

Resistência à abrasão da cobertura isolante em cabos pré-reunidos

P.C.Inone, F.Piazza, M.Munaro, R.Ferracin e G.P.Souza, Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento (LACTEC)
J.M.M.Sales, Companhia Energética do Ceará (COELCE)

Resumo- Um ensaio simples foi desenvolvido, com o objetivo de avaliar a resistência da cobertura isolante de cabos pré-reunidos contra danos causados por linhas recobertas com cerol. Os resultados destes ensaios permitiram identificar os parâmetros que influenciam diretamente na resistência da cobertura à abrasão pelo cerol. Para efeitos de comparação, foram também efetuados ensaios de abrasão segundo a norma CODI.

Palavras-chave— Rede isolada; cabos pré-reunidos; materiais isolantes; XLPE; conectores perfurantes.

I. INTRODUÇÃO

O comportamento de cabos pré-reunidos e demais acessórios utilizados em redes de distribuição secundária isolada, tem sido estudado desde a década de oitenta, na Austrália [1], Irlanda [4,5] e Reino Unido [6].

A experiência acumulada nas últimas três décadas com a utilização das redes isoladas, tem permitido identificar mecanismos de falhas e propor novos ensaios para testar os materiais utilizados. Tem sido constatada a participação de fatores diversos nos mecanismos de falhas, como radiação UV, salinidade, ventos, umidade, sobrecargas, flora e fauna.

No Brasil, a rede isolada com cabos pré-reunidos está sujeita a um tipo de vandalismo que pode provocar falhas por curto-circuito entre as fases. As linhas utilizadas por crianças para empinar pipas e papagaios, quando recobertas com uma mistura de cola e pó-de-vidro, denominada cerol, funcionam como potente abrasivo, capaz de cortar a cobertura de cabos pré-reunidos.

Constituiu objetivo deste trabalho, o desenvolvimento de um ensaio que pudesse avaliar a susceptibilidade da cobertura isolante dos cabos, à abrasão produzida pelo cerol.

II. EXPERIMENTAL

A. Amostras

Os cabos pré-reunidos estudados estão descritos na TABELA I. Os diâmetros isolados dos cabos e as espessuras das camadas isolantes foram medidos com auxílio de um paquímetro e estão incluídos na tabela. Todas as coberturas são de XLPE (polietileno reticulado) contendo negro-de-carbono.

No pré-reunido B os cabos constituintes são identificados através de coloração: azul para o neutro; vermelho, cinza e preto para as fases. A coloração azul, vermelha e cinza foi

obtida pela co-extrusão de uma fina camada de PEAD (polietileno de alta densidade) pigmentada sobre a cobertura negra de XLPE. A fase preta não recebeu camada de PEAD.

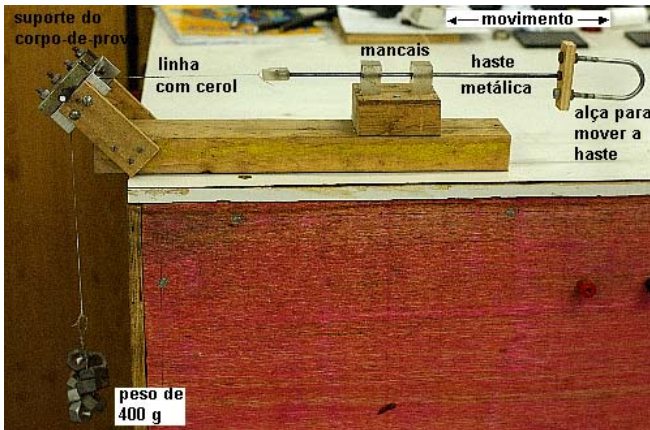
TABELA I
DESCRIÇÃO DOS CABOS PRÉ-REUNIDOS ESTUDADOS

Pré-reunido	Secção nominal do condutor (mm ²)		Espessura da cobertura (mm)		Diâmetro isolado (mm)	
	Fase	Neutro	Fase	Neutro	Fase	Neutro
A	25	50	1,9	1,9	9,2	12,3
B	25	50	2,3	2,6	10,4	13,9
C	50	50	1,8	1,8	11,5	11,5
D	35	35	1,8	1,8	10,3	10,3
E	25	50	1,1	1,6	8,1	11,9

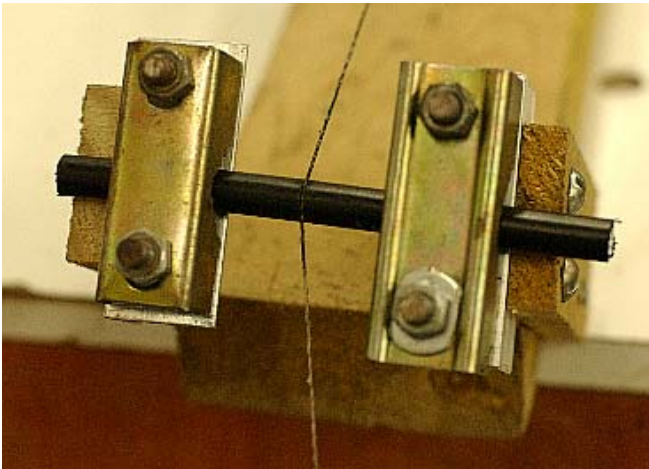
B. Resistência à abrasão pelo cerol

A Figura 1a mostra o aparato montado para realizar ensaio de resistência à abrasão pelo cerol. Uma linha de algodão recoberta com cerol, foi utilizada como elemento abrasivo. Uma extremidade da linha é amarrada a uma haste metálica horizontal que pode ser movida para frente e para trás manualmente. No detalhe mostrado da Figura 1b, pode-se verificar como a linha cruza perpendicularmente o corpo-de-prova e é dobrada para baixo em um ângulo de 90°, através da fixação de um peso de 400g na sua extremidade livre. O movimento de vai-vem da haste metálica faz a linha abrasiva deslizar sobre a cobertura do cabo, abrindo nela um sulco. O deslocamento total da haste metálica é de 20 cm.

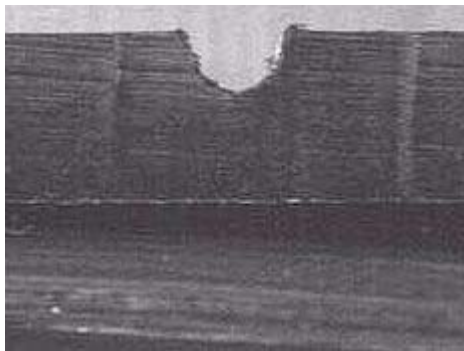
O ensaio realizado consistiu em movimentar a haste durante um determinado número de vezes, a uma velocidade de aproximadamente uma passagem por segundo (1 passagem = 1 deslocamento completo da haste = 20 cm). Posteriormente, os corpos-de-prova foram cortados no sentido longitudinal e visualizados com uma lupa. A Figura 1c apresenta uma imagem com ampliação de aproximadamente 14x, mostrando a profundidade do sulco produzido pelo atrito da linha abrasiva contra a cobertura. As imagens dos cortes foram então capturadas através de uma câmera CCD, e utilizadas na determinação da profundidade dos sulcos.



(a)



(b)



(c)

Figura 1 – Ensaio de resistência à abrasão pelo cerol. (a) aparato utilizado; (b) detalhe mostrando a fixação do corpo-de-prova ao suporte e o posicionamento da linha abrasiva sobre a cobertura; (c) corte longitudinal, mostrando a profundidade do sulco produzido pelo atrito.

O cerol utilizado foi preparado pela mistura de vidro moído e cola branca (poliacetato de vinila), na proporção 10 g de vidro para 20 g de cola. A moagem do vidro foi efetuada através de martelamento de pedaços de vidro envolvidos em pano de algodão grosso, seguido pelo peneiramento em peneira com abertura de aproximadamente 400 μ m.

Uma linha de algodão tex 166 (166 g/1000 m) foi utilizada no ensaio. O recobrimento com cerol foi efetuado pela imersão da linha na mistura de vidro e cola. Para uniformizar a camada de cerol em torno da linha, esta era puxada através de um orifício com diâmetro de 1 mm, feito

em uma placa de polietileno (vide Figura 2). Em seguida a linha era esticada e deixada a secar por aproximadamente 1 hora, e então uma nova camada de cerol era aplicada. Finalmente a linha era novamente esticada e deixada a secar por 1 noite, antes de ser utilizada nos ensaios.

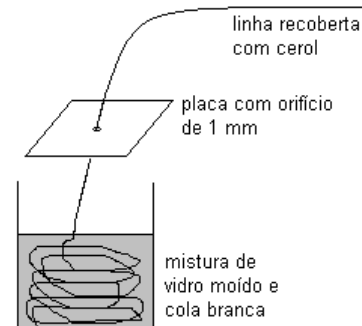


Figura 2 – Recobrimento da linha com cerol.

C. Resistência à abrasão segundo norma CODI

Ensaio de resistência à abrasão da cobertura dos cabos também foram efetuados com base na norma CODI-3.2.18.23.1 [7]. O aparato utilizado, mostrado na Figura 3, consiste basicamente de um motor elétrico com redutor, acoplado a um virabrequim para produzir movimento horizontal de vaivém do corpo-de-prova. O gume de uma lâmina estacionária vertical, orientado perpendicularmente ao movimento de vaivém, é pressionado contra a superfície do corpo-de-prova, provocando desgaste progressivo do material. A duração do ensaio, prescrita pela norma, é de 1000 ciclos (1 ciclo = ida e volta). Na presente análise, além de ensaios de 1000 ciclos, foram também efetuados ensaios de 5000 ciclos. Para cada corpo-de-prova, o ensaio é efetuado duas vezes em uma mesma posição axial, mas em posições circunferenciais deslocadas de 90°. O desgaste sofrido pela cobertura é dado pela diferença entre o diâmetro inicial e o diâmetro final do cabo, medidos dentro da região submetida à abrasão. Três corpos-de-prova foram utilizados para cada amostra de cabo.

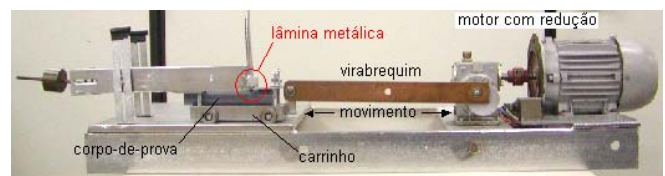


Figura 3 – Aparato utilizado no ensaio de resistência à abrasão pela norma CODI.

III. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A. Abrasão segundo norma CODI

A TABELA II apresenta os resultados para os ensaios de abrasão, efetuados na cobertura de várias amostras de cabos. Foram efetuados ensaios com 1000 ciclos, de acordo com o prescrito na norma CODI, e também os resultados efetuados

para 5000 ciclos. A Figura 4 mostra a região desgastada do corpo-de-prova, após o ensaio. É possível observar que o desgaste não é homogêneo, produzindo ondulações na superfície desgastada. O desgaste do material foi medido no ponto mais profundo, dentro da região submetida à abrasão.

Nos ensaios efetuados com 1000 ciclos, o desgaste da cobertura foi pequeno, variando de 0,09 para a amostra C/neutro a 0,14 mm para a amostra E/fase. Estes valores estão bem abaixo do limite de 0,25 mm prescrito pela norma. As diferenças observadas entre os valores obtidos para as várias amostras são pequenas, sendo de magnitudes próximas aos dos desvios padrões. Por esta razão, não foi possível diferenciar as amostras pelas suas resistências à abrasão.

Quando o número de ciclos de abrasão foi aumentado para 5000, houve aumento correspondente no desgaste sofrido pelas amostras. O aumento nos desvios padrões entretanto, foi proporcionalmente menor. Isto permitiu a diferenciação entre as diferentes amostras testadas, com relação à resistência à abrasão. A amostra B/fase vermelha, que possui uma camada de PEAD co-extrudada sobre a cobertura, apresentou desgaste de apenas 0,24 mm. É interessante observar que o desgaste se restringiu à camada de PEAD, não chegando a atingir a cobertura de XLPE, indicando que o PEAD apresenta maior resistência à abrasão em relação ao XLPE. A amostra C/neutro foi a que apresentou menor resistência à abrasão.

TABELA II
RESULTADOS DE ENSAIO DE ABRASÃO NA COBERTURA DOS CABOS, SEGUNDO NORMA CODI.

Pré-reunido	Cabo	Desgaste, mm	
		1000 ciclos	5000 ciclos
A	neutro	0,13 ± 0,03	0,31 ± 0,05
B	fase preta	--	0,30 ± 0,03
	fase vermelha	--	0,24 ± 0,02
C	neutro	0,09 ± 0,02	0,4 ± 0,1
D	fase	0,13 ± 0,03	0,25 ± 0,04
E	fase	0,14 ± 0,02	0,35 ± 0,04



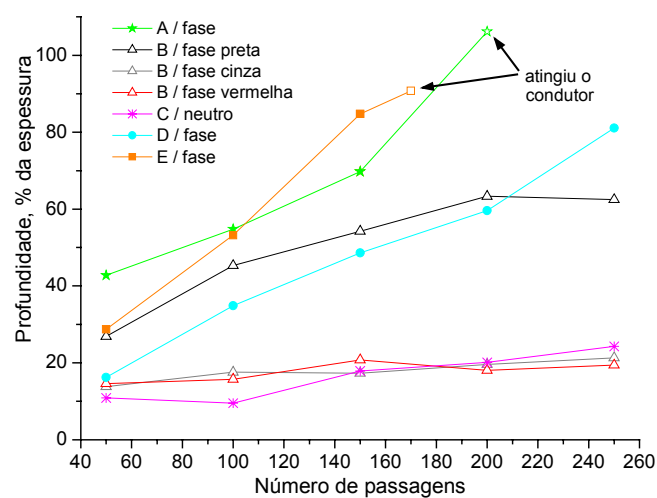
Figura 4 – Região desgastada do corpo-de-prova, após ensaio de resistência à abrasão.

B. Abrasão por cerol

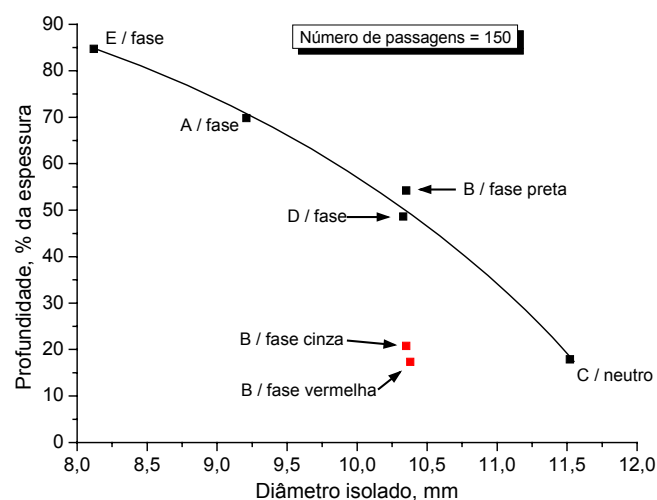
Os resultados dos ensaios, para diversas amostras, estão representados em forma gráfica, na Figura 5. No gráfico da

Figura 5a estão representados o número de passagens da linha com cerol sobre a cobertura do cabo versus profundidade do sulco produzido, expresso como uma porcentagem da espessura da cobertura. Foram realizados ensaios com 50, 100, 150, 170, 200 e 250 passagens. É importante mencionar que cada linha abrasiva era utilizada apenas para 150 passagens; após este número a linha era trocada.

As amostras A/fase e E/fase foram as que sofreram maior abrasão pelo cerol, como se pode observar na Figura 5a. A profundidade do sulco produzido foi de 30-40% da espessura com apenas 50 passagens, e aumentou continuamente com o aumento no número de passagens, até atravessar totalmente a cobertura.



(a)



(b)

Figura 5 – Resultados de ensaio de abrasão por cerol. (a) número de passagens da linha sobre a cobertura do cabo versus profundidade do sulco produzido; (b) diâmetro isolado do cabo versus profundidade do sulco produzido pelo cerol.

No outro extremo de resistência à abrasão estão a fase vermelha e a fase cinza da amostra B, e a amostra C/neutro. A profundidade do sulco produzido nestas amostras, para 50

passagens, é de apenas 11-15% da espessura da cobertura, aumentando muito lentamente com o número de passagens, até um valor em torno de 20-24% apenas.

A razão para estas diferenças de comportamento, pode ser deduzida a partir de uma outra representação dos dados experimentais. Na Figura 5b estão representados o diâmetro isolado do cabo versus profundidade do sulco produzido na cobertura, para o caso de testes realizados com 150 passagens. Observa-se que a profundidade do sulco varia de maneira inversa com o diâmetro isolado do cabo. Este resultado mostra que cabos isolados com menores diâmetros são mais suscetíveis à abrasão pelo cerol.

A exceção a esta regra são as coberturas das fases cinza e vermelha da amostra B, representadas com símbolos vermelhos, situados bem abaixo da curva desenhada na Figura 5b. Ao que parece, a menor abrasão sofrida por estas amostras é decorrente da presença da camada de PEAD colorida, que apresenta maior resistência à abrasão (vide TABELA II), e portanto funciona como proteção. A maior resistência à abrasão do PEAD pode ser resultante do seu maior grau de cristalinidade.

Os resultados apresentados acima sugerem portanto, que as duas formas de aumentar a resistência à abrasão pelo cerol, seriam pela utilização de cabos com maiores diâmetros, ou de cabos que apresentem camada de polietileno de alta densidade (PEAD) co-extrudada sobre a cobertura.

IV. CONCLUSÕES

- No ensaio de abrasão por cerol, o diâmetro isolado do cabo foi o principal parâmetro. Cabos com maiores diâmetros foram os que sofreram menor abrasão pelo cerol. A presença da camada de PEAD co-extrudada sobre a cobertura de XLPE de um dos cabos, funcionou como proteção, aumentando sua resistência à abrasão pelo cerol.
- Ensaio de abrasão na cobertura segundo norma CODI, permitiu diferenciar as distintas amostras somente quando o número de ciclos de abrasão foi aumentado para 5000. Camada de PEAD co-extrudada sobre a cobertura de XLPE de um dos cabos, aumentou sua resistência à abrasão.

V. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

-
- [1] WILLIANSO, C. E. et al. Development and introduction of aerial bundle cable in Australia. *PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON OVERHEAD LINE DESIGN AND CONSTRUCTION: THEORY AND PRACTICE*, Nov. 28-30, 1988. p.113-117.
- [2] MORGAN, V. T. The thermal conductivity of crosslinked polyethylene insulation in aerial bundle cables. *IEEE Transactions on Electrical Insulation*, vol. 26, n. 6, p.1153-1158, Dec. 1991.
- [3] BIRTWHIST, D. Investigation of degradation of XLPE insulation in low voltage aerial bundle cable systems. *PROCEEDINGS OF SIXTH INTERNATIONAL CONFERENCE ON DIELECTRICS MATERIALS,*

MEASUREMENTS AND APPLICATIONS, Sept. 7-10, 1992. p.322-325.

- [4] QUIGLEY, P.; MURRAY, T. P. Some recent developments in ESB in: (A) environmental line design (B) design/specification of ABC line components. *PROCEEDINGS OF 12TH INTERNATIONAL CONFERENCE ON ELECTRICITY DISTRIBUTION*, May 17-21, 1993. Vol. 3, p. 3.8/1-3.8/8.
- [5] MURRAY, T. Aerial bundled conductors. *IEE COLLOQUIUM ON REVIEW OF OPTIONS FOR OVERHEAD RURAL DISTRIBUTION*, March 2, 1995. p.2/1-2/6.
- [6] HYDE, H. B. et al. The design and application of aerial bundled conductors for the UK low voltage distribution system. *PROCEEDINGS OF INTERNATIONAL CONFERENCE ON OVERHEAD LINE DESIGN AND CONSTRUCTION: THEORY AND PRACTICE*, Nov. 28-30, 1988. p.99-104.
- [7] CODI-3.2.18.23.1: Especificação de cabos cobertos para rede compacta de 13.8kV e 34.5kV. **Associação Brasileira de Distribuidores de Energia Elétrica**, dezembro, 1999.