis de transmissão de energia elétrica para instalação conjunta de cabos dielétricos de fibras ópticas. Tal modelo de instalação torna-se economicamente atrativo em função do aproveitamento de toda a estrutura de torres já existente em redes de longa distância, resultando em uma boa relação custo x benefício se comparado a outros métodos e topologias de rede baseadas em sistemas subterrâneos em dutos ou diretamente enterrados (1).

Muito embora o fator custo-benefício seja bastante atrativo, este sistema traz algumas dificuldades que devem ser levadas em conta. Um problema muito comum em instalações de cabos ópticos que compartilham a estrutura com cabos de energia é a degradação da capa externa dos cabos ópticos causada pelo efeito de trilhamento elétrico, em razão da proximidade com os cabos condutores de energia e os inerentes efeitos de intempéries (chuva, radiação solar, etc.), além da poluição do ambiente (2).

A degradação da capa externa do cabo óptico em função do trilhamento elétrico tem por consequência o comprometimento do cabo. Esta característica faz com que seja necessária a aplicação de um material de capa com aditivação especial, de forma a resultar em um composto resistente e capaz de suportar tal efeito (3).

No Brasil os materiais comumente comercializados são definidos com base na norma ABNT NBR 10296-2014 (4), que parametriza a avaliação de materiais dielétricos de maneira genérica. Já no âmbito internacional, mais comumente se exige o atendimento à norma IEEE 1222-2011 (5), que apresenta requisitos e métodos especificamente definidos para cabos ópticos autossustentados e, portanto, mostra-se mais condizente com o real ambiente de instalação deste modelo de cabos. Tanto uma norma quanto a outra são utilizadas na avaliação

laboratorial do desempenho dos materiais de capa submetidos ao efeito de trilhamento elétrico.

Resumidamente, as metodologias de prova consistem na aplicação de um determinado número de ciclos que projetam a solicitação estimada do efeito de trilhamento e poluição. Todavia, estas não consideram ou aplicam os demais efeitos de envelhecimento oriundos das condições do ambiente de instalação, como intempéries e exposição à luz solar.

De forma a ampliar a avaliação do material de capa sujeito ao trilhamento elétrico, o procedimento proposto no presente trabalho combinou os métodos utilizados nos ensaios de trilhamento elétrico de acordo com a norma IEEE P1222-2011 e de intemperismo acelerado de acordo com a norma ASTM G-155 (6), de forma concomitante, comparando o desempenho de duas distintas formulações de material de capa.

2.0 - MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados, comparativamente, dois materiais comerciais de cobertura de cabos óptica denominados como amostras A e B. Os dados informados nas fichas técnicas dos respectivos fabricantes indicam que a amostra A é um termoplástico não-halogenado, retardante à chama, baixo índice de corrosão e toxidez, com aplicações em temperaturas de até 90 °C, enquanto que a amostra B é um polietileno de alta densidade retardante à chama comumente utilizado como material resistente ao trilhamento elétrico.

Essas coberturas foram caracterizadas por ensaios de: termogravimetria (TGA) segundo a norma ASTM E 1131 em equipamento Netzsch modelo TG 209, com taxa de aquecimento de 20 °C/min e fluxo de gás de 15 mL/min, sendo usada atmosfera de N₂ de 25 a 550 °C e de O₂ 550 a 900 °C; espectroscopia vibracional no infravermelho (FTIR) em equipamento Bruker, modelos Lumos na faixa de aquisição de 4000 a 400 cm⁻¹, resolução de 4 cm⁻¹, e 64 scans pelo método de ATR; temperatura de oxidação (OOT) segundo a norma ASTM E2009, sendo utilizado o equipamento de análise térmica simultânea marca Netzsch, modelo STA 449, com faixa de temperatura de 20 a 300 °C, atmosfera oxigênio, fluxo do gás de 50 mL/min e velocidade de varredura de 10 °C/min; calorimetria exploratória diferencial (DSC), de acordo com a norma ASTM D3418, utilizando o equipamento marca Netzsch, modelo DSC 204 F1, com faixa de temperatura de 10 a 150 °C, atmosfera nitrogênio, fluxo de gás de 20 mL/min e velocidade de varredura de 10 °C/min.

2.1 Ensaio de resistência ao trilhamento elétrico combinado com envelhecimento acelerado por intemperismo artificial

Para efetivação dos ensaios combinados de trilhamento elétrico e envelhecimento acelerado por intemperismo, os corpos de prova das amostras A e B foram divididos em dois grupos para avaliação em dois diferentes patamares do índice de poluição previstos na norma IEEE P1222-2011, primeiramente com um índice mais brando (IP7,7) e passando a um índice de mais agressividade (IP6,0).

O potencial elétrico aplicado foi de 25 kV, que é o valor máximo definido pela norma.

Para o ensaio com índice de poluição 7,7 os ciclos de trilhamento elétrico previstos pela norma foram divididos em três etapas, intercalando-se previamente a cada uma delas a exposição a 720 horas de intemperismo conforme ASTM G-155. O primeiro estágio foi de 80 ciclos, seguido de um estágio de 100 ciclos e concluindo-se com um estágio final de 120 ciclos.

Para o ensaio com índice de poluição de 6,0 foram aplicados estágios de 80 e 100 ciclos, respectivamente. Ambos precedidos por um ciclo de envelhecimento de 720 horas cada.

2.2 Ensaio de trilhamento elétrico

Foram preparados corpos de prova, de cada amostra, com aproximadamente 47 cm que foram divididos em 3 grupos, para avaliação em 2 diferentes patamares do índice de poluição definido pela norma IEEE P1222-2011, iniciando-se pelo índice mais brando (IP7,7) e passando a um índice mais de agressividade intermediária (IP6,0). O potencial elétrico aplicado foi de 25kV, que corresponde ao valor máximo definido por norma ao qual o material deverá suportar ao longo de sua vida útil.

Os 300 ciclos de trilhamento elétrico previstos pela norma foram divididos em 3 etapas, intercalando-se previamente a cada uma delas a exposição a 720h em câmara de intemperismo (totalizando 2160 horas).

A sequência adotada e a distribuição dos corpos de prova com os respectivos patamares para realização dos ensaios estão representadas esquematicamente na Fig.1. Cada um dos 3 grupos foi composto por 6 corpos de prova, sendo 3 da Amostra A e 3 da Amostra B, de forma a garantir a repetitividade dos resultados.

A distribuição dos corpos de prova para cada fase do ensaio está representada na Figura 1.

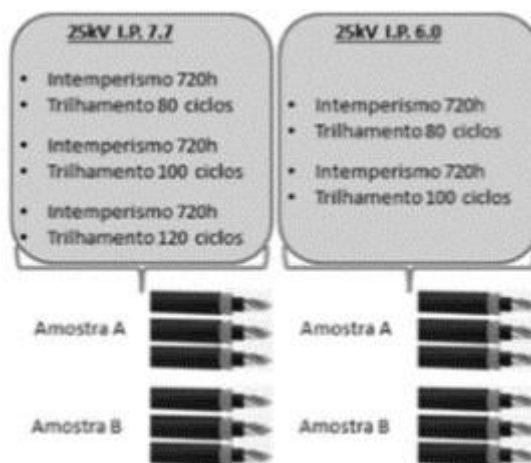


Figura 1 – Representação esquemática da distribuição das amostras por patamares de ensaio

O ensaio para avaliação da resistência ao trilhamento elétrico foi realizado em bancada de testes montada em laboratório, em total conformidade com as características e critérios aplicáveis recomendados pela norma IEEE P1222-2011.

Ver Figura 2.

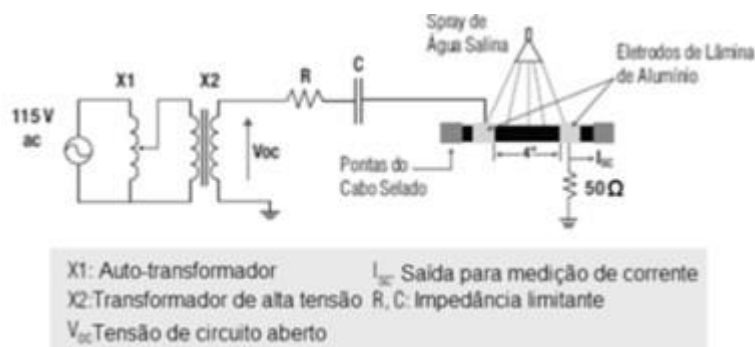


Figura 2 – Topologia de teste de trilhamento elétrico em cabos ópticos ADSS

Um exemplo de corpo de prova sendo submetido ao ensaio de trilhamento elétrico pode ser observado na Figura 3.



Figura 3 – Amostra em teste de trilhamento elétrico

Parâmetros de resistência, resistividade superficial e corrente de fuga foram aferidos ao final de etapas predeterminadas durante o processo de avaliação juntamente com a inspeção visual das amostras.

3.0 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Da avaliação por FTIR, complementada com análise de microscopia eletrônica de varredura com análise de energia dispersiva, confirmou-se que a amostra A contém a presença de copolímero de etileno vinil acetato (EVA) e hidróxido de magnésio $[Mg(OH)_2]$, confirmando que sua composição apresenta características de material retardante à chama.

A imagem da amostra A obtida por microscopia eletrônica de varredura está mostrada na Figura 4.

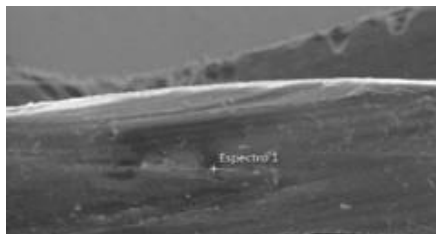


Figura 4 – Imagem microscópica da amostra A

A análise microscópica da amostra B revelou que o material é processado por coextrusão, sendo a camada interna composta por polietileno e a camada externa por polietileno de alta densidade (PEAD) e hidróxido de magnésio $[Mg(OH)_2]$, porém, sem a presença de EVA. Como o trilhamento elétrico é um efeito de superfície, justifica-se o fato de que o material resistente ao trilhamento seja aplicado somente à camada externa da capa, como pode ser observado na Figura 5.

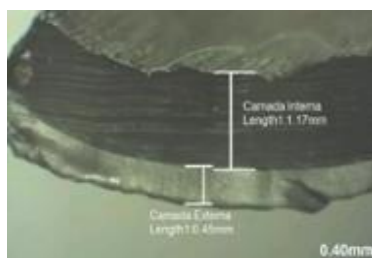


Figura 5 – Imagem microscópica da amostra B

Dos ensaios combinados de trilhamento elétrico com envelhecimento acelerado por intemperismo artificial obtiveram-se os valores de corrente de fuga média que estão listados na Tabela 1.

Tabela 1 – Valores de corrente de fuga média

VALORES DE CORRENTE DE FUGA MÉDIA (μA)			80 CICLOS	100 CICLOS	120 CICLOS
			If (μA)	If (μA)	If (μA)
FASE 1 I.P. 7.7	Amostra A	N1	-	336,4	367,7
		N2	-	331,5	489,5
		N3	-	344,4	470,2
	Amostra B	N1	-	415,8	259,3
		N2	-	447,0	254,3
		N3	-	469,0	265,5
FASE 2 I.P. 6.0	Amostra A	N4	1.518	8.866	-
		N5	1.332	5.132	-
		N6	1.372	1.698	-
	Amostra B	N4	1.189	1.287	-
		N5	1.127	-	-
		N6	1.082	1.145	-

Nenhuma das amostras apresentou variação numérica significativa dos valores de corrente de fuga após as etapas predeterminadas de intemperismo e trilhamento elétrico.

Graficamente pode-se observar um comportamento similar de linearidade para ambas as amostras na fase 2 dos testes onde foi aplicado um índice de poluição mais agressivo (6,0). Os picos mais afastados da linha média

ocorrem durante a molhagem das amostras e o consequente aumento momentâneo da condutividade superficial decorrente da presença de solução salina. Ver Figura 5.

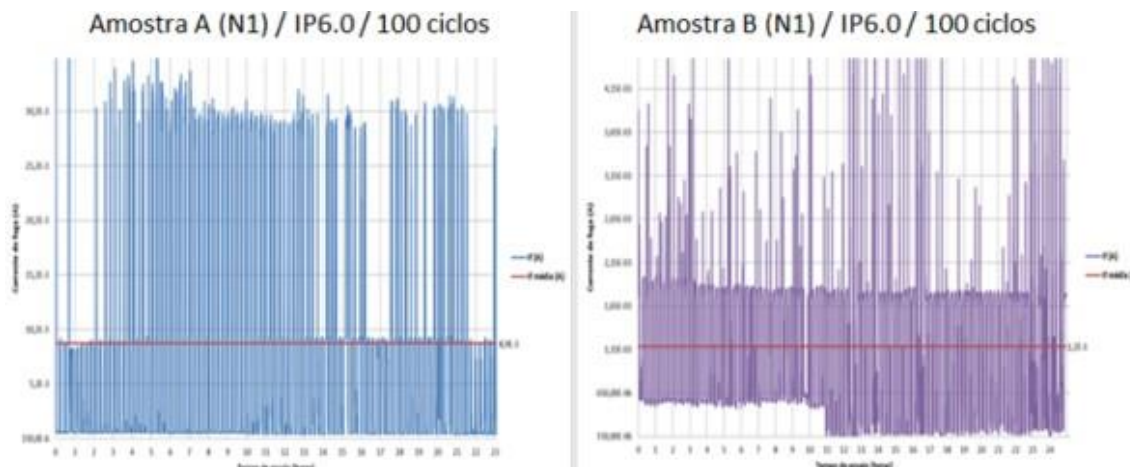


Figura 6 – Gráficos da corrente de fuga

Com respeito aos valores de resistência e resistividade superficial aferidos, ambas as amostras apresentaram redução na ordem de grandeza desses parâmetros em determinado momento com o avanço das fases de teste. Os valores de resistência da amostra B apresentaram redução após 720 horas de intemperismo seguido dos primeiros 80 ciclos de trilhamento na fase 1, porém, mantendo-se estável a partir dos ciclos seguintes. Na fase 2 ambas as amostras tiveram os valores reduzidos após duas etapas de 720 horas de intemperismo e a sequência de 80 e 100 ciclos de trilhamento. Ver Tabela 2.

Tabela 2 – Valores de resistência das amostras

VALORES DE RESISTÊNCIA DAS AMOSTRAS (Ω)			VALOR INICIAL (Ω)	APÓS WOM E ENSAIO 80 CICLOS	APÓS WOM E ENSAIO 100 CICLOS	APÓS WOM E ENSAIO 120 CICLOS
FASE 1 I.P. 7.7	Amostra A	N1	$366,0 \times 10^9$	$228,7 \times 10^9$	$100,6 \times 10^9$	$416,1 \times 10^9$
		N2	$221,0 \times 10^9$	$84,5 \times 10^9$	$74,0 \times 10^9$	$236,9 \times 10^9$
		N3	$214,0 \times 10^9$	$158,7 \times 10^9$	$305,6 \times 10^9$	$393,5 \times 10^9$
	Amostra B	N1	$2,6 \times 10^{12}$	$73,2 \times 10^9$	$97,2 \times 10^9$	$517,8 \times 10^9$
		N2	$5,6 \times 10^{12}$	$19,7 \times 10^9$	$194,7 \times 10^9$	$42,9 \times 10^9$
		N3	$12,0 \times 10^{12}$	$75,6 \times 10^9$	$303,0 \times 10^9$	$100,3 \times 10^9$
FASE 2 I.P. 6.0	Amostra A	N4	$224,5 \times 10^9$	$321,8 \times 10^9$	$338,1 \times 10^6$	-
		N5	$200,1 \times 10^9$	$436,9 \times 10^9$	$431,4 \times 10^6$	-
		N6	$343,2 \times 10^9$	$422,0 \times 10^9$	$494,8 \times 10^6$	-
	Amostra B	N4	$6,7 \times 10^{12}$	$45,3 \times 10^{12}$	$14,2 \times 10^6$	-
		N5	$3,6 \times 10^{12}$	$14,0 \times 10^{12}$	Amostra danificada em ensaio	
		N6	$2,6 \times 10^{12}$	$57,3 \times 10^{12}$	$14,4 \times 10^6$	-

Quanto à resistividade superficial a amostra A manteve-se estável ao longo de todo o processo na fase 1 enquanto que a amostra B apresentou redução após as primeiras 720 horas de intemperismo seguido de 80 ciclos de trilhamento, porém, seguindo estável nos ciclos subsequentes.

Na fase 2, ambas as amostras apresentaram redução de mesma ordem de grandeza após duas etapas de 720 horas de intemperismo e as subsequentes etapas de 80 e 100 ciclos de trilhamento. Ver Tabela 3.

Tabela 3 – Valores de resistividade superficial das amostras

VALORES DE RESISTIVIDADE SUPERFICIAL ($\Omega.m$)			VALOR INICIAL ($\Omega.m$)	APÓS WOM E ENSAIO 80 CICLOS	APÓS WOM E ENSAIO 100 CICLOS	APÓS WOM E ENSAIO 120 CICLOS
FASE 1 I.P. 7.7	Amostra A	N1	$360,5 \times 10^6$	$225,3 \times 10^6$	$99,1 \times 10^6$	$409,8 \times 10^6$
		N2	$217,7 \times 10^6$	$83,2 \times 10^6$	$72,9 \times 10^6$	$233,3 \times 10^6$

FASE 2 I.P. 6.0	Amostra B	N3	210,8x10 ⁶	156,3x10 ⁶	301,0x10 ⁶	387,6x10 ⁶
		N1	1,9x10 ⁹	52,5x10 ⁶	69,7x10 ⁶	371,3x10 ⁶
		N2	4,0x10 ⁹	14,1x10 ⁶	139,6x10 ⁶	30,8x10 ⁶
		N3	8,6x10 ⁹	54,2x10 ⁶	217,3x10 ⁶	71,9x10 ⁶
	Amostra A	N4	221,1x10 ⁶	316,9x10 ⁶	333,0x10 ³	-
		N5	197,1x10 ⁶	430,3x10 ⁶	424,9x10 ³	-
		N6	338,0x10 ⁶	415,6x10 ⁶	487,3x10 ³	-
	Amostra B	N4	4,8x10 ⁹	32,5x10 ⁹	10,2x10 ³	-
		N5	2,6x10 ⁹	10,0x10 ⁹	Amostra danificada em ensaio	
		N6	1,9x10 ⁹	41,0x10 ⁹	10,4x10 ³	-

Muito embora haja diferenças numéricas entre as grandezas elétricas das amostras, nenhum dos dois materiais apresentou trilhamento elétrico em nenhuma das fases dos ensaios, o que se justifica pela estabilidade dos valores de corrente de fuga de ambas as amostras como já comentado anteriormente. Tal resultado indica que essas diferenças estão, provavelmente, ligadas à inerente característica de composição química dos materiais e sua respectiva particularidade na dinâmica de exposição das cargas à medida em que os materiais eram solicitados fisicamente.

Durante a inspeção visual dos corpos de prova foram observados pontos com aspecto esbranquiçado na superfície das amostras, recorrente do acúmulo de sal oriundo dos ciclos de molhagem contemplados no ensaio de trilhamento elétrico. Ver Figura 7 e 8.

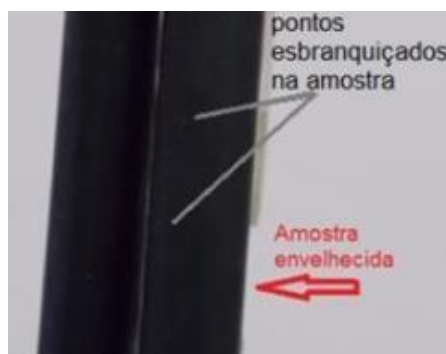


Figura 7 – Aspecto visual da amostra A



Figura 8 – Aspecto visual da amostra B

Nenhuma das amostras apresentou sinais visuais de formação de trilhas, que representassem indícios de início do fenômeno de trilhamento elétrico.

Por microscopia eletrônica de varredura, após a conclusão dos ensaios, pôde-se observar um discreto aumento na rugosidade superficial dos materiais, em função da natural remoção de parte do polímero de base durante o processo de envelhecimento, o que faz com que haja a exposição do hidróxido de magnésio. Ver Figuras 9 e 10,

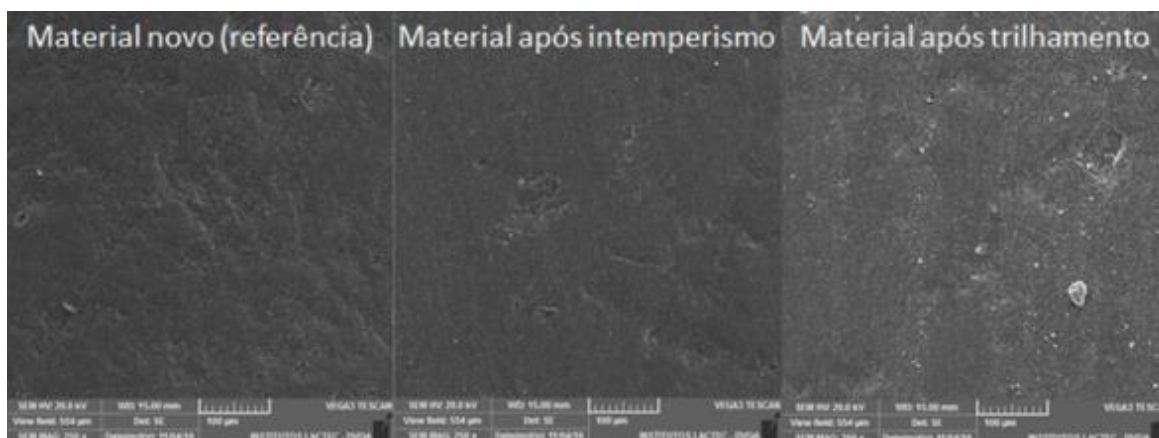


Figura 9 – Imagem da superfície da amostra A analisada por MEV

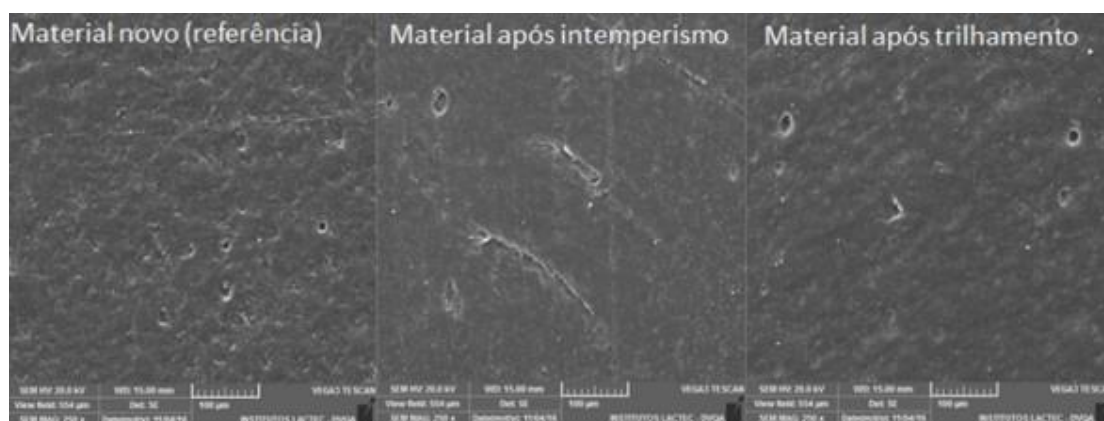


Figura 10 – Imagem da superfície da amostra B analisada por MEV

Os dois materiais foram aprovados nos ensaios de resistência ao trilhamento elétrico concomitante com o envelhecimento acelerado por intemperismo artificial.

4.0 - CONCLUSÃO

Dos ensaios aplicados com o intuito de caracterizar as amostras de materiais extrudados como capa externa dos cabos ópticos avaliados, foi possível identificar que o material que constitui a amostra A é, na verdade, uma blenda composta por polietileno, hidróxido de magnésio e etileno acetato de vinila, o que justifica a escolha de tal matéria-prima como material resistente ao trilhamento elétrico pelas suas características de retardância à chama, oriundas do hidróxido de magnésio e da rigidez dielétrica proporcionada pelo polietileno. Já a amostra “B” foi caracterizada com material de base o polietileno de alta densidade, aditivado com hidróxido de magnésio, este último diretamente relacionado à desejada característica de resistência ao trilhamento elétrico. Contudo, a amostra B não contém o etileno acetato de vinila como encontrado na amostra A.

Do procedimento adotado, no qual os materiais foram testados quanto à resistência ao trilhamento elétrico concomitantemente ao envelhecimento acelerado por intemperismo artificial, cuja avaliação foi complementada com as técnicas de caracterização descritas no presente estudo, foi possível concluir que ambos os materiais resistiram às condições de ensaio pré-determinadas e, portanto, estão aprovados nesta nova metodologia proposta frente aos efeitos combinados nos índices de poluição e potencial elétrico atrelados à simulação do envelhecimento projetado ao longo de sua vida útil estimada.

A composição das duas amostras contém hidróxido de magnésio. Contudo, no caso da amostra A com uma quantidade maior do que na amostra B. Isso ocorre em função de que a amostra A contém também o acetato de vinila que permite uma maior quantidade de carga inorgânica.

De forma geral observa-se que, mesmo com as inerentes diferenças entre as amostras, as conhecidas propriedades de retardância à chama do hidróxido de magnésio e os antioxidantes presentes nos materiais atuam como atenuador da elevação da temperatura do material de capa, reduzindo os efeitos de degradação do trilhamento elétrico sobre o material de capa.

5.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) PORINS, J.; BOBROVS, V.; MARKEVICS, K.; SUPE, A. Comparison of reliability of ADSS cables mounted on different voltage electric power lines. International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops, p. 158–163, 2013.
- (2) SHI, B.; KARADY, G. G.; HUANG, Q.; et al. Experimental Studies of the Characteristics of Dry Band Arcing on ADSS Fiber Optic Cables. IEEE Transactions on power delivery, v. 19, n. 4, p. 1936–1940, 2004.
- (3) AL-AMMAR, E.; KARADY, G. G.; TUOMINEN, M. W.; MEMBER, S.; VERMEERS, D. J. Experimental Correlation of the Aging Process of the ADSS Fiber-Optic Cables in ASU 's Environmental Chamber to Field Tests in Bandon , OR. IEEE Transactions on power delivery, vol. 23, n. 2, p. 1049–1054, 2008.
- (4) ABNT NBR 10296. Material isolante elétrico - Avaliação da resistência ao trilhamento e erosão sob condições ambientais severas. 2ª edição, 2014.
- (5) IEEE Std 1222: Standard for Testing and Performance for All-Dielectric Self-Supporting (ADSS) Fiber Optic Cable for Use on Electric Utility Power Lines, 2011.
- (6) ASTM G155. Standard Practice for Operating Xenon Arc Light Exposure of Non-Metallic Materials, 2013.

6.0 - DADOS BIOGRÁFICOS



Hernani Maurício Ferreira Szymanski - Graduado em Engenharia Mecânica pela Universidade Positivo (2010); Mestre em desenvolvimento de tecnologia, área de concentração tecnologia dos materiais pelos Institutos LACTEC (2017); Atuou como professor de tecnologia dos materiais e resistência dos materiais na Fundação Instituto Tecnológico Industrial; É atualmente gerente de produto no departamento técnico de cabos na Furukawa Electric LatAm.



Marilda Munaro - Bacharel e licenciada em química pela Universidade Federal do Paraná (1993); Mestre em engenharia e ciências dos materiais pela Universidade Federal do Paraná (2000); Doutora em engenharia e ciências dos materiais pela Universidade Federal do Paraná (2007); É atualmente pesquisadora sênior dos Institutos LACTEC, professora do programa de mestrado profissional dos Institutos LACTEC e professora do programa de pós-graduação em engenharia de materiais (PIPE) da Universidade Federal do Paraná.