

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Mestrado Profissional em Sistemas de Energia Elétrica

ALEXANDRE MANOEL DE MEDEIROS BORJA GOMES

Avaliação do Uso de Poliamida Monofilamentar em Trabalhos
de Instalações Energizadas

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2014

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
Centro de Engenharia Elétrica e Informática
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica
Mestrado Profissional em Sistemas de Energia Elétrica

Avaliação do Uso de Poliamida Monofilamentar em Trabalhos de Instalações Energizadas

ALEXANDRE MANOEL DE MEDEIROS BORJA GOMES

Dissertação de Mestrado submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Mestre em Sistemas de Energia Elétrica.

Área de Concentração: Processamento da Energia

Edson Guedes da Costa, D.Sc.
Orientador

Campina Grande – PB
Maio – 2014

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFCG

G633a Gomes, Alexandre Manoel de Medeiros Borja.

Avaliação do uso de poliamida monofilamentar em trabalhos de instalações energizadas / Alexandre Manoel de Medeiros Borja Gomes. – Campina Grande, 2014.

149 f. : il. color.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Engenharia Elétrica e Informática, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. Edson Guedes da Costa".

Referências.

1. Linhas de Transmissão. 2. Manutenção em Instalação Energizada. 3. Linha de Mão Isolante. I. Costa, Edson Guedes da. II. Título.

CDU 621.372.2(043)

**"AVALIAÇÃO DO USO DE POLIAMIDA MONOFILAMENTAR EM TRABALHOS DE
INSTALAÇÕES ENERGIZADAS"**

ALEXANDRE MANOEL DE MEDEIROS BORJA GOMES

DISSERTAÇÃO APROVADA EM 08/05/2014



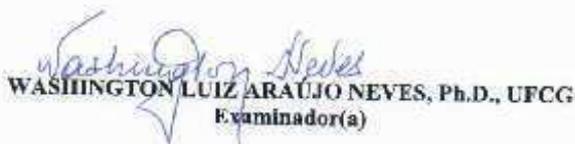
EDSON GUEDES DA COSTA, D.Sc., UFCG
Orientador(a)



GEORGE ROSSANY SOARES DE LIRA, D.Sc., UFCG
Examinador(a)



TARSO VILELA FERREIRA, D.Sc., UFCG
Examinador(a)



WASHINGTON LUIZ ARAÚJO NEVES, Ph.D., UFCG
Examinador(a)

CAMPINA GRANDE - PB

Agradecimentos

A Jesus Cristo por ter nos orientado do verdadeiro significado de amar ao próximo.

A minha querida esposa Girlana, por sempre estar ao meu lado incentivando e apoiando minhas decisões.

A minha filha Lara, por ser uma grande razão de viver.

A minha mãe Beatriz, por ter sido minha protetora quando não tinha condições de me guiar sozinho.

Aos meus irmãos, Marcelo e Rafael, por serem meus melhores amigos.

Ao meu primo, Engenheiro e Professor Allan, por ter servido de inspiração para minha profissão.

In memória aos meus queridos parentes, Edson (pai), Manoel (avô paterno), Lourdes (avó paterna), Mário Arnaldo (avô materno) e Inácia (avó materna). Todos estariam igualmente felizes com essa grande conquista.

Ao professor Genoilton, aos alunos de pós graduação Valdemir, Jalberth e Danilo, por fim aos funcionários do Laboratório de Alta Tensão Eduardo, Francisco e Adriano. Todos eles contribuíram enormemente nos ensaios que realizei no referido laboratório.

Aos meus colegas de trabalho e amigos, Denis, Gustavo Xavier, Daniel, Lairton, Nailton, Welligton e Max Norat, por desenvolverem junto comigo esse maravilhoso trabalho.

A equipe de manutenção de linhas de transmissão de Sobradinho, Recife e de Salvador por ter me auxiliado nos testes realizados em campo e preparação das amostras.

Aos meus colegas de mestrado, que juntos comigo, lutaram muito para honrar nossos compromissos do trabalho e conciliar com a realização desse mestrado.

Ao Engenheiro da Chesf e Professor Methódio Varejão, a gerente da DAEC Daniela, a Engenheira Aline Lira e o Administrador José Roberto, por ter ajudado a esse mestrado sair do papel, tornado-o realidade.

Ao gerente do Departamento de Manutenção de Linhas de Transmissão da Chesf Osveraldo, por ter lutado para alocar os linheiros nas disputadas vagas desse mestrado.

A Chesf por ter propiciado o espaço e as condições para que essa melhoria fosse desenvolvida.

Por fim evitando quaisquer involuntários esquecimentos, agradeço a todos que direta ou indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Alexandre Manoel de Medeiros Borja Gomes

Resumo

Este trabalho apresenta os ensaios realizados em laboratório e os testes de campo de linha de mão isolante. Utilizou-se nos experimentos monofilamentos de 3 a 6 mm de poliamida com o objetivo de aplicá-las em trabalhos com instalações energizadas como, por exemplo, linha de transmissão de 500 kV e subestações de 230 kV. Originalmente, o monofilamento é usado em pescaria ou roçadeira. Com o uso da linha de mão isolante os trabalhos em instalações energizadas são facilitados, com diminuição de tempo e esforço, sem contar com aumento da segurança no processo, tanto do ponto de vista das instalações como da segurança do pessoal envolvido. Para avaliar o desempenho elétrico das linhas de mão foram realizados ensaios de suportabilidade elétrica, com medição da corrente de fuga. Amostras novas e envelhecidas foram ensaiadas. Para efeito comparativo, nos ensaios nas linhas de mão utilizou-se a mesma metodologia consagrada aplicada aos bastões isolantes. Os resultados se mostraram promissores para trabalhos com instalações energizadas, apresentando desempenho satisfatório do ponto de suportabilidade elétrica, mesmo quando comparada aos consagrados bastões isolantes.

Palavras Chaves: Linhas de Transmissão. Manutenção em Instalação Energizada. Linha de mão isolante.

Abstract

This paper presents the tests performed in insulated hand line, in laboratory and field. It was used in the experiments the monofilament 3-6 mm polyamide line, aiming to be applied in energized facilities, such as: 500 kV transmission lines and 230 kV substations. Originally, the monofilament is used in fishing or mowing .The application of the insulated hand line on energized facilities increases the productivity, due to reduction of time and effort of the linemen, not to mention the higher level of safety in the process. To evaluate the electrical performance of insulated hand lines withstand electrical testing, the measurement of the leakage current were performed. New and aged samples were tested. For comparative purpose, the methodology used for the tests in insulated hand lines were the same as used for live line tools, such as hot sticks. The results were promising to work on energized facilities, showing satisfactory performance concerning to the electrical withstand, even when compared with the established tests of hot sticks.

Keywords: Transmission Lines. Energized Maintenance Installation. Insulated hand line.

Lista de Ilustrações

Figura 2.1 - Primeiro registro de trabalhos em linha viva - 1914.....	23
Figura 2.2 - Trabalho energizado usando Hotstick.....	23
Figura 2.3 - Trabalho energizado pelo método ao contato - 13,8 kV.....	24
Figura 2.4 - Detalhe do bastão isolante.	26
Figura 2.5 - Andaime isolante	26
Figura 2.6 - Escada Isolante.	27
Figura 2.7 - Detalhes da extremidade do Bastão Universal.	27
Figura 2.8 - Trabalho energizado pelo método ao distância.....	28
Figura 2.9 - Ritz Tester.....	29
Figura 2.10 - Vista dos eletrodos do Ritz Tester	29
Figura 2.11 - Teste de bastão com Ritz Tester	30
Figura 2.12 - Acesso ao potencial em instalação de 230 kV.....	30
Figura 2.13 - Testador de continuidade para vestimenta condutiva.....	31
Figura 2.14 - Bancada de testes de bastões	33
Figura 2.15 - Primeiro trabalho com instalação energizada no Brasil.....	34
Figura 2.16 - Limpeza do local.....	37
Figura 2.17 - Preparação para o trabalho.....	37
Figura 2.18 - Eletricistas posicionados no alto da estrutura.....	39
Figura 2.19 - Instalação do julgo na ponta da mísula.....	39
Figura 2.20 - Instalação da escada isolante	39
Figura 2.21 - Instalação do retângulo de força	40
Figura 2.22 - Retângulo de força	40
Figura 2.23 - Cupilha sendo sacada do isolador.....	41
Figura 2.24 - Eletricista de montagem sacando as cupilhas	41
Figura 2.25 - Eletricista de topo pegando peso dos cabos.....	42
Figura 2.26 - Desmontagem da cadeia	42
Figura 2.27 - Circuito horizontal	44
Figura 2.28 - Circuito vertical	44
Figura 2.29 - Instalação de esfera no cabo para-raios	45
Figura 2.30 - Deslocamento da esfera pelo cabo para-raios.....	45

Figura 2.31 - Correntes em isolantes sólidos.....	50
Figura 2.32 - Rigidez Dielétricas típicas	50
Figura 2.33 - Descarga em isolador realizada no laboratório do Cepel	51
Figura 2.34 - Vista de cima da Subestação de 230 kV - Juazeiro II.....	52
Figura 2.35 - Banda seca com diminuição da distância de isolamento	53
Figura 2.36 - Distâncias envolvidas no isolamento.....	55
Figura 2.37 - Isoladores tipo pino.....	55
Figura 2.38 - Isoladores tipo pilar (esquerda), monocorpo (centro) e multicorpo (direita).	56
Figura 2.39 - Isoladores de disco típico.....	56
Figura 2.40 - Modelos de isoladores antigos.....	57
Figura 2.41 - Estrutura de polímeros de cadeia carbônica.	58
Figura 2.42 - Estrutura de polímeros de cadeia heterogênea.....	59
Figura 2.43 - Classificação dos polímeros.....	60
Figura 2.44 - Transformador do laboratório de alta tensão da UFCG.....	63
Figura 2.45 - Circuito do divisor capacitivo.....	64
Figura 2.46 - Divisor capacitivo do laboratório de alta tensão da UFCG	65
Figura 2.47 - Esquema de ensaio elétrico de recepção e aceitação do bastão isolante	66
Figura 3.1 - Amostra sendo ensaiada de fio sintético de monofilamento de poliamida	69
Figura 3.2 - Amostra sendo ensaiada de de batão isolante de 51 mm	69
Figura 3.3 - Amostra sendo ensaiada de bastonete isolante de 6 mm	70
Figura 3.4 - Amostra sendo ensaiada de corda (linha de mão) de seda de 5/8 de polegadas.....	71
Figura 3.5 - Amostra sendo ensaiada de corda (linha de mão) de aramida de 3/8 de polegadas... ..	71
Figura 3.6 - Amostra sendo ensaiada de corda (linha de vida) de 11 mm.....	72
Figura 3.7 - Mesa de controle com instrumentos	73
Figura 3.8 - Esquema dos ensaios	74
Figura 3.9 - Desenho do Disco Coletor para filtrar as correntes parasitas	74
Figura 3.10 - Umidificação da amostra	75
Figura 3.11 - Enevelhecimento 1 e 2 das amostras do primeiro ensaio	76
Figura 3.12 - Enevelhecimento 7 da amostra do segundo ensaio, realizada no primeiro teste de campo	78
Figura 3.13 - Enevelhecimentos 8 e 9 das amostras para o terceiro ensaio	81
Figura 3.14 - Detalhe do desgaste da amostra Envelhecida 9 para o terceiro ensaio.....	81

Figura 3.15 - Medições de corrente de fuga no bastão isolante de 32 mm de diâmetro e na linha de mão isolante de 3 mm de diâmetro (monofilamento de poliamida)	83
Figura 3.16 - Linhas de mãos em contato com vários potenciais.....	84
Figura 3.17 - Linha de mão submetida a $500 \text{ kV} / \sqrt{3}$	84
Figura 4.1 - Forma de onda da 1ª Medição do 1º Ensaio	86
Figura 4.2 - Forma de onda da 2ª Medição do 1º Ensaio	86
Figura 4.3 - Forma de onda da 3ª Medição do 1º Ensaio	87
Figura 4.4 - Forma de onda da 4ª Medição do 1º Ensaio	88
Figura 4.5 - Forma de onda da 5ª Medição do 1º Ensaio	88
Figura 4.6 - Forma de onda da 6ª Medição do 1º Ensaio	89
Figura 4.7 - Forma de onda da 16ª Medição do 1º Ensaio	91
Figura 4.8 - Forma de onda da 21ª Medição do 1º Ensaio	92
Figura 4.9 - Forma de onda da 22ª Medição do 1º Ensaio	93
Figura 4.10 - Resumo das medições do primeiro ensaio.....	95
Figura 4.11 - Forma de onda da 1ª Medição do 2º Ensaio	96
Figura 4.12 - Forma de onda da 2ª Medição do 2º Ensaio	97
Figura 4.13 - Forma de onda da 3ª Medição do 2º Ensaio	97
Figura 4.14 - Forma de onda da 4ª Medição do 2º Ensaio	98
Figura 4.15 - Forma de onda da 5ª Medição do 2º Ensaio	99
Figura 4.16 - Forma de onda da 6ª Medição do 2º Ensaio	99
Figura 4.17 - Forma de onda da 7ª Medição do 2º Ensaio	100
Figura 4.18 - Forma de onda da 8ª Medição do 2º Ensaio	100
Figura 4.19 - Forma de onda da 9ª Medição do 2º Ensaio	101
Figura 4.20 - Forma de onda da 10ª Medição do 2º Ensaio	102
Figura 4.21 - Forma de onda da 11ª Medição do 2º Ensaio	102
Figura 4.22 - Forma de onda da 18ª Medição do 2º Ensaio	104
Figura 4.23 - Forma de onda da 19ª Medição do 2º Ensaio	105
Figura 4.24 - Forma de onda da 20ª Medição do 2º Ensaio	105
Figura 4.25 - Forma de onda da 21ª Medição do 2º Ensaio	106
Figura 4.26 - Resumo das medições do segundo ensaio	108
Figura 4.27 - Forma de onda da 4ª Medição do 3º Ensaio	110
Figura 4.28 - Forma de onda da 5ª Medição do 3º Ensaio	110
Figura 4.29 - Forma de onda da 6ª Medição do 3º Ensaio	111
Figura 4.30 - Forma de onda da 7ª Medição do 3º Ensaio	112

Figura 4.31 - Resumo das medições do terceiro ensaio	116
Figura AC.1 - Forma de onda da 7ª Medição do 1º Ensaio	132
Figura AC.2 - Forma de onda da 8ª Medição do 1º Ensaio	133
Figura AC.3 - Forma de onda da 9ª Medição do 1º Ensaio	133
Figura AC.4 - Forma de onda da 10ª Medição do 1º Ensaio	134
Figura AC.5 - Forma de onda da 11ª Medição do 1º Ensaio	134
Figura AC.6 - Forma de onda da 12ª Medição do 1º Ensaio	135
Figura AC.7 - Forma de onda da 13ª Medição do 1º Ensaio	135
Figura AC.8 - Forma de onda da 14ª Medição do 1º Ensaio	136
Figura AC.9 - Forma de onda da 15ª Medição do 1º Ensaio	136
Figura AC.10 - Forma de onda da 17ª Medição do 1º Ensaio	137
Figura AC.11 - Forma de onda da 18ª Medição do 1º Ensaio	137
Figura AC.12 - Forma de onda da 19ª Medição do 1º Ensaio	138
Figura AC.13 - Forma de onda da 20ª Medição do 1º Ensaio	138
Figura AC.14 - Forma de onda da 12ª Medição do 2º Ensaio	139
Figura AC.15 - Forma de onda da 13ª Medição do 2º Ensaio	139
Figura AC.16 - Forma de onda da 14ª Medição do 2º Ensaio	140
Figura AC.17 - Forma de onda da 15ª Medição do 2º Ensaio	140
Figura AC.18 - Forma de onda da 16ª Medição do 2º Ensaio	141
Figura AC.19 - Forma de onda da 17ª Medição do 2º Ensaio	141
Figura AC.20 - Forma de onda da 1ª Medição do 3º Ensaio	142
Figura AC.21 - Forma de onda da 2ª Medição do 3º Ensaio	142
Figura AC.22 - Forma de onda da 8ª Medição do 3º Ensaio	143
Figura AC.23 - Forma de onda da 9ª Medição do 3º Ensaio	143
Figura AC.24 - Forma de onda da 11ª Medição do 3º Ensaio	144
Figura AC.25 - Forma de onda da 13ª Medição do 3º Ensaio	145
Figura AC.26 - Forma de onda da 14ª Medição do 3º Ensaio	145
Figura AC.27 - Forma de onda da 15ª Medição do 3º Ensaio	146
Figura AC.28 - Forma de onda da 17ª Medição do 3º Ensaio	147
Figura AC.29 - Forma de onda da 18ª Medição do 3º Ensaio	147
Figura AD.1 - Ilustração de utilização de linha de mão isolante	149

Lista de Tabelas

Tabela 2.1 - Distância de segurança adotada pela Chesf a partir de 1972.....	34
Tabela 2.2 - Distâncias de segurança do Setor Elétrico Brasileiro.....	35
Tabela 2.3 - Resistividades Volumétricas típicas.....	48
Tabela 2.4 - Parâmetros para aceitação da suportabilidade elétrica dos bastões isolantes.....	66
Tabela 3.1 - Amostras ensaiadas e testadas.....	68
Tabela 3.2 - Medições realizadas no primeiro ensaio.....	77
Tabela 3.3 - Medições realizadas no segundo ensaio.....	79
Tabela 3.4 - Medições realizadas no terceiro ensaio.....	82
Tabela 4.1 - 1ª Medição do 1º Ensaio.....	86
Tabela 4.2 - 2ª Medição do 1º Ensaio.....	86
Tabela 4.3 - 3ª Medição do 1º Ensaio.....	87
Tabela 4.4 - 4ª Medição do 1º Ensaio.....	87
Tabela 4.5 - 5ª Medição do 1º Ensaio.....	88
Tabela 4.6 - 6ª Medição do 1º Ensaio.....	89
Tabela 4.7 - 16ª Medição do 1º Ensaio.....	90
Tabela 4.8 - 21ª Medição do 1º Ensaio.....	92
Tabela 4.9 - 22ª Medição do 1º Ensaio.....	92
Tabela 4.10 - Resumo das medições do primeiro ensaio.....	94
Tabela 4.11 - 1ª Medição do 2º Ensaio.....	96
Tabela 4.12 - 2ª Medição do 2º Ensaio.....	96
Tabela 4.13 - 3ª Medição do 2º Ensaio.....	97
Tabela 4.14 - 4ª Medição do 2º Ensaio.....	98
Tabela 4.15 - 5ª Medição do 2º Ensaio.....	98
Tabela 4.16 - 6ª Medição do 2º Ensaio.....	99
Tabela 4.17 - 7ª Medição do 2º Ensaio.....	100
Tabela 4.18 - 8ª Medição do 2º Ensaio.....	100
Tabela 4.19 - 9ª Medição do 2º Ensaio.....	101
Tabela 4.20 - 10ª Medição do 2º Ensaio.....	101
Tabela 4.21 - 11ª Medição do 2º Ensaio.....	102
Tabela 4.22 - 18ª Medição do 2º Ensaio.....	104
Tabela 4.23 - 19ª Medição do 2º Ensaio.....	104

Tabela 4.24 - 20ª Medição do 2º Ensaio.....	105
Tabela 4.25 - 21ª Medição do 2º Ensaio.....	106
Tabela 4.26 – Resumo das medições do segundo ensaio.....	107
Tabela 4.27 - 4ª Medição do 3º Ensaio.....	109
Tabela 4.28 - 5ª Medição do 3º Ensaio.....	110
Tabela 4.29 - 6ª Medição do 3º Ensaio.....	111
Tabela 4.30 - 7ª Medição do 3º Ensaio.....	111
Tabela 4.31 – Resumo das medições do terceiro ensaio.....	115
Tabela AC.1 - 7ª Medição do 1º Ensaio.....	132
Tabela AC.2 - 8ª Medição do 1º Ensaio.....	132
Tabela AC.3 - 9ª Medição do 1º Ensaio.....	133
Tabela AC.4 - 10ª Medição do 1º Ensaio.....	133
Tabela AC.5 - 11ª Medição do 1º Ensaio.....	134
Tabela AC.6 - 12ª Medição do 1º Ensaio.....	134
Tabela AC.7 - 13ª Medição do 1º Ensaio.....	135
Tabela AC.8 - 14ª Medição do 1º Ensaio.....	135
Tabela AC.9 - 15ª Medição do 1º Ensaio.....	136
Tabela AC.10 - 17ª Medição do 1º Ensaio.....	136
Tabela AC.11 - 18ª Medição do 1º Ensaio.....	137
Tabela AC.12 - 19ª Medição do 1º Ensaio.....	137
Tabela AC.13 - 20ª Medição do 1º Ensaio.....	138
Tabela AC.14 - 12ª Medição do 2º Ensaio.....	138
Tabela AC.15 - 13ª Medição do 2º Ensaio.....	139
Tabela AC.16 - 14ª Medição do 2º Ensaio.....	139
Tabela AC.17 - 15ª Medição do 2º Ensaio.....	140
Tabela AC.18 - 16ª Medição do 2º Ensaio.....	140
Tabela AC.19 - 17ª Medição do 2º Ensaio.....	141
Tabela AC.20 - 1ª Medição do 3º Ensaio.....	141
Tabela AC.21 - 2ª Medição do 3º Ensaio.....	142
Tabela AC.22 - 3ª Medição do 3º Ensaio.....	142
Tabela AC.23 - 8ª Medição do 3º Ensaio.....	143
Tabela AC.24 - 9ª Medição do 3º Ensaio.....	143
Tabela AC.25 - 10ª Medição do 3º Ensaio.....	144
Tabela AC.26 - 11ª Medição do 3º Ensaio.....	144

Tabela AC.27 - 12ª Medição do 3º Ensaio.....	144
Tabela AC.28 - 13ª Medição do 3º Ensaio.....	145
Tabela AC.29 - 14ª Medição do 3º Ensaio.....	145
Tabela AC.30 - 15ª Medição do 3º Ensaio.....	146
Tabela AC.31 - 16ª Medição do 3º Ensaio.....	146
Tabela AC.32 - 17ª Medição do 3º Ensaio.....	146
Tabela AC.33 - 1ª Medição do 3º Ensaio.....	147

Lista de Abreviaturas

ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
CHESF	- Companhia Hidro Elétrica do São Francisco
EDF	- Electricité de France
EPRI	- Electric Power Research Institute
GCOI	- Grupo Coordenador da Operação Interligada
IEC	- International Electrotechnical Commission
IEEE	- Institute of Electrical and Electronics Engineers
LAT	- Laboratório de Alta Tensão da UFCG
LT 05C5 (SOB/PAF)	- Linha de Transmissão que liga a SE de Sobradinho a Paulo Afonso
MDA	- Minimum Approach Distance
NBR	- Norma Brasileira
OSHA	- Occupational Safety Health Agency
PRFV	- Polímero Reforçado de Fibra de Vidro
TI	- Transformador de Instrumentos
TPC	- Transformador de Potencial Capacitivo
TPI	- Transformador de Potencial Indutivo
TLE	- Turma de Linhas Energizadas
RMS	- Root Mean Square
SE GVM	- Subestação de Governador Mangabeira
URA	- Umidade Relativa do AR

Sumário

Capítulo 1 - Introdução.....	29
1.1 Motivação	19
1.2 Objetivos.....	20
1.3 Organização do Trabalho	21
Capítulo 2 – Fundamentação Teórica.....	22
2.1 Trabalhos em Instalações Energizadas	22
2.1.1 Métodos de Trabalho em Instalações Energizadas	24
2.1.2 A História dos Trabalhos Energizados na Chesf.....	32
2.1.3 A Distância de Segurança	33
2.1.4 Tipos de Trabalhos em Instalações Energizadas.....	35
2.1.5 Linha de Mão	36
2.1.6 Substituição de Isoladores em Cadeia de Suspensão tipo “I” – Método a Distância.....	36
2.1.7 Instalação de Esfera de Sinalização	43
2.2. Dielétricos	46
2.2.1 Condutividade Elétrica	46
2.2.2 Corrente nos Dielétricos.....	48
2.2.3 Rigidez Dielétrica.....	50
2.2.4 Descargas Elétricas.....	51
2.2.5 Tipos de isoladores em instalações elétricas.....	54
2.2.6 Materiais Dielétricos usados em Alta Tensão	57
2.2.7 Fios Sintéticos.....	61
2.2.8 Técnicas de Ensaio em Alta Tensão	63
Capítulo 3 – Materiais e Métodos	67
3.1 Material	67
3.2 Métodos	72
3.2.1 Ensaio em Laboratório	72
3.2.2 Testes de Campo	82
Capítulo 4 – Resultados e Análises.....	85
4.1 Resultados e Análises dos Ensaio em Laboratório.....	85
4.2 Resultados e Análises dos Testes de Campo.....	117

Capítulo 5 - Conclusões	118
Futuros Trabalhos	120
Referências Bibliográficas	120
Anexos A – Publicação no XXII SNPTEE	120
Anexos B – Publicação no ISH - 2013	120
Anexos C– Figuras e Tabelas dos Ensaios.....	120
Anexos D – Aplicação da Linha de Mão Isolante	120

Capítulo 1 – Introdução

1.1 Motivação

As técnicas aplicadas aos trabalhos em instalações energizadas são consagradas no setor elétrico nacional e internacional, permitindo a manutenção da disponibilidade da energia elétrica a níveis tolerados pela sociedade, bem como o atendimento as exigências regulamentares cada vez mais rigorosas.

Contudo, para garantir a segurança pessoal e operacional das instalações, na realização desses trabalhos é necessário respeitar uma série de parâmetros, sendo o mais crítico, a distância de segurança entre o ponto energizado e o profissional, que está no referencial de terra pelo método à distância. Por outro lado, para o caso dos trabalhos em instalação energizada, pelo método ao potencial, o profissional deve manter-se distante dos pontos aterrados.

Outro fator que deve ser considerado é que grande parte desses trabalhos ocorre nas linhas de transmissão, que possuem maior dificuldade de desenergização sem corte de carga ou penalização de parcela variável por indisponibilidade, obrigando o emprego de técnicas de trabalhos com instalações energizadas, sendo nesses casos necessário trabalhar no alto das estruturas, necessitando-se a subida e descida de material, equipamentos e ferramentas para sua realização. A forma de deslocá-los é a utilização de linha de mão que constitui, em geral, de cordas de seda, sisal, ou de qualquer material que apresente uma suportabilidade mecânica, em torno de 300 a 400 kg.

Contudo, as cordas não são consideradas isolantes, pois ao longo da execução do trabalho são contaminadas por materiais existentes no ambiente de trabalho, como poeira, sais, óleos e umidade. A consequência é a diminuição da suportabilidade elétrica, aumento da corrente de fuga e do risco de uma descarga elétrica entre a fase e a referida linha de mão, caso ela se aproxime do ponto energizado. Do mesmo modo que o eletricitista, a linha de mão deve ser mantida a uma determinada distância de segurança do ponto energizado de forma a evitar acidentes pessoais ou patrimoniais.

Pelo exposto, faz-se necessário tomar uma série de cuidados: no deslocamento de materiais, equipamentos e ferramentas; no deslocamento horizontal dos isoladores, cujo peso unitário é em média 3,5 kg; no uso de bastões isolantes para entrega de materiais ao profissional que está ao potencial. Enfim, a distância de segurança tem que ser respeitada,

tanto pelo profissional, quanto pela linha de mão. Esses cuidados geram dispêndio de tempo e esforços físicos. No entanto, caso a linha de mão fosse isolante os cuidados seriam minimizados, aumentando a produção e ao mesmo tempo o bem estar do eletricitista.

Como alternativas para a solução do problema, já foram testadas por empresas do setor elétrico, cordas isolantes fabricadas principalmente de aramida, no entanto, mesmo com controle muito rigoroso havia histórico de acidentes e incidentes no setor elétrico por descuido em seu manuseio. Como também, existe registro da utilização de bastonetes de epóxi glass, um tipo de resina usada nos consagrados bastões isolantes. A dificuldade do seu uso está na operacionalidade, pois seu manuseio não é tão fácil quando comparado as cordas que possui flexibilidade para realizar grandes ângulos permitindo ser direcionada por polias. O uso dos bastonetes de epóxi glass, como linha de mão isolante, é inviável em larga escala por ser pouco produtivo e muito trabalhoso.

Assim, uma alternativa segura e prática, de linha de mão isolante, será apresentada neste trabalho. A linha de mão deverá ser constituída por um fio sintético monofilamento de poliamida comumente usada como linha de pescaria ou roçadeiras, entre 3 e 6 mm de diâmetro. Sua suportabilidade elétrica deverá ser avaliada em ensaios e comparados com os bastões isolantes, que historicamente apresentam alto desempenho. Também deverá ser comparadas às cordas isolantes de aramida e as não isolantes. Paralelamente, testes de campo em linha de transmissão de 500 kV e em subestação de 230 kV deverão ser realizados. Além disso, testes de envelhecimento deverão ser idealizados e implementados.

1.2 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é propor, ensaiar e avaliar uma nova opção de uso da linha de mão isolante confeccionada em monofilamento de poliamida de 3 a 6 mm de diâmetro, para os trabalhos em instalações energizadas, em substituição às linhas de mão atualmente utilizada que não possui suportabilidade elétrica adequada.

Para tanto, tem-se os seguintes objetivos específicos:

- ✓ Ensaiar em laboratório, reproduzindo as condições mais severas possíveis em campo, no que diz respeito à suportabilidade elétrica;
- ✓ Desgastar (envelhecer) as amostras no sentido de definir tempo de utilização;

✓ Realizar testes em campo para validação da linha de mão como material isolante para trabalhos em instalações energizadas.

1.3 Organização do Trabalho

Esta Dissertação está organizada em cinco capítulos. O Capítulo 2 apresenta uma fundamentação teórica sobre Trabalhos em Instalações Energizadas e Dielétricos.

No Capítulo 3 é descrita a metodologia empregada nos ensaios de suportabilidade elétrica do fio sintético, os testes realizados em campo, bem como a reprodução de envelhecimento da linha de mão isolante de monofilamento de poliamida.

No Capítulo 4 são apresentados os resultados obtidos a partir dos ensaios em laboratório e testes em campo da linha de mão isolante de monofilamento de poliamida.

Por fim, no Capítulo 5 são apresentadas as conclusões e contribuições, além de propostas para trabalhos futuros.

Capítulo 2 – Fundamentação Teórica

Neste capítulo são apresentadas fundamentações teóricas sobre os Trabalhos em Instalações Energizadas e Dielétricos.

Nos trabalhos em instalações energizadas são descritos seus métodos de trabalho, seu histórico dentro da Chesf, a distância de segurança envolvida nos trabalhos pelo método à distância, bem como conceituação da linha de mão. Por fim é descrita com mais detalhes dois tipos de trabalho em instalação energizada, mais comumente realizados pelas equipes de manutenção: Substituição de Isoladores em Cadeia de Suspensão tipo “T” – Método à Distância e Instalação de Esfera de Sinalização.

Sobre dielétricos são apresentadas conceitos sobre condutividade elétrica, correntes nos dielétricos, rigidez dielétrica, descargas elétricas, tipos de isoladores utilizados em instalações elétricas, materiais dielétricos utilizados em alta tensão, fios sintéticos e por fim as técnicas de alta tensão utilizadas para testar os dielétricos antes de serem colocados nas instalações elétricas.

2.1 Trabalhos em Instalações Energizadas

O uso da energia elétrica de forma coletiva teve seu início com o desenvolvimento da lâmpada elétrica incandescente em 1880. Em 1882, o mesmo inventor da lâmpada incandescente, Thomas Edison, projetou e construiu as primeiras usinas geradoras em corrente contínua, no entanto sua capacidade se limitava a transmissão por alguns quilômetros. Com o desenvolvimento da Corrente Alternada (CA), por George Westinghouse em 1886, com ajuda do cientista Nicolas Tesla, foi possível a transmissão a maiores distâncias, possibilitando o alcance desse valioso insumo a mais pessoas e em localidades mais distantes. Já em 1887, pequenas linhas de transmissão, operando a 1000 V, alimentavam cerca de 135 mil lâmpadas (YOUTUBE, 2014).

Ao mesmo tempo em que a energia elétrica se tornava um bem de consumo indispensável, a manutenção nas redes tornaram-se um ponto de preocupação, pois simplesmente desligá-la para realizar manutenções e suspender o fornecimento para uma população cada vez mais dependente, não era uma medida popular. Como as redes, através de

suas linhas de transmissão e subestações necessitavam de manutenção, foi desenvolvida nos Estados Unidos a Técnica de Linha Viva, permitindo operar em instalações elétricas energizada, sem interrupção do fornecimento de energia aos consumidores (YOUTUBE, 2014).

Por volta de 1914, iniciaram-se os primeiros trabalhos de linha viva que se tem notícia. Usando bastões de madeira chamados na época de Hotstick, que nada mais era do que uma vara de madeira com várias ferramentas intercambiáveis em sua extremidade, poderiam assim, ser feitas as manutenções com a instalação energizada, mantendo uma distância pré determinada e segura. No entanto com o crescimento dos sistemas elétricos, o método, hoje conhecido como **Método à Distância** foi se tornando pouco produtivo. Alguns trabalhos necessitavam do contato humano e desenvolveram-se as luvas isolantes que permitiam o homem manusear as redes de maneira natural, nascia o **Método ao Contato** (YOUTUBE, 2014).



Figura 2.1: Primeiro registro de trabalho em linha viva - 1914.

Fonte: (YOUTUBE, 2014).



Figura 2.2: Trabalho energizado usando Hotstick.

Fonte: (YOUTUBE, 2014).

Com a popularização da energia, grandes redes foram se desenvolvendo, muitas cruzando todo o país, e com isso os níveis de tensão também se elevaram, restringindo o uso do método ao contato, limitando-o a níveis de tensão de até 35 kV. Surgiu então a técnica de trabalho em instalação energizada pelo **Método ao Potencial**, em que o homem de forma adequada entra em contato com o potencial, podendo realizar a manutenção estando lado a lado ao defeito como se a instalação estivesse desenergizada.

2.1.1 Métodos de Trabalho em Instalações Energizadas

Os três métodos utilizados nas técnicas de instalações energizadas, citados anteriormente: **Método ao Contato**, **Método à Distância** e **Método ao Potencial** serão detalhados a seguir:

✓ **Método ao Contato:** Usado em baixas tensões, geralmente até 13,8 kV, o operador faz contato direto com a parte energizada, executando os serviços com as mãos, mantendo-se isolado através de plataformas, andaimes, cesto aéreos e protegido por luvas, mangas, coberturas, todos esses com a devida isolação, de forma a evitar que o profissional e suas ferramentas possam fechar curtos na instalação, causando acidente.



Figura 2.3: Trabalho energizado pelo método ao contato - 13,8 kV.

Este método de trabalho é utilizado quando são esgotadas todas as alternativas, desde o desligamento da instalação até a adoção de outra técnica de trabalho, pois os cuidados são redobrados, considerando que as proximidades entre pontos com diferentes tensões, bem como as distâncias envolvidas são muito reduzidas. O controle com os equipamentos isolantes, principalmente as luvas isolantes são rigorosos, para evitar qualquer vazamento. Os ensaios nas luvas são periódicos, normatizados pela norma ABNT-NBR 10622 - Luvas Isolantes de Borracha - Especificação e Métodos de Ensaio. Seu uso em geral é feito com a proteção de uma luva de couro para evitar seu desgaste e furos.

✓ **Método à Distância:** Primeiro método utilizado, o profissional realiza todo o trabalho a uma distância pré estabelecida do ponto energizado, utilizando bastões isolantes, acoplados a suas extremidades diversas ferramentas necessárias à realização do trabalho.

“Os primeiros bastões tinham parte isolante fabricada em madeira, com recobrimento impermeável, o qual facilmente se danificava, permitindo a penetração de umidade, com conseqüente perda de seu isolamento e suas peças metálicas fabricadas com metais pesados eram de difícil manuseio e causavam uma fadiga excessiva nos eletricitistas, pondo em risco a qualidade do trabalho, bem como sua segurança. Com o tempo a AB Chance desenvolveu uma liga especial de alumínio, a qual veio sanar por completo o problema de peso, entretanto, ainda persistia a deficiência de isolamento dos bastões de madeira. Registra-se mesmo assim, que algumas equipes de Linha Viva chegaram, em 1957, a executar serviços em linhas de transmissão de 500 kV, com os bastões de madeira de fabricação Chance (MACIEL, 2008)”.

Mas foi, em 1959, que a AB Chance, desenvolveu os bastões isolantes de fibra de vidro impregnada de epoxi, mais leve do que o de madeira, pois diferente desse, o bastão era oco, contendo em seu interior espuma de poliuretano para evitar entrada de umidade, ar, poluentes, etc. O novo bastão conferia uma maior e melhor capacidade mecânica à tração e excelente suportabilidade elétrica, potencializando o uso da técnica de manutenção em instalações energizadas pelo método à distância. Os bastões possuem diversos diâmetros, tamanhos, ferramentas, funções, enfim o setor elétrico ao longo dos anos e de suas necessidades produziram uma infinidade de utilidades, sendo os mais comuns:

- Andaime Isolante;
- Bastão Garra;
- Bastão Tensor;
- Bastão Universal;
- Escada Isolante;
- Bastão de Manobra.



Figura 2.4: Detalhe do bastão isolante.

Fonte: MACIEL, 2008.



Figura 2.5: Andaime Isolante.



Figura 2.6: Escada Isolante.

Fonte: Terex Ritz.

O bastão universal talvez seja o mais importante equipamento isolante para trabalhos em instalações energizadas pelo método à distância, pois como seu próprio nome diz permite acoplar as suas extremidades a uma infinidade de ferramentas, tornando o bastão uma ferramenta versátil.



Figura 2.7: Detalhes da extremidade do Bastão Universal.

Fonte: MACIEL, 2008.

Utilizando de certa combinação de equipamentos isolantes, consegue-se realizar as intervenções nas instalações energizadas pelo método à distância.

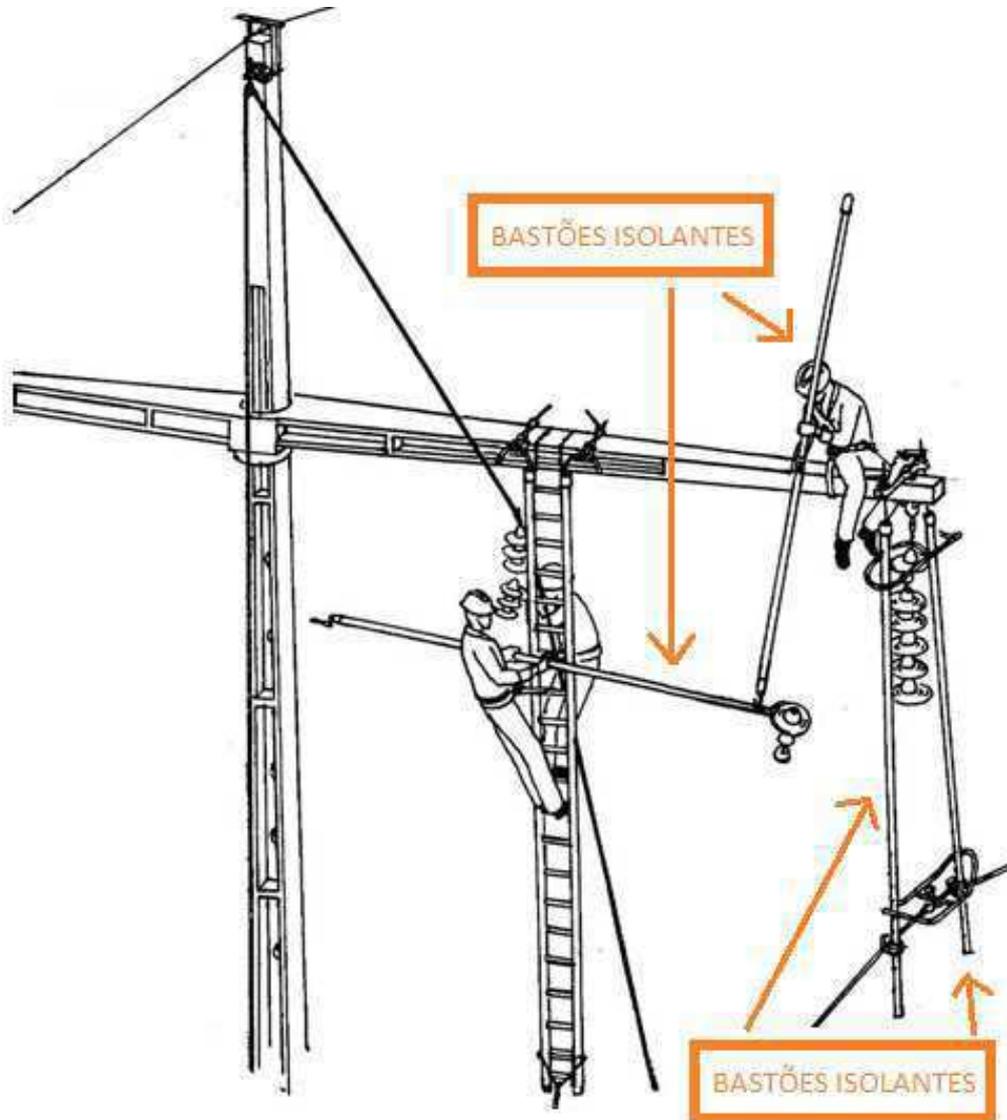


Figura 2.8: Trabalho energizado pelo método a distância.

A utilização de ferramentas isolante requer uma série de cuidados, sendo o principal sua conferência antes da intervenção. Existe um equipamento chamado Ritz Tester que verifica as condições de isolamento dos bastões isolantes. Mesmo após a conferência, deve-se antes de cada intervenção limpar a superfície dos bastões com flanela e álcool a 100% ou acetona, de modo a retirar quaisquer impurezas ou umidade existente. Também é importante não expor os materiais a umidade, sendo proibitivo seu uso em tempo chuvoso ou na iminência de chuva (CHESF, 2011).



VISTA GERAL

1. Cabo de Alimentação
2. Bastão de Teste - sem anéis metálicos
3. Mostrador - com faixa VERDE/VERMELHA

Figura 2.9: Ritz Tester.

Fonte: CHESF, 2010.

De forma resumida, o funcionamento do Ritz Teste é o seguinte: Aplica-se uma tensão, através de dois eletrodos e coleta-se a corrente de fuga que circula pela superfície do bastão através de mais dois eletrodos. Um indicador mostra o resultado do teste. Para garantir a aferição a cada leitura, o primeiro passo antes do teste é usar um bastão testemunha para comprovar o resultado negativo. O bastão testemunha é fabricado com defeito proposital.

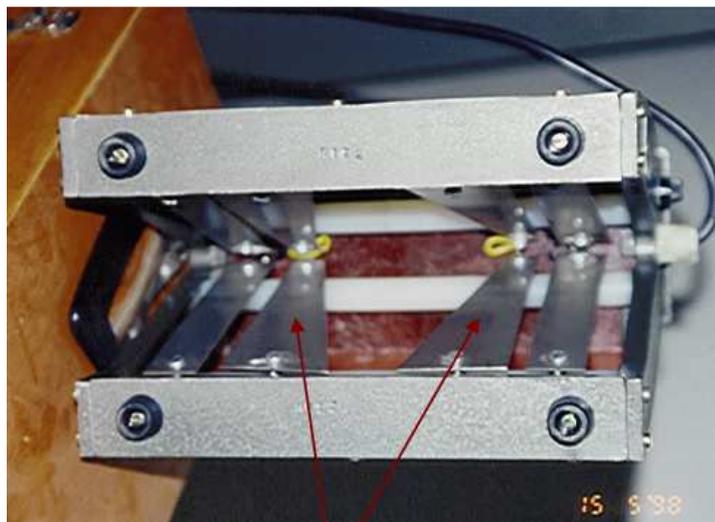


Figura 2.10: Vista dos eletrodos do Ritz Tester.

Fonte: CHESF, 2010.



Figura 2.11: Teste de bastão com Ritz Tester.

Fonte: CHESF, 2010.

✓ **Método ao Potencial:** O desenvolvimento deste método, na década de 70, deu-se devido à necessidade de diminuir o tempo gasto nas intervenções, uma vez que as redes cresciam a uma velocidade espantosa e o número de equipes e ferramentas não acompanhava o crescimento das redes na mesma proporção. Neste método, o profissional acessa o potencial elétrico utilizando-se uma vestimenta condutiva que o protege do elevado campo elétrico, é o princípio da gaiola de Faraday. Uma vez ao potencial, ele trabalha livremente como a instalação estivesse desligada. Contudo, a entrada ao potencial é realizada utilizando-se de meios isolantes, como escadas, guias, etc.



Figura 2.12: Acesso ao potencial em instalação de 230 kV.

Existem duas maneiras de se acessar o potencial, ativamente ou passivamente. A primeira ocorre quando o próprio profissional se desloca através de um meio isolante e acessa o potencial e no segundo caso, o profissional é deslocado, também por um meio isolante ao potencial.

Especialmente em trabalhos em instalações energizadas, é adequado destacar uma rotineira citação do engenheiro da Chesf Gustavo Xavier: “Nos trabalhos em instalações energizadas não se confia, confere-se sempre”. Por isto, a exemplo de como ocorre aos bastões isolantes, que antes do seu uso é necessário a conferência das condições de isolamento do próprio bastão, no caso das vestimentas condutivas é necessário realizar testes de continuidade de todas as suas peças.

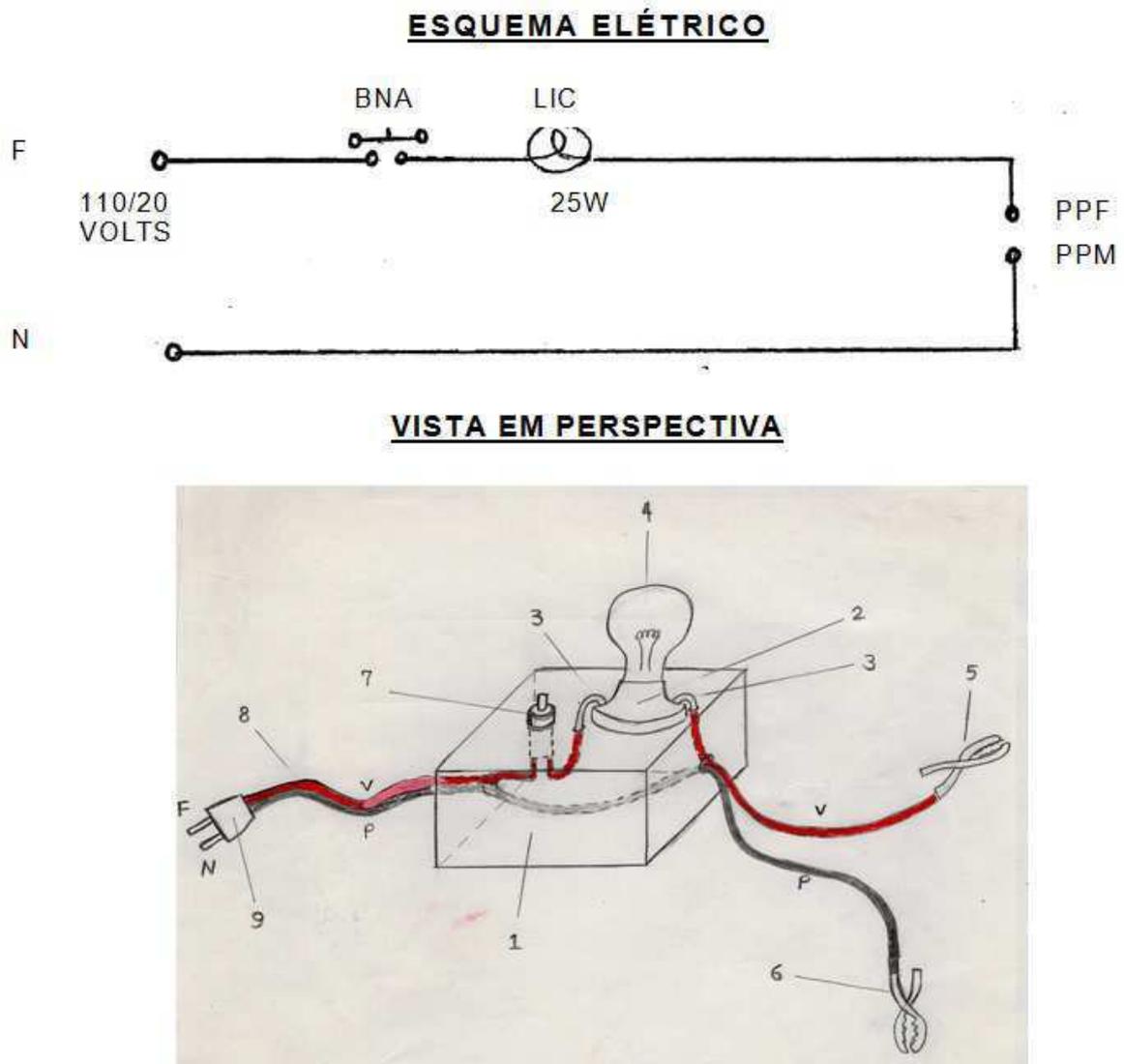


Figura 2.13: Testador de continuidade para vestimenta condutiva.

Fonte: CHESF, 1999.

2.1.2 A História dos Trabalhos Energizados na Chesf

Pelo fato de ser uma das mais antigas empresas do setor elétrico brasileiro, a história da Chesf confunde-se com a do próprio setor, por isso seus relatos podem ser considerados como espelho para os acontecimentos no setor elétrico no nosso país. Historiando as experiências da Chesf com trabalhos em instalações energizadas, pode-se dizer que se reflete a realidade do setor a nível nacional.

"O primeiro contato mantido pela Chesf com a técnica de manutenção em linha energizada de que se tem notícia, verificou-se no período de 26 de abril a 24 de outubro de 1959, na Electricité de France (EDF), por ocasião de um estágio feito pelo engenheiro Múcio Lacerda, que naquela época chefiava a Divisão de Linhas e Redes, responsável pela construção e manutenção das linhas e redes, na Empresa. Em 1961, a Chesf adquiriu um conjunto completo de bastões isolantes ainda de madeira. Vários testes mecânicos foram realizados com as instalações energizadas, incluindo uma visita de prospecção na Tennessee Valey authority, em 1962. Retirada as dúvidas acerca das questões mecânicas, restava se certificar da suportabilidade elétrica dos bastões. Para isso foi desenvolvida uma bancada de teste, que reprovou um dos bastões, adiando o sonho de realizar os primeiros trabalhos (CHESF, 1985)".

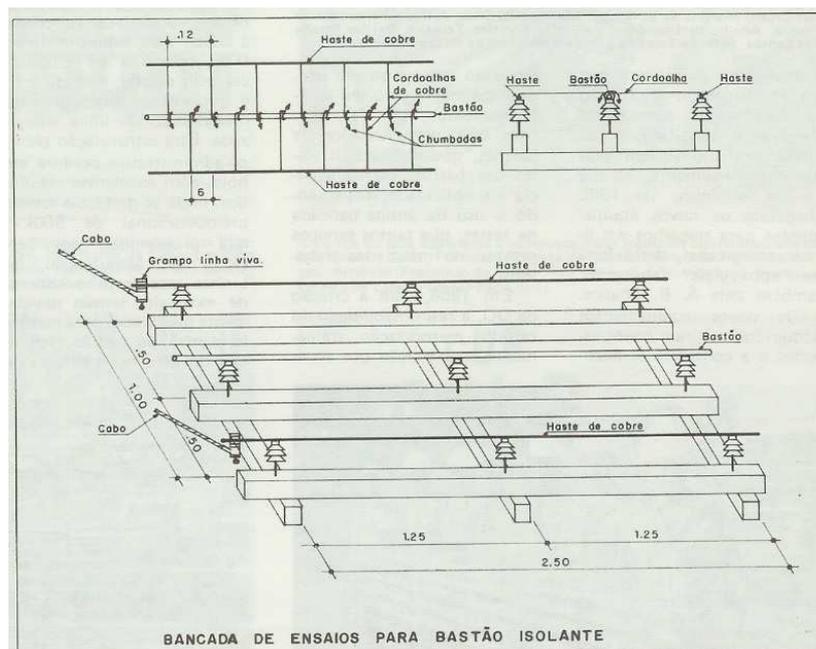
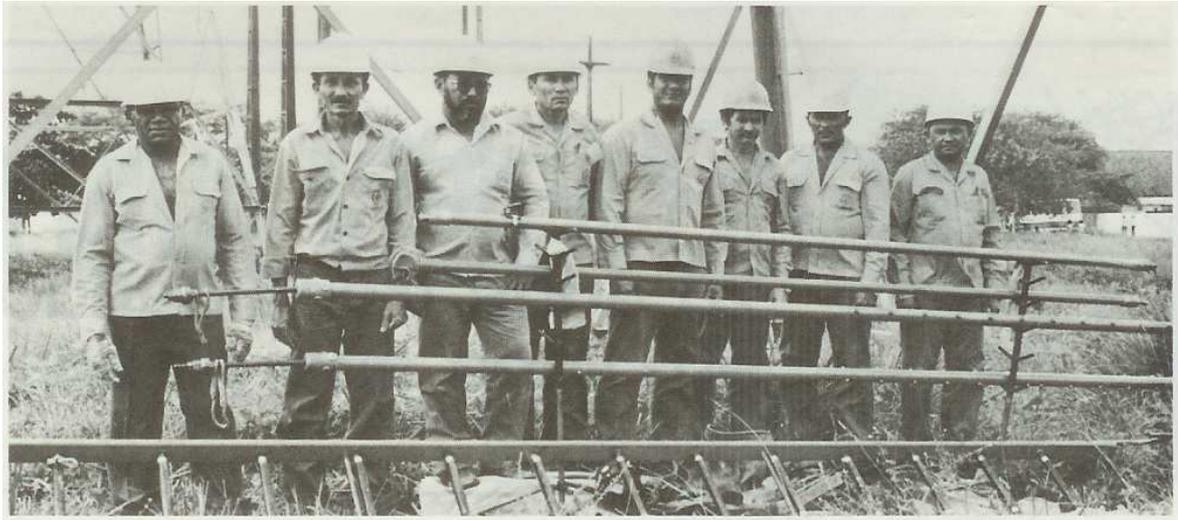


Figura 2.14: Bancada de teste de bastões.

Fonte: CHESF, 1985.

Novamente após visita a EDF, em 1965, finalmente ocorreu à primeira intervenção em instalação energizada do Brasil, na linha de transmissão de 69 kV Pau Ferro/Limoeiro PE, através da substituição de uma cadeia de isoladores.



Na foto acima, vê-se a turma pioneira nos trabalhos de LTE, na CHESF. Compunham a turma: Arnaud Inácio da Silva, José Inácio da Silva, Amaro Gomes Reis, Valdomiro Batista Soares e Pedro Caetano de Lima. Este último ausente da foto por haver falecido.

Figura 2.15: Primeiro trabalho com instalação energizada no Brasil.

Fonte: CHESF, 1985.

Em 1966, a Chesf troca todo seu material isolante de madeira pelos mais modernos de uma resina chamada Epoxi Glass, com instrumento Testador portátil em substituição as antigas bancadas. Um plano de preparação de outras equipes foi iniciado, e em 1984, a Chesf dispunha de 18 Turmas de Linha Energizada (TLE) espalhadas pelo Nordeste.

Depois de dominar a técnica para execução de serviços em linhas energizadas, sem interromper o fornecimento de energia, a Chesf iniciou os estudos para executar as atividades nas subestações, ocorrendo seu início em 1981. Os primeiros trabalhos com acesso ao potencial ocorreram em 1977.

2.1.3 A Distância de Segurança

Também conhecida como *Minimum Approach Distance (MDA)*, é a distância estabelecida como segura para execução de trabalhos em instalações energizadas, seja pelo método à distância ou ao potencial. No caso de se executar trabalhos pelo método à distância, o profissional deve manter-se distante do ponto energizado, no mínimo pelo valor

estabelecido como distância de segurança, que dependerá do nível de tensão envolvido. Analogamente, o profissional acessando o potencial, deve se manter distante das partes aterradas de acordo com a distância de segurança, estabelecida para o referido nível de tensão em questão. Em ambos os casos para o mesmo nível de tensão as distâncias são as mesmas, não importando se está ao potencial ou nas partes aterradas da estrutura. Para o caso de acesso ao potencial, outra distância é estabelecida, a distância de segurança entre as fases.

Com base na experiência da EDF, Tennessee Valey Authority e AB Chance, a Chesf estabeleceu, inicialmente, as distâncias de segurança descritas na Tabela 2.1. Na época apenas trabalhos à distância eram realizados.

Tabela 2.1: Distâncias de segurança adotada pela Chesf a partir de 1972.

NÍVEL DE TENSÃO FASE - TERRA (kV)	DISTÂNCIA (m)
69	0,9
138	1,10
230	1,50
500	3,30

Fonte: CHESF, 1985.

Conforme relatos do Engenheiro Gustavo Xavier (CHESF, 1985), o critério para a definição dessas distâncias foram:

$$D = a + b * f \quad (2.1)$$

Onde:

D = Distância de Segurança;

a = Valor fixo de 0,5 metros considerando invasão inadvertida;

b = Coeficiente de Segurança, geralmente 1,25;

f = Distância de ruptura Gap - Gap para $V_{50\%}$, considerando uma sobretensão de 2 a 3 pu, a depender do nível de tensão e proteções envolvidas.

O aparecimento dos laboratórios de alta tensão permitiu um melhor aprofundamento do assunto, através de estudos do setor e de órgão de segurança como a Occupational Safety and Health Administration (OSHA), a principal agência federal americana para tratar dos assuntos de Medicina e Segurança do trabalho. Algumas publicações, tais quais: (IEEE, 2009) e (IEC, 2004). Assim, o antigo Grupo de Coordenação para Operação Interligada (GCOI), definiu para as empresas da Eletrobrás as distâncias de segurança usadas até hoje.

Tabela 2.2: Distâncias de segurança do setor elétrico brasileiro.

TENSÃO NOMINAL (kV)	ELETRICISTA NO POTENCIAL PARA AS PARTES ATERRADAS (m)	ELETRICISTA NO POTENCIAL PARA AS FASES ADJACENTES (m)
69	0,95	0,95
138	1,10	1,55
230	1,55	2,55
500	3,40	6,10

Fonte: CHESF, 2010.

2.1.4 Tipos de Trabalhos em Instalações Energizadas

Existe uma infinidade de trabalhos a serem executados nas instalações energizadas, alguns deles podendo se executado pelos dois métodos, ao potencial e à distância. Alguns também usam as duas técnicas na mesma intervenção.

Os trabalhos mais comuns são:

A - Linhas de Transmissão

- Substituição de Isoladores em Cadeia Tipo "I", "V" e Ancoragem;
- Substituição de Ferragens das Cadeias de Isoladores;
- Reparo em espaçadores;
- Reparo em cabos condutores;
- Instalação e substituição de esferas de sinalização;
- Lavagem de Isoladores.

B - Subestações:

- Substituição de Isoladores em Cadeia Tipo "I" e Ancoragem;
- Desconexão e Reconexão de Pulos de Chaves;
- Reparos em Condutores;
- Manutenção em Conexões Elétricas;
- Retiradas de Pontos Quentes.

2.1.5 Linha de Mão

Também conhecida como mão de linha, é um item comum a todas as intervenções energizadas, bem como as desenergizadas. Serve para içar e descer material, equipamentos e ferramentas, do solo a estrutura e desta ao solo novamente. Isso por que em sua grande maioria os trabalhos são realizados nos componentes das linhas de transmissão e subestações que estão a certa altura do solo.

Em geral possuem capacidade mecânica de 400 kg e são feita de seda ou sizal, sendo mais comum a primeira. Não tem suportabilidade elétrica para os níveis de tensão envolvidos nos trabalhos em instalações energizadas, por isso igualmente ao eletricitista também deve respeitar a distância de segurança, no caso distante do potencial elétrico, tido que está aterrada, pois fica conectada a estrutura que tem potencial de terra (CHESF, 2013).

2.1.6 Substituição de Isoladores em Cadeia de Suspensão tipo "I" - Método a Distância

Este tipo de trabalho representa um grande percentual dos trabalhos em instalações energizadas realizados pela Chesf. Para tanto a equipe envolvida é composta de 6 (seis) eletricitistas e 1 (um) encarregado e gasta de 45 minutos a 1 hora para efetuar o referido trabalho, estando já na estrutura.

Normalmente em uma intervenção, escalam 3 (três) eletricitistas e os demais ficam no solo efetuando apoio. É importante frisar que será descrita a técnica para linhas de transmissão com nível de tensão de 230 kV. Para o caso de linhas de transmissão de 500 kV, o procedimento é similar, variando apenas as distâncias envolvidas, a quantidade de isoladores e o tipo de julgo (ver Figura 2.19) usado no lado linha.

Antes do início do trabalho propriamente dito, algumas tarefas de preparação são necessárias, tais como:

- Limpeza da Área;
- Preparação do Material.

A limpeza da área por vezes é necessária, pois em alguns casos a vegetação no local de trabalho deve ser removida.

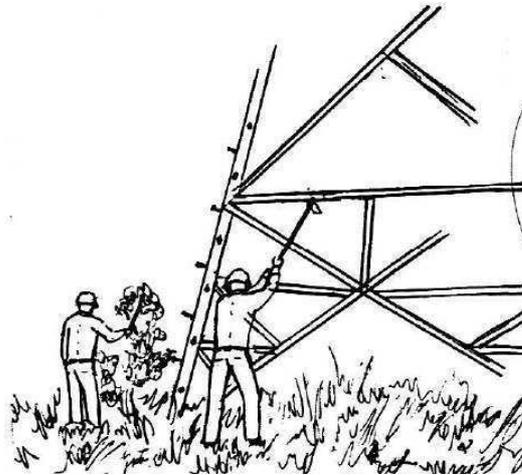


Figura 2.16: Limpeza do local.

Fonte: CHESF, 2008.

Com o local limpo é iniciada a preparação do material para início da intervenção. Nesse instante todas as ferramentas, equipamentos e materiais necessários à intervenção são dispostos sobre uma lona, para não acumular sujeira. São limpos os bastões isolantes, preparadas as ferramentas, vestidos os cintos de segurança, analisadas as condições meteorológicas, enfim após essas etapas os trabalhos são de fato iniciados.

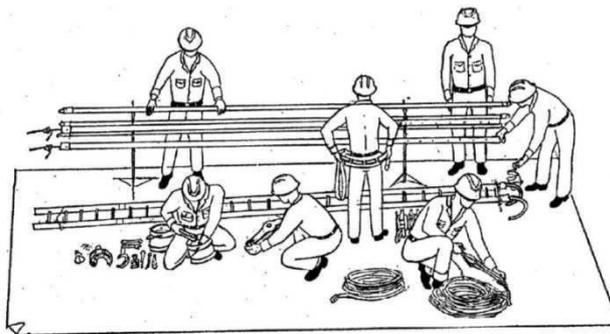


Figura 2.17: Preparação para o trabalho.

Fonte: CHESF, 2008.

O primeiro passo é a escalada da estrutura, que pode ser de até 80 metros. Todo o procedimento de escalada é normatizado pela instrução de manutenção da Chesf IM-MN-LT-M.080 – Técnicas de Trabalhos em Altura. No processo o primeiro electricista escala a estrutura levando consigo a linha de vida. Ao chegar ao ponto desejado o referido electricista iça a linha de mão usando a linha de vida e instala ambas para que os demais electricistas escalem a estrutura, sempre respeitando a distância de segurança estabelecida. A linha de vida será usada como equipamento de segurança, em caso de queda, para os dois próximos electricistas que irão escalar a estrutura. Eles estão conectados a linha de vida por meio de trava quedas. A linha de mão será responsável por içar o material até o local da intervenção e depois descê-lo ao solo.

Já no alto da estrutura, os electricistas se posicionam para receber todos os equipamentos e materiais para a substituição dos isoladores.

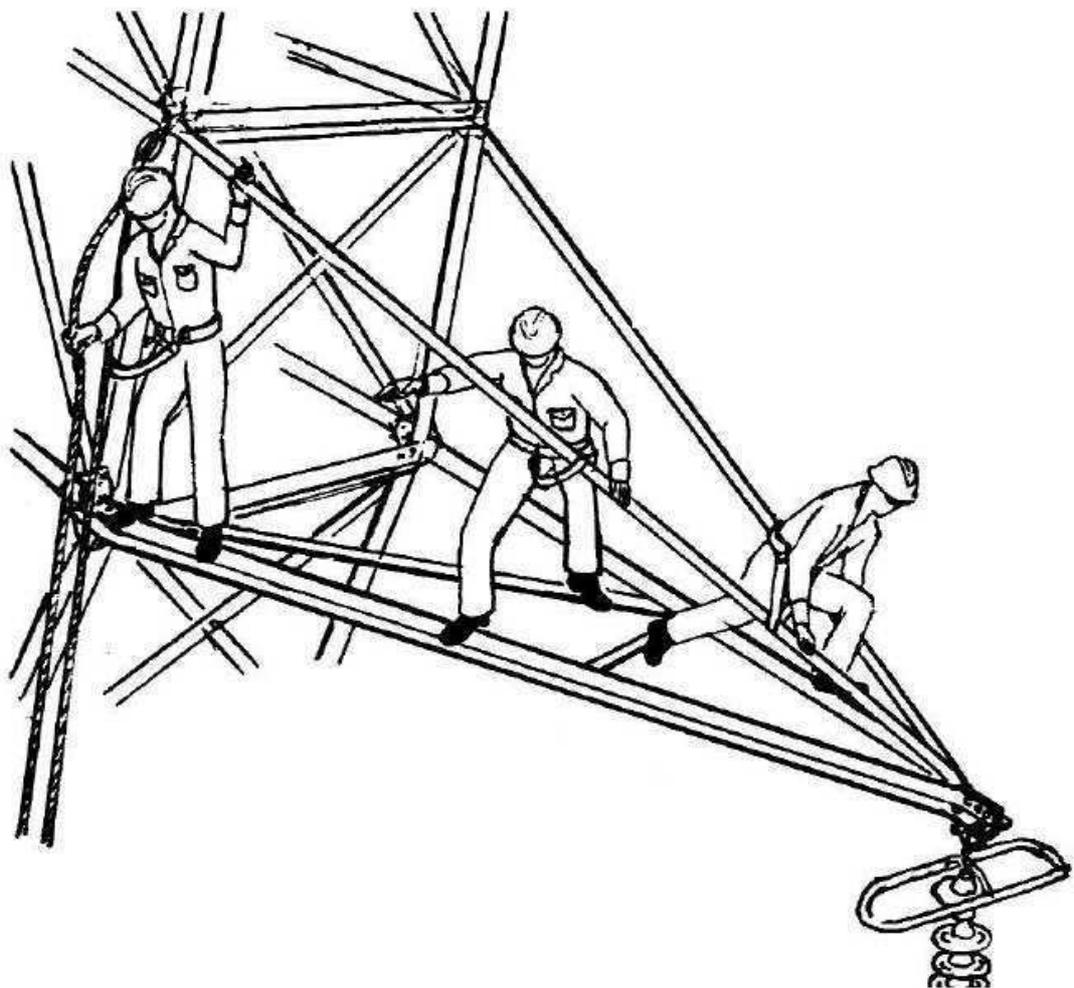


Figura 2.18: Electricistas posicionados no alto da estrutura.

Fonte: CHESF, 2008.

O primeiro electricista que escalou a estrutura vai instalar o julgo¹ na ponta da mísula². O julgo será responsável por dar o devido suporte na ponta da mísula e assim, juntamente com os bastões isolante tensores, suspender o cabo. A mísula é uma espécie de braço da estrutura que dá distanciamento horizontal do cabo à própria estrutura.

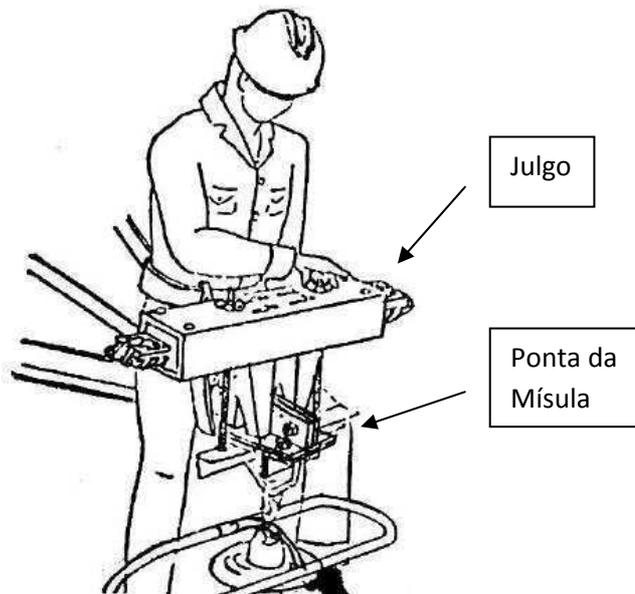


Figura 2.19: Instalação do julgo na ponta da mísula.

Fonte: CHESF, 2008,

Em seguida é instalada a escada isolante que ficará aproximadamente 2 metros de distância do ponto energizado, respeitando assim a distância de segurança que no caso do nível de tensão de 230 kV é 1,55 metros.

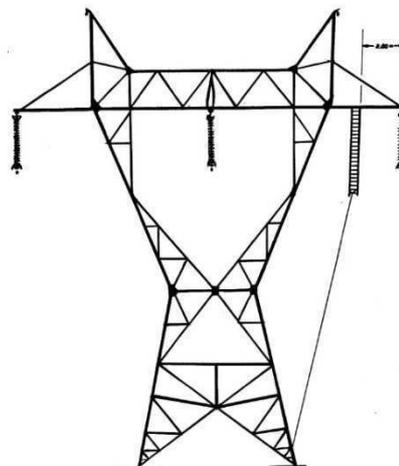


Figura 2.20: Instalação da escada isolante.

Fonte: CHESF, 2008..

1 Julgo: Peça que serve para apoiar os bastões tensores que suspendem o cabo. O mesmo apóia-se na ponta da mísula.
2 Mísula: É o braço que sai da estrutura para afastar o cabo com distância necessária para evitar descargas elétricas.

O próximo passo é instalar o retângulo de força o qual é composto por dois bastões isolantes tipo tensores que juntamente com o jugo irão suspender o cabo deixando a cadeia livre do ponto de vista mecânico. Em geral, o retângulo de força desloca um peso de uma tonelada.

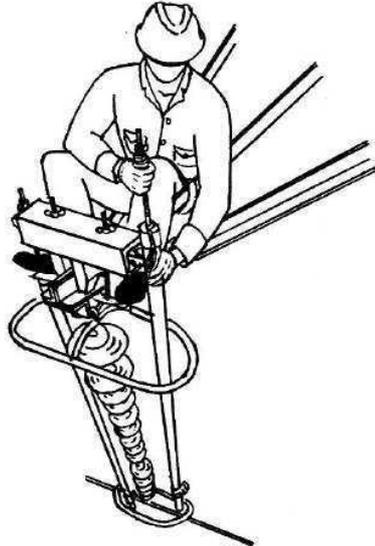


Figura 2.21: Instalação do retângulo de força.

Fonte: CHESF, 2008.

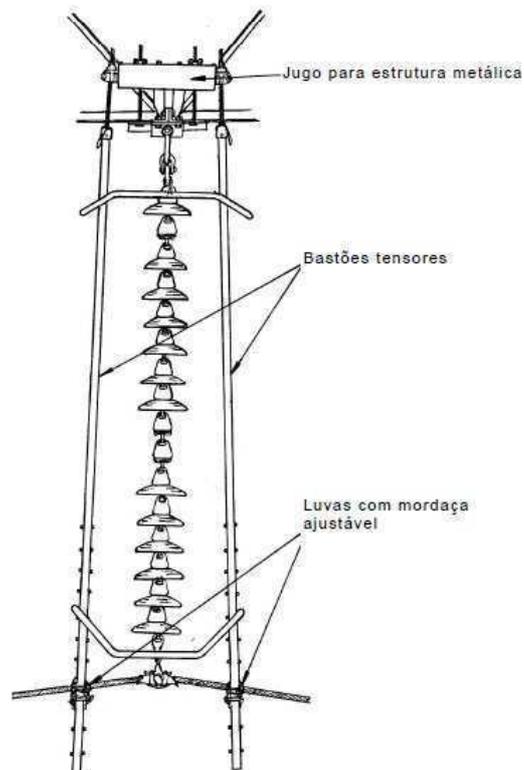


Figura 2.22: Retângulo de força.

Fonte: CHESF, 2008.

Neste instante está tudo preparado para a próxima etapa, que é sacar as cupilhas dos isoladores, que são responsáveis por garantir com segurança a formação da cadeia de isoladores e permitindo que os isoladores façam pequenos deslocamentos por causa do balanço do cabo, não transferindo as vibrações à torre. De três em três isoladores o electricista de montagem vai sacando suas cupilhas .

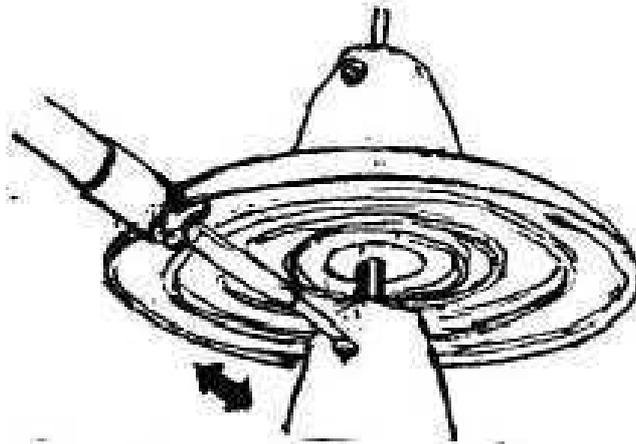


Figura 2.23: Cupilha sendo sacada do isolador.

Fonte: CHESF, 2008.

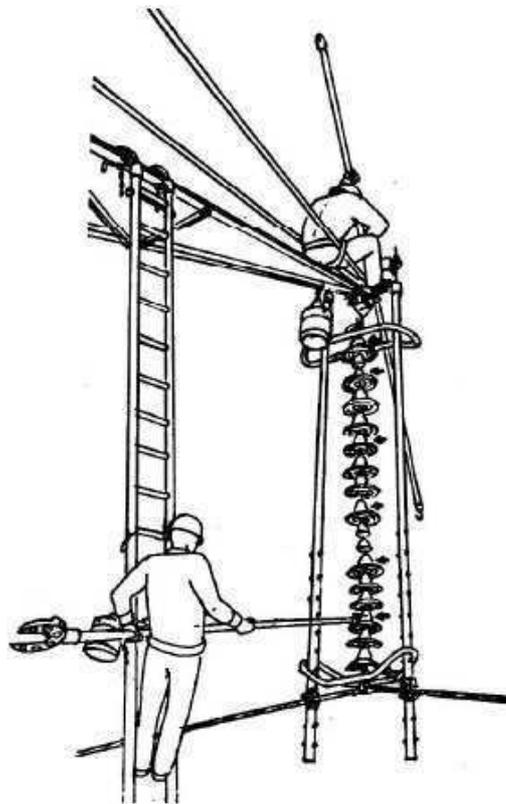


Figura 2.24: Electricista de montagem sacando as cupilhas.

Fonte: CHESF, 2008.

O eletricitista de topo, na ponta da mísula realiza a tarefa de pegar o peso do cabo através de chaves catracas que girando um fuso conectado ao bastão tensor vai erguendo o cabo, liberando seu peso da cadeia.

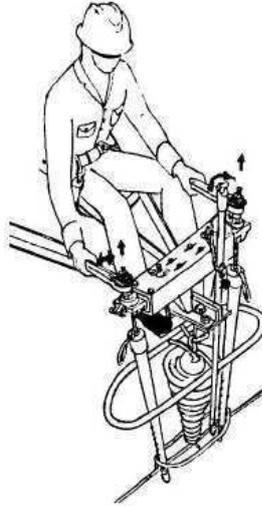


Figura 2.25: Eletricitista de topo pegando peso dos cabos.

Fonte: CHESF, 2008.

Uma vez o peso do cabo todo transferido para o retângulo de força a cadeia de isoladores está livre para ser desmontada e levada ao solo para reposição.

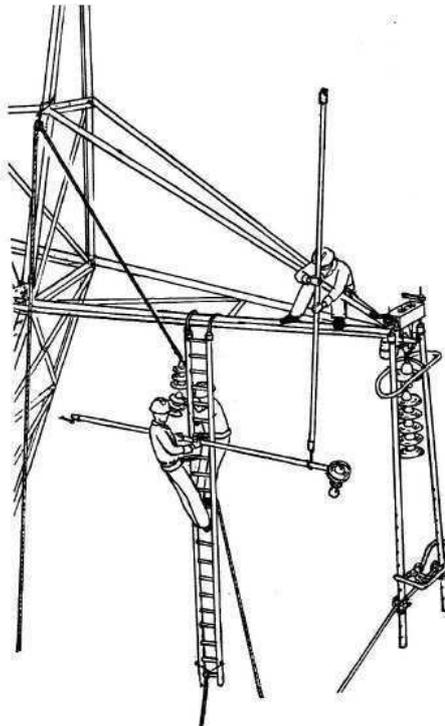


Figura 2.26: Desmontagem da cadeia.

Fonte: CHESF, 2008.

O processo de desmontagem segue sempre de 3 (três) em 3 (três) isoladores até completar 9 (nove) unidades que serão descida ao solo para que novos isoladores em perfeito estado sejam içados. Isso se repete até que os 16 (dezesesseis) isoladores sejam substituídos.

À medida em que os isoladores vão sendo substituídos, a cadeia vai sendo montada e o retângulo de força é desfeito. Neste momento todas as ferramentas, equipamentos e materiais são descidos para em seguida haver o deslocamento dos eletricitas e conclusão da intervenção.

2.1.7 Instalação de Esfera de Sinalização

As esferas de sinalização são importantes componentes das linhas de transmissão que servem para sinalizar a presença de cabos que cruzam rodovias, rios, outras linhas e etc. Elas orientam o trânsito aéreo, seja em caso de emergência, onde haja a necessidade de pousar em rodovias ou mesmo para orientar os helicópteros das próprias empresas, que realizam inspeção nas referidas linhas de transmissão, evitando choques com os cabos. A instalação das esferas de sinalização é realizada no cabo para-raios que percorre toda a extensão da linha de transmissão, sendo o ponto mais alto da mesma.

A NBR 7276 – Sinalização de advertência em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica – Procedimento, estabelece os critérios para colocação de esfera de sinalização em linhas de transmissão. Por vezes, principalmente em linhas antigas, ou pelo surgimento de novas rodovias ou mesmo outra linha que cruza a já existente, é necessário instalar novas as esferas de sinalização.

Atualmente a Chesf instala esfera de sinalização com utilização de cordas, que não são isolantes. Para tanto é necessário garantir que a corda não feche arco entre o ponto aterrado (cabo para-raios) e as fases energizadas. Duas configurações são possíveis nesse trabalho: as linhas de circuito simples, onde os cabos condutores estão na horizontal e circuito duplo, onde de um lado existem três fases na configuração vertical e mais três do outro lado em mesma configuração. Em ambos os casos o cabo para-raios onde serão instaladas as esferas, apesar de distante a uma altura segura das fases, pode ser conectado eletricamente caso uma corda que esteja conectada ao cabo para raio entre em contato com uma das fases. Para se evitar isso secciona-se a corda com bastonetes isolantes de 10 mm de diâmetros (canela de siriema). Outra preocupação é o cruzamento com outras linhas energizadas, onde antes deve ser realizada a instalação de um obstáculo que impeça o contato da corda com as partes

energizadas, ou havendo a impossibilidade de evitar esse contato que seja adicionada mais bastonetes isolantes conectados em série com a corda.

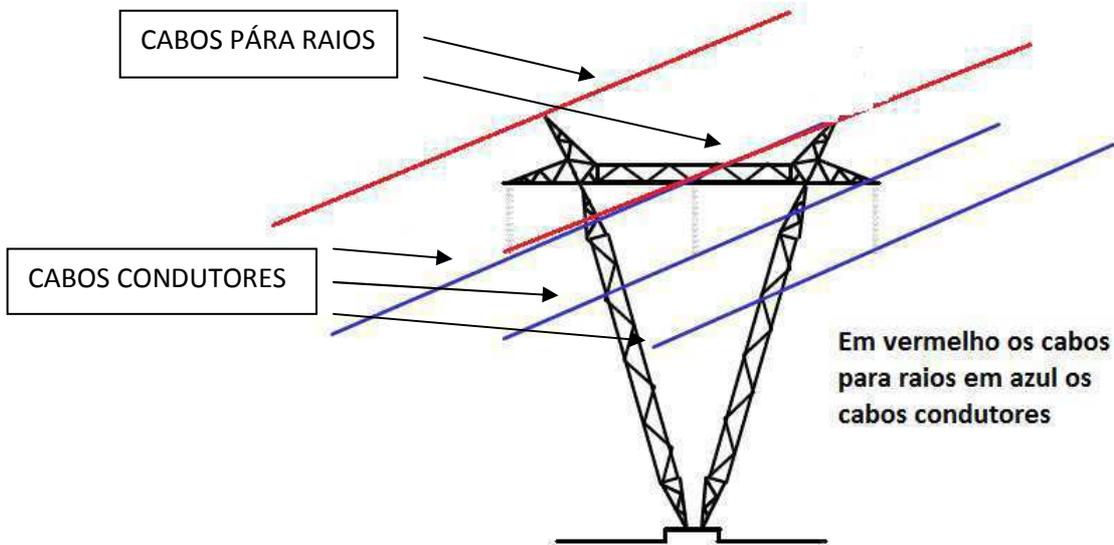


Figura 2.27: Circuito horizontal.

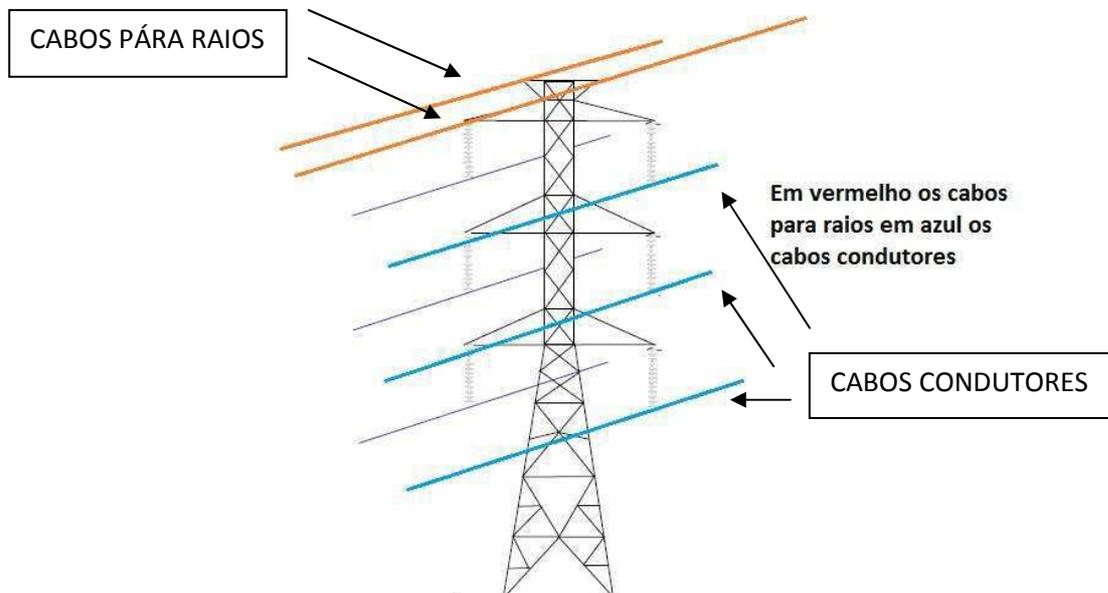


Figura 2.28: Circuito vertical.

O processo de instalação é simples, dois eletricitistas escalam a estrutura e conecta a esfera ao cabo para-raios. Conectada a ela existe uma corda para que o pessoal de solo possa movimentá-la até o ponto desejado, onde é puxada e travada definitivamente no cabo para-raios. A corda é então liberada quando o processo é concluído, pois sua conexão a esfera é realizada através de um nó que permite ser desfeito, bastando para isso retirar a tração entre ele e a esfera.



Figura 2.29: Instalação da esfera no cabo para-raios.



Figura 2.30: Descolamento da esfera pelo cabo para-raios.

2.2 Dielétricos

Os materiais possuem três estados: Sólido, Líquido e Gasoso. Apenas o primeiro será discutido nas linhas abaixo.

De acordo com (BOGODORÓDITSKI, 1988), os materiais elétricos, ou de modo mais preciso, materiais usados em eletricidade, são basicamente classificados sob dois pontos:

- O elétrico: Condutores, Semicondutores e **Isolantes (Dielétricos)**;
- O magnético: Ferromagnéticos, Diamagnéticos e Paramagnéticos.

Os materiais Isolantes ou Dielétricos desempenham um papel importante na eletrotécnica, pois devido a suas características, permitem isolar condutores entre partes aterradas ou entre eles mesmos. Mesmo possuindo uma grande capacidade de isolamento elétrico, os materiais isolantes também conduzem a corrente elétrica. O desejável é que essa condução seja a menor possível, no sentido de evitar fechamento de arcos, ruptura de rigidez dielétrica com desligamento de instalações e a própria destruição do dielétrico, enfim, é ideal que o dielétrico mantenha separada as diferenças de potências envolvidas nos processos.

2.2.1 Condutividade Elétrica

A Resistência Elétrica é uma grandeza que quantifica a dificuldade oferecida à passagem da corrente, quando entre dois pontos é aplicada uma tensão (diferença de potencial). Em 1827, o físico alemão George Simon Ohm, formulou, a hoje famosa Lei de Ohm que relaciona as três principais grandezas elétricas, Resistência (R), Tensão (V) e Corrente (i).

$$R = \frac{V}{i} \quad (2.2)$$

onde:

R - Resistência Elétrica em ohms (Ω);

V - Tensão Elétrica ou ddp (diferença de potencial) em volts (V);

i - Corrente elétrica em ampere (A);

No entanto, quando deseja-se comparar diferentes materiais, é mais comum utilizar os valores de Resistividade Elétrica, pois essa é intrínseca ao material e depende de sua estrutura interna, exprimindo a dificuldade que os materiais oferecem a passagem da corrente, quando sobre eles é aplicada uma tensão elétrica. A relação entre a grandeza Resistência e a propriedade Resistividade é apresentada na Equação 2.3, conhecida como segunda lei de Ohm.

$$R = \rho \cdot \frac{l}{A} \quad (2.3)$$

onde:

R - Resistência Elétrica em ohms (Ω);

ρ - Resistividade Elétrica em ohms metro ($\Omega \cdot m$);

l - Comprimento do material em metros (m);

A - Área da secção reta perpendicular a direção da corrente em metro quadrado (m^2).

Analogamente a Condutividade Elétrica, outra importante propriedade, que classifica os materiais como: Condutores, Semicondutores e Isolantes (Dielétricos), é o grau de facilidade que os materiais oferecem a passagem da corrente.

- Condutores - acima de $10^4 (\Omega \cdot m)^{-1}$
- Semicondutores - 10^4 a $10^{-6} (\Omega \cdot m)^{-1}$
- Isolantes - abaixo de $10^{-6} (\Omega \cdot m)^{-1}$

Matematicamente a Condutividade Elétrica é o inverso da Resistividade Elétrica.

$$\sigma = \frac{1}{\rho} \quad (2.4)$$

onde:

σ - Condutividade Elétrica em o inverso de ohm por metro ($\Omega \cdot m$)⁻¹;

2.2.2 Correntes nos Dielétricos

As correntes que circulam por um dielétrico é de baixa amplitude, por isso comumente é chamada de corrente de fuga. Ela pode ser decomposta em 3 componentes:

- Corrente Volumétrica
- Corrente Superficial
- Corrente de Polarização

A Corrente Volumétrica: Flui internamente pelo material, sendo função da tensão aplicada sobre o mesmo e a sua Resistência Volumétrica, que é própria do material e corresponde a parcela de isolamento referente à estrutura interna do material. Seu cálculo é dado por:

$$R_v = \alpha_v * h/S \quad (2.4)$$

onde,

R_v = Resistência Volumétrica (Ω)

α_v = Resistividade Volumétrica ($\Omega * m$)

h = Espessura do corpo de prova (m)

S = Secção do corpo de prova (m^2)

Tabela 2.3: Resistividades Volumétricas típicas.

MATERIAL	RESISTÊNCIA ($\Omega * cm$)
Condutores	10^{-12} a 10^{-6}
Semicondutores	10^{-6} a 10^{10}
Isolantes	10^{10} a 10^{20}

Fonte: COSTA, 2012.

A Corrente Superficial: Só ocorre nos isolantes sólidos. Diferente da volumétrica pode ser alterada em função da exposição do material ao ambiente e conseqüente acúmulo de contaminantes e umidade, formando um novo caminho para a corrente. A Resistência

Superficial corresponde à parcela de isolamento referente à superfície do material, podendo ser alterada devido à exposição ao ambiente, através de contaminantes e umidade. Seu cálculo é dado por:

$$R_s = \alpha_s * h/S \quad (2.4)$$

Onde,

R_s = Resistência Superficial (Ω)

α_s = Resistividade Superficial ($\Omega * m$)

h = Espessura do corpo de prova (m)

S = Secção do corpo de prova (m^2)

A Corrente de Polarização: Só ocorre nos isolantes, pois nestes, a presença de campo elétrico (aplicação de tensão) provoca o deslocamento das cargas sem liberá-las dos átomos ou moléculas, tendo como consequência a formação de dipolos elétricos formando uma polarização.

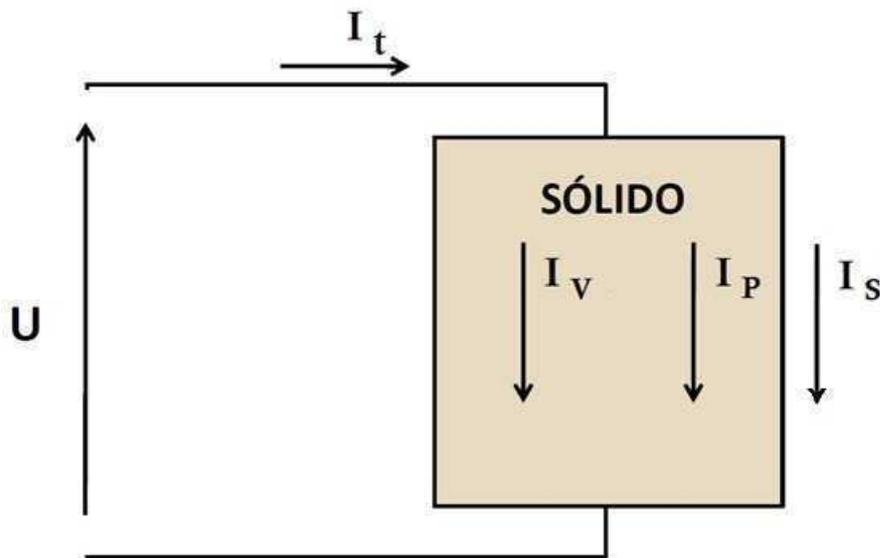


Figura 2.31: Correntes em isolantes sólidos.

Fonte: COSTA, 2012.

Para o caso dos isoladores aplicados em instalações elétricas, a corrente superficial corresponde a maior componente da corrente total (I_t) que circula pelo isolador, pois ao

contrário das demais sofre as influências externas dos contaminantes e umidade aos quais as instalações elétricas estão expostas. Possui caráter ôhmico.

Conforme (LUNA, 2006), alguns fatores exercem influência significativa na condutividade dos sólidos, tais quais:

- Impurezas contida no material;
- Imperfeições estruturais;
- Condições térmicas;
- Natureza do campo elétrico aplicado;
- Umidade;
- Estado da superfície do dielétrico.

Os dois primeiros relacionados à corrente volumétrica e os dois últimos a corrente superficial.

2.2.3 Rigidez Dielétrica

Segundo do dicionário brasileiro de eletricidade “a rigidez dielétrica é uma propriedade que um dielétrico tem de se opor a uma descarga disruptiva, medida pelo gradiente de potencial sobre o qual se produz essa descarga, ou seja, é o valor limite do campo elétrico suportável pelo dielétrico antes que ocorra sua ruptura elétrica”. Essa ruptura produz a destruição parcial ou total do dielétrico de forma irreversível e pode ser pela superfície do material ou internamente quando ocorre sua perfuração.

Ruptura da Rigidez Dielétrica em Alguns Materiais			
Material	Rigidez (MV/m)	Material	Rigidez (MV/m)
ar	3	papel	14-16
ambar	90	polietileno	500-700
baquelite	12	poliestireno	400-600
diamante	10	cloreto de polivinil (pvc)	40
Vidro: pyrex 7740	13-14	porcelana	12
Mica	160	quartzo	8
nylon	14	borracha, neoprene	12
óleo: silicone	15	Titanato de estrôncio	8
Óleo: transf.	12	teflon	60
Pol. Silicone	20	Dióxido de titânio	6

Figura 2.32: Rigidez Dielétricas típicas.

Fonte: RODRIGUES, 2013.

Seria muito simples utilizar os valores já calculados e conhecidos de rigidez dielétrica dos materiais e definir se seria possível aplicá-los nas instalações elétricas de alta tensão. Como exemplo, pode-se usar o náilon que possui rigidez dielétrica de 14 kV/cm (ver Figura 2.31) e que com apenas 10 cm isolaria o potencial de uma linha de 230 kV, na sua tensão fase terra que é de aproximadamente 133 kV. Na verdade os 10 cm seriam suficientes para que o nylon suportasse a diferença de potencial ao qual foi submetido, no entanto e como regra geral as instalações elétricas estão expostas ao ar livre e a rigidez dielétrica desse gás é bem menor do que a do nylon, sendo de 3 kV/cm. Assim a descarga ocorreria pelo ar, pois para o nível de tensão citado é necessário ter no mínimo 44 cm de espaçamento entre o ponto energizado e o potencial de terra.

É muito comum utilizar a expressão rigidez dielétrica para atribuir o conceito de suportabilidade elétrica que possui diferenças. O termo suportabilidade elétrica é mais completo, no sentido de que representa a capacidade de um dielétrico resistir às solicitações elétricas possíveis de ocorrerem na instalação ao qual ele será aplicado, tais quais, tensão nominal da instalação e impulso de tensão, seja por descarga atmosférica, seja por surto de manobra.

2.2.4 Descargas Elétricas

As descargas elétricas são eventos indesejados que ocasionam saídas transitórias ou temporárias em instalações elétricas, podendo causar acidentes, interrupção do fornecimento de energia, enfim, evita-se ao máximo sua ocorrência. Pode-se ser entendida como a ruptura elétrica através do meio isolante.



Figura 2.33: Descarga em isolador realizada no laboratório do Cepel.

Para o caso dos dielétricos usados nos equipamentos eletrotécnicos, mais especificamente os de alta tensão, o meio isolante compreende além do próprio isolador, também o ar, tido que nessas instalações, todos os equipamentos, cabos, isoladores, ficam expostos ao ar livre. Na grande maioria dos casos as descargas se dão por causa do aumento da corrente superficial, ocasionada pela contaminação e umidificação da superfície do isolamento. As correntes volumétrica e de polarização são menos significativas nesse processo, podendo, no entanto contribuir mais fortemente em alguns caso. Dessa forma a superfície dos dielétricos é o ponto mais importante a ser preservado de forma a evitar as descargas. Através das análises realizadas por diversos tipos de inspeções, esses isolamentos podem ser reparados através de manutenções, tais quais, substituição e lavagem de isoladores. Procura-se preventivamente restabelecer a condição isolante dos isoladores.



Figura 2.34: Vista de cima da Subestação de 230 kV- Juazeiro II.

Observando pela ótica da rigidez dielétrica, também se pode inferir que para o caso de uma linha de transmissão com nível de tensão de 230 kV e que possui em média 2 metros de distância entre o cabo energizado e o ponto aterrado mais próximo, podemos tranquilamente aplicar entre esses pontos um fio de nylon, dado que sua rigidez dielétrica é quase cinco vezes superior a do ar. No entanto o ar possui uma característica desejável, no que diz respeito a exposição das instalações ao ambiente. Ele possui baixa densidade e com isso, mesmo havendo chuva ou aumento significativo da umidade relativa do ar (acima de 50%) ele não forma caminho para a água, não existe disrupção pelo ar, exceto quando a falha no isolamento diminui a distância fase terra. Os dielétricos sólidos devido a sua grande densidade oferecem caminho para a umidade. Por isso não podem ser expostos ao ar livre sem

antes serem tomadas as devidas medidas, entres elas, retirada da rugosidade da superfície, aumento da distância de escoamento com dobramentos das superfícies (nervuras), aplicação de vernizes, limpeza da superfície, etc.

Em geral as descargas elétricas ocorrem pelo ar, sendo obviamente iniciadas através de falha do meio isolante. As principais causas são a contaminação do meio isolante associada à presença de umidade, fazendo com que a distância entre o ponto energizado e o parte aterrada seja diminuída através da falha parcial do isolamento na superfície do dielétrico.

De forma sintética, a descarga ocasionada pela contaminação da superfície de um isolador associada à sua umidificação, ocorre da seguinte forma:

- Ocorre o carregamento, através do vento, de contaminantes do solo, resíduos industriais, entre outros até os isolamentos, que por estarem submetidos a um elevado campo elétrico atraem com mais facilidade essas partículas que ficam impregnadas na sua superfície;
- A umidade do ambiente, ocorrência de névoa ou chuva fina, dissolvem os resíduos sólidos que a depender de sua composição química criam uma camada condutora na superfície do isolador;
- Inicia ao aumento da circulação da corrente superficial aquecendo a superfície do isolador secando determinadas áreas, criando as bandas secas com elevada resistência elétrica;
- Sobre essas bandas secas de poucos centímetros diferença de potencial são estabelecidas ao ponto de gerarem descargas que ultrapassam essa região ficando em série com o restante do isolamento;
- As descargas pelas bandas secas vão se tornando cada vez maiores ao ponto de ocasionar uma descarga elétrica.

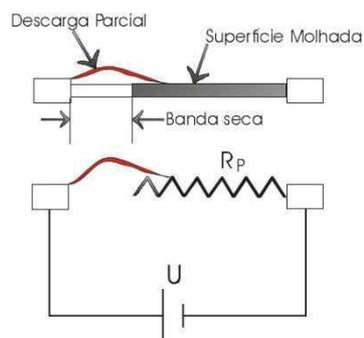


Figura 2.35: Banda seca com diminuição da distância de isolamento.

Fonte: BEZERRA, 2002.

2.2.5 Tipos de Isoladores em Instalações Elétricas

Mesmo parecendo obvio, vale relatar que as funções dos isoladores nas instalações elétricas são permitir a suportabilidade mecânica entre o meio condutor e o ponto aterrado e ao mesmo tempo isolar esses dois pontos eletricamente, ou seja, fornecer também a suportabilidade elétrica.

Em relação à Suportabilidade Mecânica, entende-se por toda a resistência a:

- Tração ou compressão;
- Impacto de objetos lançados por terceiros;
- Choques térmicos;
- Balanços de ventos;
- Solicitações mecânicas por curto circuito.

Já em relação à Suportabilidade Elétrica, entende-se por toda resistência a:

- Tensões nominais em frequência industrial (60 hz) a seco e sob chuva;
- Tensões de impulsos sejam de origem das descargas atmosféricas ou de surtos de manobra;
- Tensão de perfuração (rigidez dielétrica);
- Descargas corona e parciais.

Outros aspectos importantes dos isoladores são:

- Isolamento interno e externo;
- Isolamento autorecuperável ou não;
- Distância de arco;
- Distância de escoamento.

A distância de arco está relacionada com a tensão em regime permanente em frequência industrial, em outras palavras é a distância necessária para afastar o ponto energizado do ponto aterrado. A distância de escoamento, no entanto, está mais ligada as tensões de impulso, sejam por descarga atmosférica, sejam por surtos de manobras.

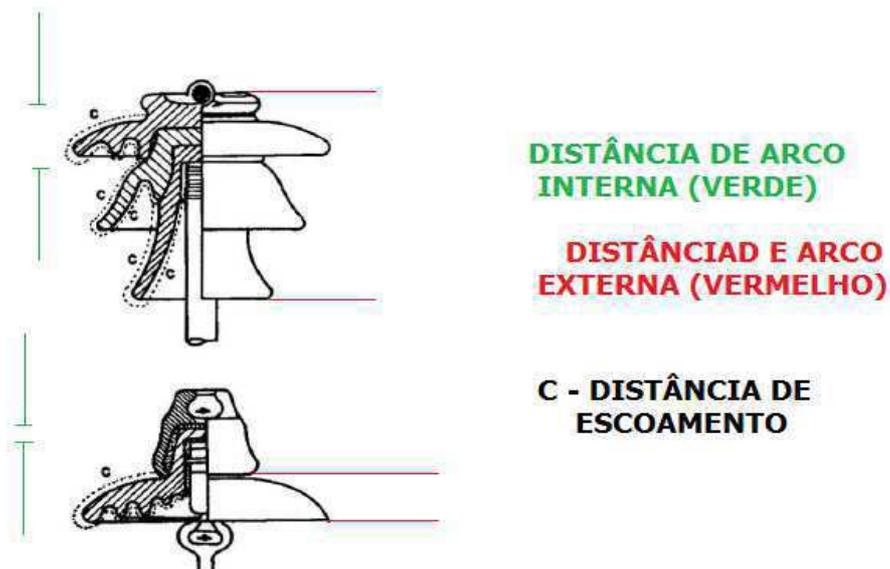
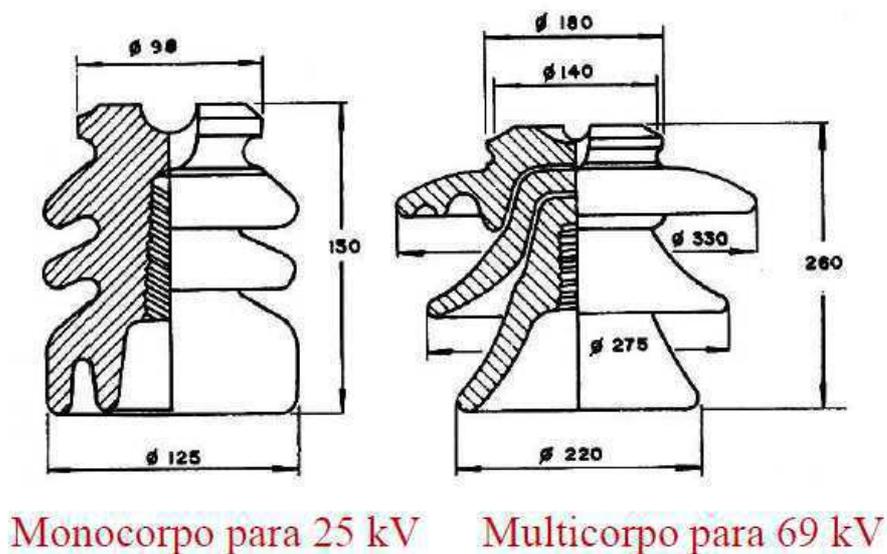


Figura 2.36: Distâncias envolvidas no isolamento.

Conforme (FUCHS, 1977), os isoladores podem ser divididos em:

- Tipo Pino;
- Tipo Pilar;
- Tipo Suspensão.

Isoladores Tipo Pino: Fixados a estrutura através de um pino de aço galvanizado. À extremidade desse pino, que possui uma rosca, é encaixado o isolador propriamente dito. São normalmente solicitados a compressão e flexão e muito usados na distribuição em 13,8 kV.



Monocorpo para 25 kV

Multicorpo para 69 kV

Figura 2.37: Isoladores tipo pino.

Fonte: Fuchs, 1977.

Isoladores Tipo Pilar: Muito usados em subestações, são extremamente robustos a compressão, podendo ser classificados em Pedestal, Multicorpo e Monocorpo.

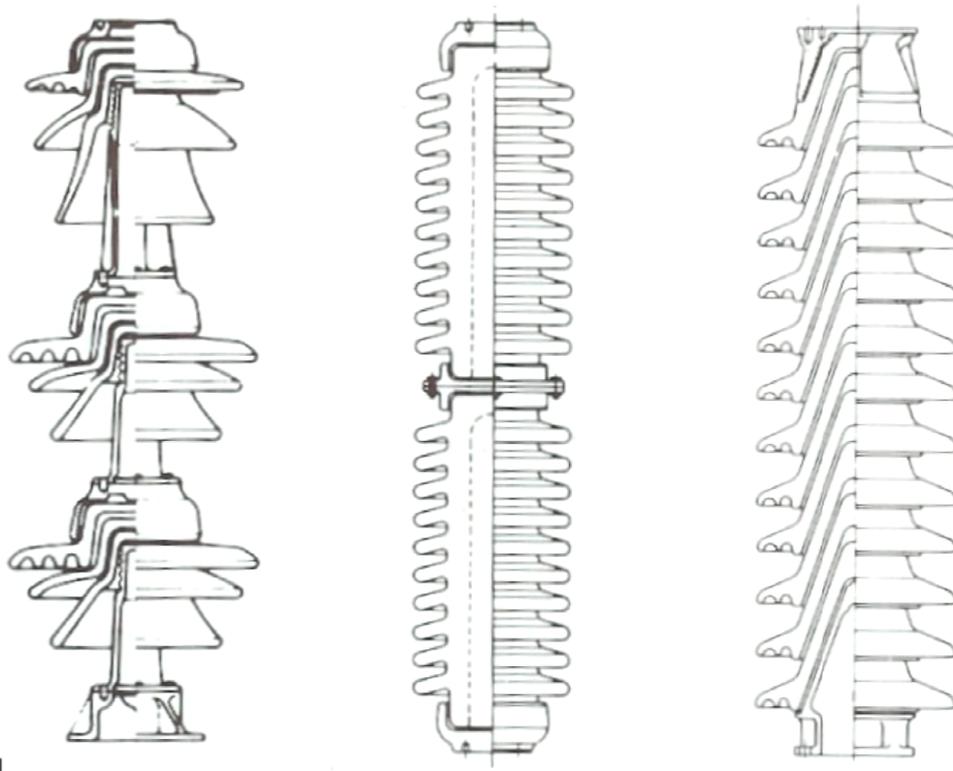


Figura 2.38: Isoladores tipo pilar pedestal (esquerda), monocorpo (centro) e multicorpo (direita).

Isoladores Tipo Suspensão: Muito usado em linhas de transmissão, onde possui grande resistência mecânica a tração e ao mesmo tempo permite pequenos balanços, condição preponderante em linhas de transmissão. São de dois tipos: Disco e Polimérico (composto / orgânico).

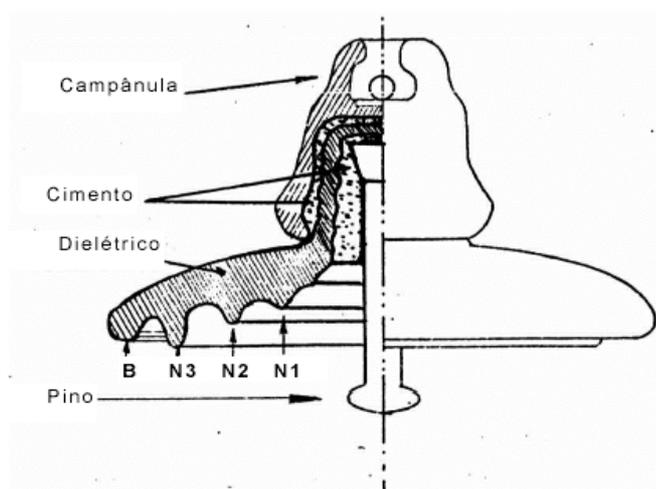


Figura 2.39: Isolador de disco típico.

2.2.6 Materiais Dielétricos usados em Alta Tensão

Conforme (RODRIGUES, 2013), o efeito dos isolantes nos sistemas elétricos é desprezível do ponto de vista de perdas ou da participação na impedância do sistema. A escolha e dimensionamento dos componentes de isolação são regidos especialmente pela confiabilidade (baixa taxa de falhas), durabilidade e custo.

Os principais tipos de materiais sólidos utilizados como isolantes nas instalações elétrica são:

- Cerâmicas (porcelana, vidro);
- Polímeros;
- Resinas (Epoxi).

As Cerâmicas foram os primeiros materiais utilizados como isolamentos nas instalações elétricas. “As primeiras porcelanas utilizadas como materiais elétricos surgiram a partir de 1830 (Liebermann, 2000), quando as linhas telegráficas passaram oferecer uma demanda por isoladores elétricos. Os primeiros isoladores tinham a forma de blocos de vidro (Guthrie, 1997), e com o passar do tempo adquiriram outros desenhos, tornando-se peças fundamentais em várias outras áreas. Telefonia, estruturas com antenas, para-raios, transmissão e distribuição de energia são algumas aplicações destes materiais isolantes. Na Figura 2.40, podem-se observar alguns dos primeiros modelos de isoladores.” (FERREIRA, 2011).



Figura 2.40: Modelos de isoladores antigos.

Fonte: FERREIRA, 2011.

O emprego de materiais isolantes nas instalações elétricas sofreu significativa modificação com o estudo de novos materiais que permitiu a utilização de polímeros com vantagens, tais quais: leveza, facilidade de moldar, flexibilidade e baixa densidade. Dessa forma os isoladores cerâmicos, sejam de vidro ou de porcelana, que apesar de duros, são frágeis e quebradiços, motivou o desenvolvimento dos isoladores poliméricos.

Os Polímeros são compostos químicos formados a partir da reação entre unidades menores chamados monômeros (do grego: mono – um e meros – parte). O processo de ligação entre monômeros para formar os polímeros (do grego: poli – muitos e meros – parte) é chamada de polimerização. Em geral o nome do polímero tem formação com a palavra poli adicionada ao monômero que lhe deu origem. Os polímeros podem ser divididos em uma série de classificações, quanto a:

- Estrutura química;
- Natureza;
- Preparação;
- Comportamento Mecânico.

Quanto à Estrutura Química, podem ser classificados através da estrutura do seu monômero em duas subdivisões possíveis, polímeros de cadeia carbônica, que apresenta somente carbono na sua cadeia principal e polímeros de cadeia heterogênea, que na sua cadeia principal apresentam outros átomos além do carbono.

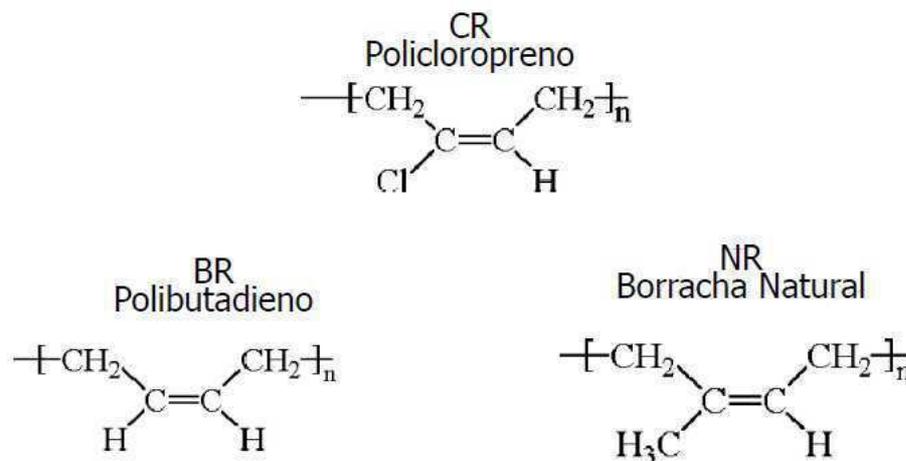


Figura 2.41: Estrutura de polímeros de cadeia carbônica.

Fonte: PACHEKOSKI, 2010.

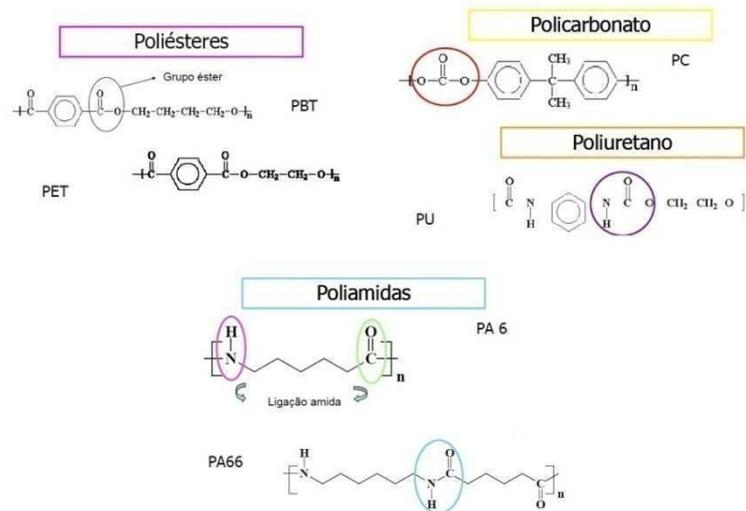


Figura 2.42: Estrutura de polímeros de cadeia heterogênea.

Fonte: PACHEKOSKI, 2010.

Em relação à Preparação, pode ser classificados como Polímeros de Adição e de Condensação. Conforme (PACHEKOSKI, 2010), os primeiros “São aqueles em que durante a sua formação (reação dos monômeros) não há perda de massa na forma de compostos de baixo peso molecular. Como exemplo temos: polietilenos, polipropilenos, policloreto de vinila, poli (metil metacrilato). Para o caso dos preparados por adição, conforme o mesmo autor: “Originados de reação de dois grupos funcionais reativos com eliminação de moléculas de baixo peso molecular (água, amônio, HCl, etc.). Como exemplo temos o nylon e os poliéster”.

Nosso objetivo é focar na poliamida, material usado na linha de mão isolante, por isso uma melhor classificação proposta neste trabalho será usando as classificações quanto a Natureza e Comportamento Mecânico do polímero.

Quanto à Natureza podemos distinguir o polímero em Naturais e Não Naturais, sendo o primeiro caso encontrado diretamente na natureza, como látex da seringueira e a celulose extraída da madeira e do algodão. No segundo caso, os Não Naturais, podemos ainda dividi-los em: Artificiais ou Semi-Sintético e Sintéticos. Os Artificiais são aqueles produzidos pelo homem a partir de reações químicas entre polímeros naturais. Por fim os polímeros Sintéticos são fabricados usando substâncias químicas da indústria petroquímica.

Por fim em relação ao Comportamento Mecânico, os polímeros podem ser classificados em Plásticos e Elastômeros. Os plásticos por sua vez podem ser divididos em Termoplásticos e Termofixo. Os Termoplásticos podem ser moldados indefinidas vezes, bastando para isso aplicar uma determinada temperatura tornando-os moles, endurecendo

quando da retirada da temperatura. Os Termofixos que sob determinadas temperatura e pressão quando misturados entre si, formam ligações cruzadas entre cadeia, solidificando-se. Por sua vez os elastômeros “ São polímeros que na temperatura ambiente, podem deformar-se no mínimo 2 vezes o seu comprimento inicial, retornando ao comprimento original rapidamente após retirado o esforço” (PACHEKOSKI, 2011).

Com base nessas duas últimas classificações, quanto a Natureza e Comportamento Mecânico, pode-se observar, graficamente, na Figura 2.43 a classificação dos polímeros.

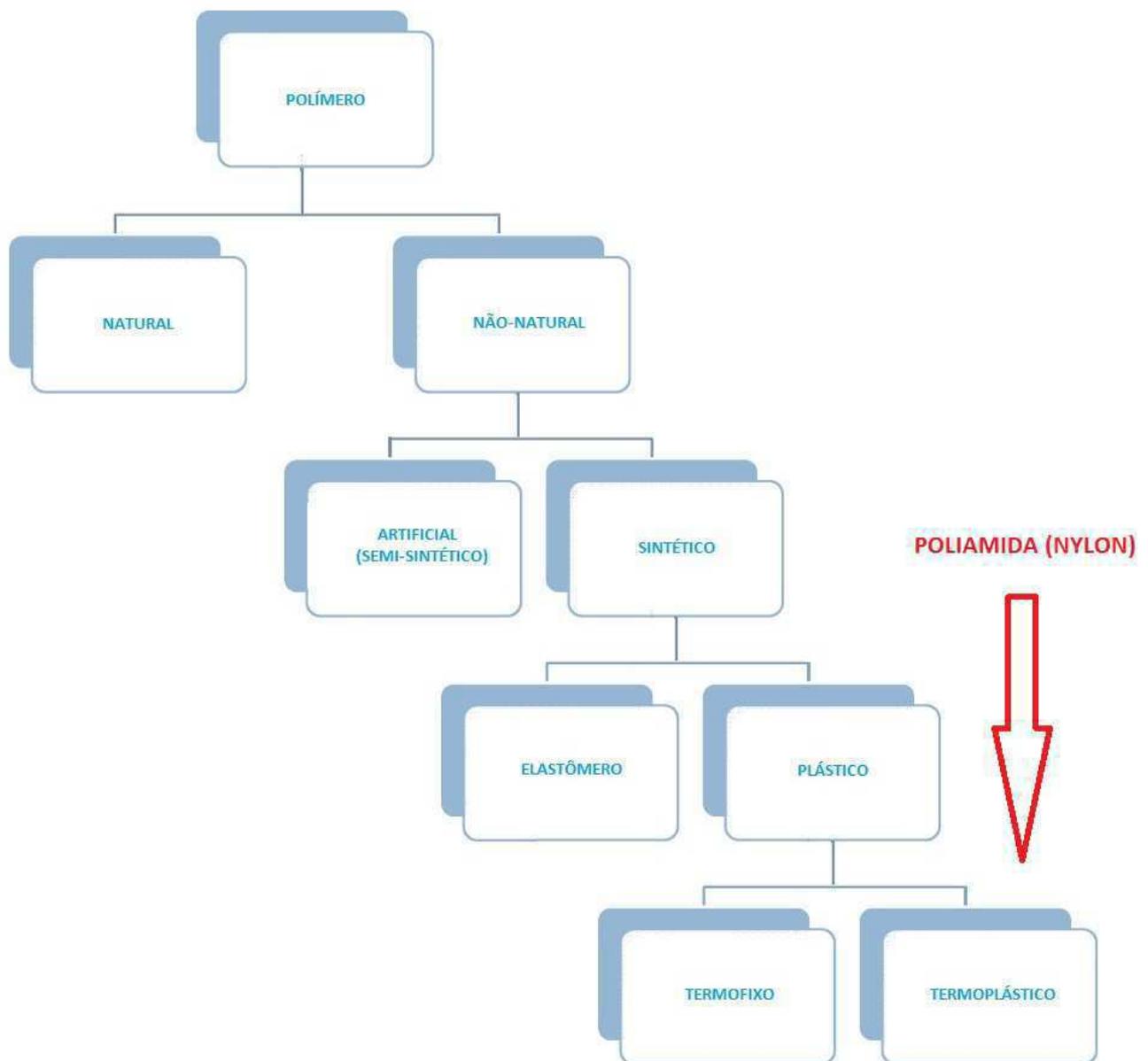


Figura 2.43: Classificação dos polímeros.

2.2.7 Fios Sintéticos

Doravante ao se referir as Fibras, estenderemos os mesmos conceitos a elas associados aos Fios. Conforme (WIKIPÉDIA, 2014) “As fibras são materiais muito finos e alongados, como filamentos, que podem ser contínuos ou cortados. As fibras servem de matéria-prima para manufatura, podendo ser fiadas, para a formação de fios, linhas ou cordas ou dispostas em mantas, para a produção papel, feltro ou outros produtos. Toda fibra é um polímero e a classificação é dada por conta de como é esta polimerização. As fibras usadas na manufatura são classificadas conforme a sua origem, que pode ser natural, artificial ou sintética. Fibras naturais são as fibras retiradas prontas da natureza, sendo as mais comuns o algodão, a lã, a seda, o linho, o sisal e orami. As fibras artificiais são produzidas pelo homem, porém utilizando como matéria-prima produtos da natureza, como a celulose. As mais comumente usada são a viscose, o acetato, o Lyocel e o Modal. Fibras sintéticas são fibras produzidas pelo homem usando como matéria-prima produtos químicos, da indústria petroquímica. As mais conhecidas são o poliéster, a poliamida, o acrílico, o polipropileno e o poliuretano (Elastano), além das aramidas (Kevlar e Nomex). Tem como simbologia letras apenas em maiúsculo derivando de palavras inglesas (no caso da sintéticas do latim que influenciou a primeira): CO - Algodão, ou PP - polipropileno. É comum, porém incorreto, chamar pelos nomes de marca comercial:

- Lycra;
- Nylon;
- Kevlar;
- Nomex.”

Oura interessante definição sobre as fibras e destacada por (CANEVAROLO, 2006) “é um polímero termoplástico orientado, que satisfaz a condição geométrica de $L/D \geq 100$, ou seja, que o comprimento da fibra seja no mínimo 100 vezes maior que seu diâmetro. Durante a fabricação das fibras pelo processo de fiação, ocorre orientação das cadeias e dos cristais, o que provoca o aumento significativo da resistência mecânica, tornando possível a sua utilização na forma de fios. Como exemplo, pode-se citar as fibras de poliacrilonitrila, os nylons e o poliéster”.

Para este trabalho iremos abordar algumas características das fibras sintéticas que são “termoplásticos orientados (com sentido longitudinal dito eixo principal de fibra). A orientação das cadeias e dos cristais, feita de modo forçado durante a fiação, aumenta a resistência mecânica, tornando-os possíveis de serem usados na forma de fios finos” (PACHEKOSKI, 2010).

A Poliamida é um polímero composto por monômeros de amida, que batiza seu nome, a primeira poliamida sintetizada pelo homem foi o Náilon através dos estudos do químico Wallace Hume Carothers, em 1935. O Náilon (ou Nylon) apresenta excelentes características mecânicas, tais quais:

- Resistência ao desgaste;
- Elevada resistência a tração;
- Baixo peso;
- Facilidade de manusear.

Alguns relatos não oficiais sobre o batismo do nome Nylon se deram ao fato de que a sua fabricação ocorreu tanto nos Estados Unidos na cidade de Nova Iorque, do inglês New York, quanto na Inglaterra na cidade de Londres, do inglês London.

As aplicações mais popularmente conhecidas dos fios de náilon são na pescaria e nas roçadeiras.

Por sua vez a Aramida outra interessante poliamida muito parecida com o Náilon, também muito resistente e leve. Possui grande resistência ao calor e é sete vezes mais resistente que o aço por unidade de peso.

Por fim o termo Fibra de Vidro, que pode se referir a própria fibra como ao composto Polímero Reforçado de Fibra de Vidro (PRFV). Esse composto geralmente recebe adição de resina de poliéster. Devido às excelentes características isolantes, simultaneamente acompanhada de grande resistência a tração, o setor elétrico adotou para o uso dos já mencionados bastões isolantes (ver item 2.1.1) a fibra de vidro. Tais bastões são confeccionados em tubo de fibra e vidro impregnados com resina de epóxi, conferindo elevada rigidez dielétrica e resistência mecânica, fundamental para os trabalhos em instalações energizadas. Os bastões isolantes são ocos e no seu interior possui preenchimento de espuma de poliuretano e na sua superfície aplica-se um verniz conferindo-lhe polidez, tudo isso evitando absorção e condensação de umidade e/ou sujeira, tanto internamente como na sua superfície.

2.2.8 Técnicas de Ensaio em Alta Tensão

No caso dos materiais utilizados em alta tensão é de bom alvitre a realização de testes de suportabilidade elétrica antes de sua utilização nas redes. Obviamente a simples aplicação de novos materiais nas instalações energizadas sob forma de teste poderia ocasionar saídas intempestivas, bem como acidentes. Com o desenvolvimento dos laboratórios de alta tensão e suas técnicas, vários materiais e mesmo equipamentos são ensaiados e testados antes de sua aplicação nos sistemas elétricos. Para o caso do teste de suportabilidade elétrica os ensaios mais importantes são os de Tensão Aplicada e Tensão de Impulso, pois essas são as principais exigências solicitadas por um isolamento do ponto de vista elétrico. No primeiro caso verifica-se a suportabilidade elétrica para as tensões nominais, em frequência industrial. Para o caso das tensões de impulso, são realizados testes que simulam as exigências elétricas no caso dos surtos de manobra ou descargas atmosféricas.

A Geração de Alta Tensão Alternada em regime permanente e frequência industrial são realizadas em laboratórios de alta tensão por transformadores com características um pouco diferente dos transformadores utilizados na transmissão e distribuição. Conforme (COSTA, 2012), os Transformadores para laboratório possuem as seguintes características:

- Formato diferente (configurações físicas);
- Pequenas potências;
- Não devem ser submetidos à sobretensões externas;
- O enrolamento de alta tensão deve ser construído para suportar a tensão total para o núcleo ou para o enrolamento de baixa tensão.



Figura 2.44: Transformador do laboratório de alta tensão da UFCG.

As medições de alta tensão nos sistemas elétricos, não podem ser realizadas de forma direta, são realizados através dos Transformadores de Tensão, que transformam a tensão a ser medida à valores compatíveis com os instrumentos de medição. Esses Transformadores de Tensão, pode ser Indutivo ou Capacitivos, chamados de TPI e TPC respectivamente. Para realização de medição de tensão alternada em frequência industrial nos laboratórios pode se usar os seguintes instrumentos:

- Espinterômetro;
- Voltímetro eletrostático;
- Resistência adicional e divisor de tensão;
- Voltímetro de crista ou de pico.

O mais comum é o uso dos divisores capacitivos que conforme (COSTA, 2012), são basicamente uma combinação em série de uma capacitância alta com uma outra de baixo valor. A tensão a ser medida é aplicada na combinação e uma pequena parte da tensão fica aplicada em cima da baixa impedância, portanto, a tensão é medida por meio de um instrumento indicador. Neste tipo de construção, os capacitores podem ser redondos ou planos, colocados em tubo de papel baquelizado contendo óleo. As capacitâncias parasitas para a terra só provocam desvios na amplitude da tensão, independento da frequência, e nenhuma defasagem no ângulo. Contudo esses desvios podem ser compensados na aferição.

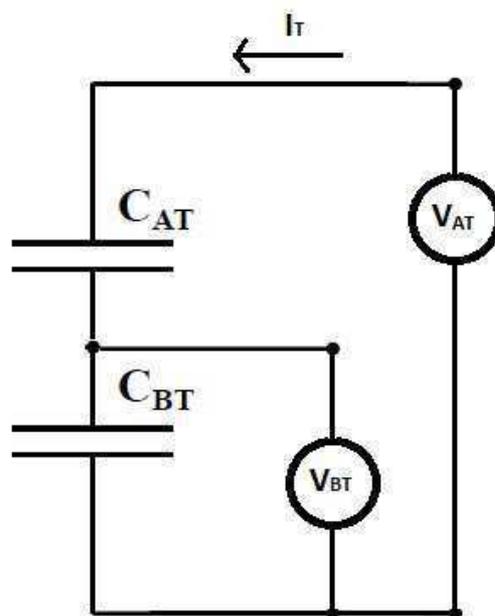


Figura 2.45: Circuito do divisor capacitivo.

Aplicando os conceitos de divisor de tensão podemos extrair a relação existente entre os capacitores e as tensões totais e a baixa tensão que é medida. De posse dos valores conhecidos dos capacitores e da tensão medida V_{BT} calcula-se a tensão total.

$$V_T = V_{BT} \times \alpha \quad (2.5)$$

onde,

V_T = Tensão Total (V)

V_{BT} = Tensão na baixa tensão que é medida por multímetro ou osciloscópio (V)

α = Relação dada pelos capacitores C_{AT} e C_{BT} - $\left(\frac{C_{AT} + C_{BT}}{C_{AT}}\right)$

C_{AT} = Capacitor de alta tensão de baixo valor e alta impedância (reatância capacitiva)

C_{BT} = Capacitor de baixa tensão de alto valor e baixa impedância (reatância capacitiva)



Figura 2.46: Divisor capacitivo do laboratório de alta tensão da UFCG.

Para o caso dos ensaios elétricos de recepção e aceitação dos bastões isolantes é usada as determinações da norma ABNT NBR 14540 - Bastão e escada isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada – Transmissão, originalmente concebida com base na norma ASTM F 711 - Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube Used in Live Line

Tools. Atualmente a referida NBR encontra-se cancelada, por não ter sido realizada nenhuma modificação nos últimos anos, exigência da ABNT. No entanto mesmo a Terex Ritz, fabricante dos bastões isolantes, usa essa norma nos seus testes. O ensaio descrito por essa norma, consiste em se aplicar 100 kV (60 hz) em 30 cm do bastão isolante, medindo sua corrente de fuga e comparando com a Tabela 2.4. Se o valor obtido for abaixo de um valor de referência o bastão está aprovado.

O grau de esforço elétrico imposto ao bastão nesse ensaio é muito grande. Por comparação uma linha de 500 kV que tem em ordem de grandeza 4 metros de distância entre o ponto energizado e a parte aterrada mais próxima, possui isolamento de aproximadamente 721 V para cada centímetro ao passo que nesse teste o bastão recebe uma solitação de mais de 3000 V por centímetro.

Os bastões isolantes são equipamentos devidamente consagrados no setor elétrico com uma garantida segurança, testada a mais de 50 anos quando se iniciou seu uso nos trabalhos em instalações energizadas, conforme já descrito no item 2.1.1.

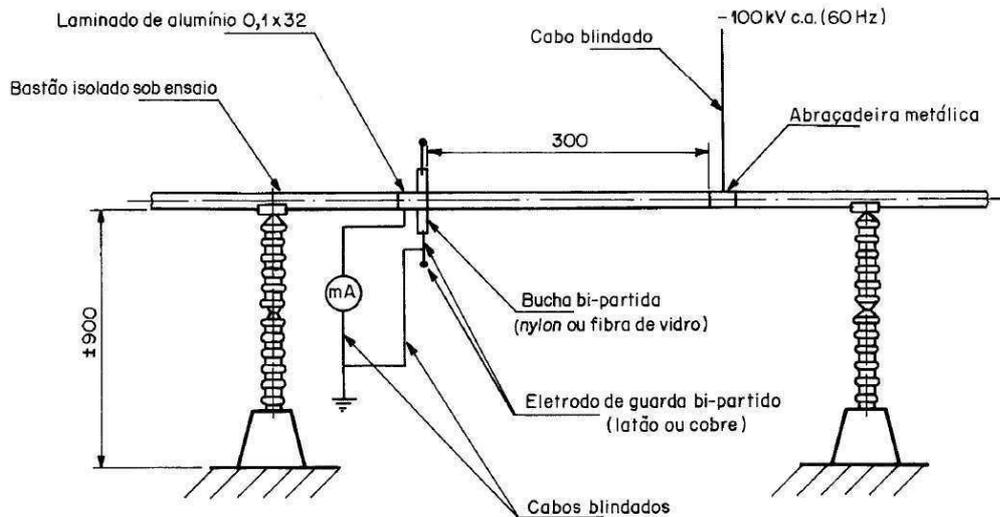


Figura 2.47: Esquema do ensaio elétrico de recepção e aceitação do bastão isolante.
Fonte NBR 14540.

Tabela 2.4: Parâmetros para aceitação da suportabilidade elétrica dos bastões isolantes.

Diâmetro do bastão (mm)	32	38	51	64	76
Corrente de fuga I (μA)	10	12	15	20	25

Fonte NBR 14540.

Capítulo 3 - Material e Métodos

O capítulo descreve os materiais e os métodos utilizados para realização dos ensaios de suportabilidade elétrica, as formas de envelhecimento e por fim os testes realizados em campo das amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida como linha de mão isolante. Outros materiais, tais quais bastões isolantes e cordas também serão apresentados.

3.1 Material

O objetivo do trabalho foi testar a suportabilidade elétrica do fio sintético de monofilamento de poliamida (náilon). Esse náilon é o mesmo utilizado nas linhas de pescaria e roçadeiras. Como forma de comparação, utilizou-se alguns materiais usados nos trabalhos em instalações energizadas, tais quais:

- Bastão isolante de 51 mm de diâmetro;
- Bastonete isolante de 10 mm de diâmetro;
- Corda utilizada como linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, confeccionada em fios de seda na cor verde claro;
- Corda utilizada como linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, confeccionada em fios de aramida na cor amarela (fios internos) e uma capa de poliéster na cor laranja;
- Corda utilizada como linha de vida de 11 mm de diâmetro, confeccionada em fios de poliamida na cor branca (fios internos) e poliéster na cor vermelha (fios externo – capa).

As amostras de fio sintético de náilon (poliamida) de monofilamento, foram de 3 diâmetros e 2 cores, todos diferentes, tais quais: diâmetro de 3 mm, 4 mm e 6 mm, todas na cor branca leitosa. Por fim diâmetro de 3 mm na cor vermelha. Somente a última é usada em roçadeira, as demais são originalmente utilizadas para linha de pescaria.

Foram realizados três ensaios em laboratórios e dois testes em campo, obviamente cada evento desse foi realizado em uma data diferente.

Por fim algumas amostras foram envelhecidas da forma descrita no item 3.2.1.

Tabela 3.1: Amostras ensaiadas e testadas.

Item	Amostra	Ensaio / Teste Campo	Data
1	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e virgem (nunca usado).	1º Ensaio	17 e 18/12/2012
		1º Teste de campo	18/01/2013
		2º Teste de campo	04/04/2013
2	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 1 (ver item 3.2.1).	1º Ensaio	17 e 18/12/2012
3	Fio sintético de monofilamento de poliamida na, cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 2 (ver item 3.2.1).	1º Ensaio	17 e 18/12/2012
4	Bastão isolante de 51 mm de diâmetro.	1º Ensaio	17 e 18/12/2012
5	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor vermelha, de 3 mm de diâmetro e virgem (nunca usado).	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
6	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro.	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
		3º Ensaio	17/03/2014
7	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 4 mm de diâmetro e Envelhecido 3 (ver item 3.2.1).	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
8	Fio sintético de monofilamento de poliamida na, cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 4 (ver item 3.2.1).	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
9	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 5 (ver item 3.2.1).	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 6 (ver item 3.2.1).	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
11	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 7 (ver item 3.2.1).	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
12	Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, com fios de poliamida (interno) na cor branca (interno) e fios de poliéster (externo) na cor vermelha.	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
13	Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro e com fios de seda na cor verde claro.	2º Ensaio	25 a 26/04/2013
14	Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, com fios de aramida (interno) na cor amarela (interno) e capa de poliéster (externo) na cor laranja.	3º Ensaio	17/03/2014
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 8 (ver item 3.2.1).	3º Ensaio	17/03/2014
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 3 mm de diâmetro e Envelhecido 9 (ver item 3.2.1).	3º Ensaio	17/03/2014
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida, na cor branca leitosa, de 6 mm de diâmetro e virgem (nunca usado).	3º Ensaio	17/03/2014

As características das amostras usadas foram:

A – Fio Sintético de monofilamento de poliamida (representa os itens 1, 2, 3, 5, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 16 e 17 da Tabela 3.1)

Cor: Branco Leitosa (itens 1, 2, 3, 7, 8, 9 10, 11, 15, 16 e 17) e Vermelha (item 5);

Diâmetro (mm): 3 (itens 1, 2, 3, 5, 8, 9, 10, 11, 15 e 16 da Tabela 3.1) , 4 (item 7 da Tabela 3.1) e 6 (item 17 da Tabela 3.1);

Comprimento (m): 40 (itens 1, 2, 3, 8, 9, 10,11, 15 e 16 da Tabela 3.1), 100 (item 5 da Tabela 3.1), 10 (item 7 da Tabela 3.1) e 3 (item 17 da Tabela 3.1);

Material: Poliamida – náilon (todos os itens da Tabela 3.1);

Rigidez Dielétrica (kV/cm): 14 (todos os itens da Tabela 3.1);

Peso Específico (g/cm³): 1,14 (todos os itens da Tabela 3.1).



Figura 3.1: Amostra sendo ensaiada de fio sintético de monofilamento de poliamida.

B – Bastão Isolante (representa o item 4 da Tabela 3.1)

Cor: Laranja;

Diâmetro (mm): 51;

Comprimento (m): 2,33;

Material: Tubo oco de fibra de vidro impregnada em epóxi com revestimento externo em verniz. Internamente preenchido por espuma de poliuretano;

Rigidez Dielétrica (kV/cm): 14;

Peso (g/cm³): 22.75.



Figura 3.2: Amostra sendo ensaiada de batão isolante de 51 mm.

C – Bastonete Isolante (representa o item 6 da Tabela 3.1)

Cor: Cinza;

Diâmetro (mm): 10;

Comprimento (m): 1,5;

Material: Tubo maciço de fibra de vidro impregnada em epóxi;

Rigidez Dielétrica (kV/cm): 14;



Figura 3.3: Amostra sendo ensaiada de bastonete isolante de 6 mm.

D – Corda de Linha de Mão (representa o item 13 e 14 da Tabela 3.1)

Cor: Verde claro (item 13 da Tabela 3.1) e Amarelo, na parte interna e Laranja na parte externa (item 14 da Tabela 3.1);

Diâmetro (polegadas): 5/8 (item 13 da Tabela 3.1) e 3/8 (item 14 da Tabela 3.1);

Comprimento (m): 30 (item 13 da Tabela 3.1) e 40 (item 14 da Tabela 3.1);

Material: Seda (item 13) e Aramida na parte interna e Poliéster na parte externa (item 14 da Tabela 3.1).



Figura 3.4: Amostra sendo ensaiada de corda (linha de mão) de seda de 5/8 de polegadas.



Figura 3.5: Amostra sendo ensaiada de corda (linha de mão) de aramida de 3/8 de polegadas.

E – Corda de Linha de Vida (representa o item 12 da Tabela 3.1)

Cor: Branco na parte interna e Vermelho na parte externa;

Diâmetro (mm): 11;

Comprimento (m): 40;

Material: Poliamida na parte interna e Poliéster na parte externa.



Figura 3.6: Amostra sendo ensaiada de corda (linha de vida) de 11 mm.

3.2 Métodos

Foram realizados, para este trabalho, três ensaios em laboratório e dois testes de campo. Os ensaios foram de suportabilidade elétrica para amostras novas e envelhecidas. Os testes de campo foram realizados utilizando a linha de mão isolante nas instalações elétricas, após análise positiva dos ensaios em laboratório.

3.2.1 Ensaios em Laboratório

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG com a finalidade de testar a suportabilidade elétrica das amostras. Utilizou-se o mesmo ensaio realizado nos consagrados bastões isolantes, conforme NBR 14540 - Bastão e escadas isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada - Transmissão. A referida norma foi concebida com base na norma ASTM F711- Standard Specification for Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube Used in Live Line Tools. Por falta de atualização e revisões a norma brasileira foi cancelada pela ABNT, no entanto ainda hoje as empresas do setor elétrico a utiliza para ensaios de recepção de seus equipamentos. Na Figura 2.47 é ilustrado o arranjo experimental empregado nos ensaios de suportabilidade elétrica. Nesse ensaio, aplica-se 100 kV (rms) em frequência industrial, em uma porção de 30 cm da amostra,

durante 1 minuto, no sentido de medir a corrente (rms) que circula pela mesma, comparando com valores determinadas de acordo com o diâmetro do bastão, conforme Tabela 2.4.

Utilizou-se os seguintes equipamentos / instrumentos:

- Mesa de controle;
- Transformador de ensaio de 120 kV / VA;
- Divisor capacitivo com relação entre tensão medida e total (α) de 7896;
- Osciloscópio;
- Multímetro;
- Resistor shunt de 1 k Ω e 10 k Ω ;
- Centelhador de proteção;
- Termohigrômetro de marca;
- Condutivímetro.

Usou-se dois canais do osciloscópio para registrar a corrente de fuga e a tensão aplicada na amostra. A relação entre a tensão aplicada e a medida no osciloscópio foi de 7896. Por fim utilizou-se um resistor Shunt para coletar a tensão que reproduz a corrente de fuga que circula pela amostra. O valor medido no osciloscópio foi transformado em valor de corrente dividindo-se por 1000 ou 10000 respectivamente para os resistores de 1 k Ω e 10 k Ω .

Como proteção para a medição de corrente colocou-se um centelhador (ver Figura 3.8).



Figura 3.7: Mesa de controle com instrumentos.

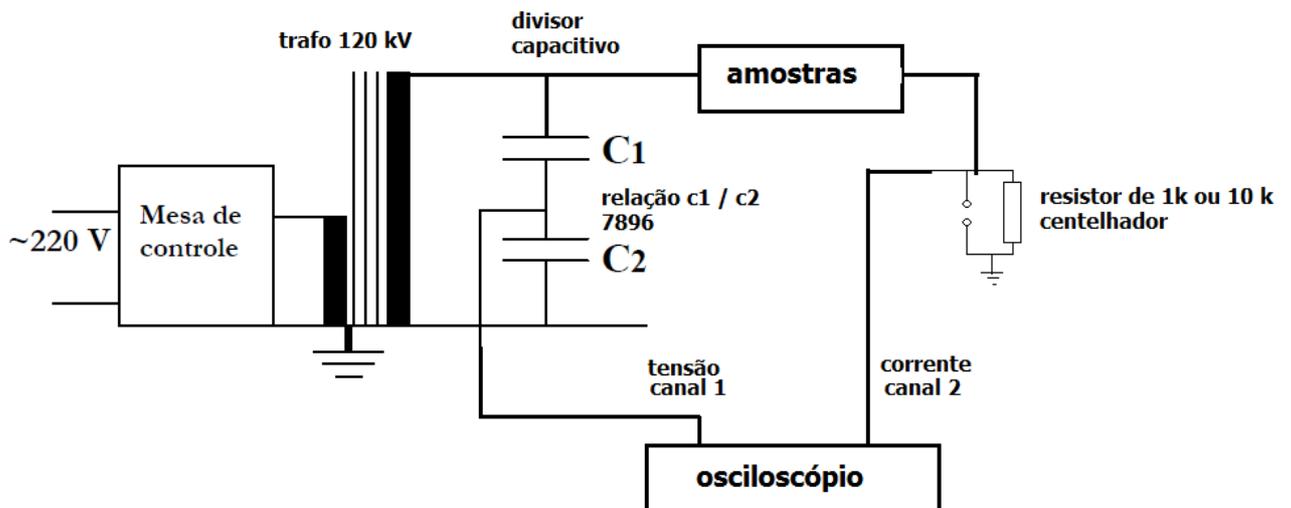


Figura 3.8: Esquema dos ensaios.

Utilizou-se um disco coletor conforme padrões da NBR 14540 (ver Figura 3.9) para filtrar as correntes parasitas que não são de interesse da medição e que nas situações reais, são absorvidas pelas ferragens da instalação.

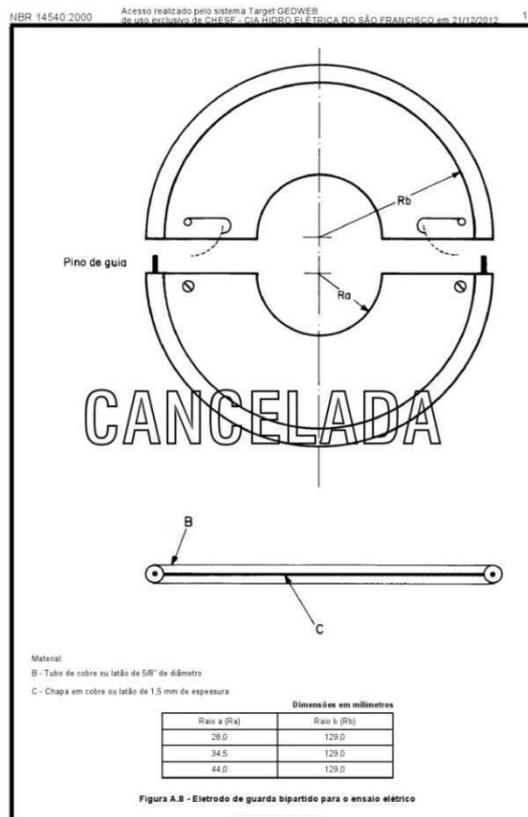


Figura 3.9: Desenho do Disco Coletor para filtrar as correntes parasitas.

Fonte: NBR 14540.

Os ensaios foram realizados em três etapas, tais quais:

- 1º Ensaio: 17 a 18 de dezembro de 2012;
- 2º Ensaio: 25 a 26 de abril de 2013;
- 3º Ensaio: 17 de março de 2014.

1º Ensaio – 17 a 18 de dezembro de 2012

Nesse primeiro ensaio utilizou-se o bastão isolante de 51 mm de diâmetro (item 4 da Tabela 3.1) para servir de referencial de comparação, tido que os bastões isolantes são usados com sucesso no setor elétrico há mais de 50 anos. Para tanto, utilizou-se além do referido bastão isolante, amostras de linha de mão com fio de monofilamento de poliamida virgem (item 1 da Tabela 3.1) e envelhecidas (item 2 e 3 da Tabela 3.1). Além do mais para quase todas as amostras, realizou-se os ensaios com a amostra limpa e seca, limpa e úmida e suja e úmida. A contaminação foi proveniente do próprio envelhecimento em alguns casos e em outros gerados artificialmente no local. Os critérios para umedecer e sujar as amostras não foram padronizados. A umidificação se deu borrifando as amostras com água comum e a contaminação foi realizada apenas colocando-se com as mãos a sujeira encontrada no piso do laboratório. Em uma das medições usou a umidificação com uma solução de condutividade elétrica conhecida (8,9 ms), medida através de condutivímetro. No entanto o objetivo nesse primeiro ensaio era ter uma ordem de grandeza da suportabilidade elétrica da linha de mão isolante feita de fio sintético de monofilamento de poliamida principalmente pelo critério de comparação com o consagrado bastão isolante.



Figura 3.10: Umidificação da amostra.

O envelhecimento foi realizado, impondo as amostras uma condição similar ao seu uso em campo. Foram disponibilizadas para realizar do envelhecimento duas linhas com 40 metros cada. Uma com dez manobras (uma intervenção), sendo o Envelhecimento 1 (item 2 da Tabela 3.1) e outra com 50 manobras (meio dia de trabalho – 5 intervenções), sendo o Envelhecimento 2 (item 3 da Tabela 3.1). Uma manobra foi considerada 1 subida e descida de uma cadeia de isolador com 16 discos (56 quilos – cada isolador com 3,5 quilos), utilizando a linha de mão para esse tarefa. O intuito foi envelhecer tal linha de mão. A mesma, no entanto não foi conectada em nenhum momento ao potencial elétrico, ficou distante, respeitando a distância de segurança desse ponto, devido a estar ainda em fase de teste para essa finalidade, garantindo a segurança do pessoal envolvido.



Figura 3.11: Envelhecimento 1 e 2 das amostras do primeiro ensaio.

Foram realizadas nesse primeiro ensaio 22 medições, conforme descrito na Tabela 3.2.

Tabela 3.2: Medições realizadas no primeiro ensaio.

Medição	Descrição	Item da Tabela 3.1
1	Bastão isolante de 51 mm de diâmetro, limpo e seco.	4
2	Repetição da medição anterior para ajustes no disco coletor.	4
3	Bastão isolante de 51 mm de diâmetro, sujo e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	4
4	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, limpo e seco.	1
5	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	1
6	Repetição da medição anterior substituindo o resistor de 1 k Ω por 10 k Ω e realizando limpeza da amostra.	1
7	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	2
8	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu segundo segmento, situado um pouco a frente do início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	2
9	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	2
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu terceiro segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	2
11	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	2
12	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3
13	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu segundo segmento, situado um pouco a frente do início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3
14	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu terceiro segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e seco.	3
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	3
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e seco.	3
18	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	3
19	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quinto segmento, situado próximo a outra extremidade do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3
20	Repetição da medição anterior para ajustes no disco coletor.	3
21	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quinto segmento, situado próximo a outra extremidade do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.	3
22	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	3

2º Ensaio – 25 a 26 de abril de 2013

Nesse segundo ensaio utilizaram-se cordas usadas como linha de mão (item 13 da Tabela 3.1) e linha de vida (item 12 da Tabela 3.1), sendo ambas não próprias para serem usadas como cordas isolantes, ou seja, no seu uso cotidiano é mantida afastada dos pontos energizados de acordo com a distância de segurança estabelecida. O objetivo foi validar sua não suportabilidade elétrica como corda isolante, novamente comparando com as linha de mão isolante, utilizando fio sintético de monofilamento de poliamida.

Foi ensaiado também um bastonete isolante de 6 mm como comparação, tido que o mesmo é uma referência no setor elétrico (item 6 da Tabela 3.1).

Utilizou-se amostras de linha de mão com fio de monofilamento de poliamida virgem na cor vermelha (item 5 da Tabela 3.1), no sentido de verificar a influência dos corantes, bem como ser ela a única das amostra dessa natureza utilizada originalmente para roçadeira, comprada em loja de materiais agrícolas, diferente das demais que originalmente são usadas em pescaria, comprada nas lojas especializadas para essa atividade.

Uma amostra de fio sintético de monofilamento de poliamida de 4 mm (item 7 da Tabela 3.1) foi ensaiada para verificar a influência do aumento do diâmetro, pois apesar deste trabalho objetivar a suportabilidade elétrica do material, existe a preocupação futura com a capacidade mecânica da linha de mão isolante. Essa amostra foi conseguida junto a pescadores e já se encontrava em uso na sua atividade a um bom tempo, sendo o Envelhecimento 3. Náílon com diâmetro acima de 3 mm não foram encontrados no mercado.

Uma amostra de fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm (item 11 da Tabela 3.1) utilizada no 2º teste de campo foi também ensaiada, pois foi observado desgaste no material metálico que ela atritou. Propositamente utilizou a amostra para içar dois isoladores de pedestal, fazendo com que a amostra passasse por uma polia e o tambor de uma talha elétrica. Além do mais deixou o material de um dia para o outro tensionado com o peso dos isoladores, sendo o Envelhecido 7.



Figura 3.12: Envelhecimento 7 da amostra do segundo ensaio, realizada no primeiro teste de campo.

Por fim ensaiou-se a linha de mão com fio de monofilamento de poliamida na cor branca leitosa envelhecida em 4 estágios diferentes (itens 8, 9, 10 e 11 da Tabela 3.1).

A metodologia do envelhecimento foi idêntica a realizada nas amostras do primeiro ensaio. Foram geradas amostras envelhecidas em três linhas de mãos de 40 metros, sendo uma outra com dez manobras (uma intervenção), Envelhecimento 4, outra com 50 manobras (meio dia de trabalho – 5 intervenções), Envelhecimento 5 e por fim a última com 100 manobras (um dia de trabalho – 10 intervenções), sendo o Envelhecimento 6.

Igualmente ao primeiro ensaio, para quase todos os casos, utilizou-se as amostras limpa e seca, limpa e úmida e suja e úmida. A contaminação foi proveniente do próprio envelhecimento em alguns casos e em outros, gerado artificialmente no local. Os critérios para umedecer e sujar as amostras não foram padronizados, no entanto e diferente do primeiro ensaio, procurou-se definir alguns critérios, tais quais: número fixo de borrifadas (10 vezes) e utilizar para contaminar soluções com condutividade elétrica conhecida (medida).

Foram realizadas, neste segundo ensaio 21 medições, conforme descrito na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Medições realizadas no segundo ensaio.

Medição	Descrição	Item da Tabela 3.1
1	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e seco.	5
2	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.	5
3	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	5
4	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	5
5	Repetição do medição anterior.	5
6	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e seco.	6
7	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.	6
8	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	6
9	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	6
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 4 mm de diâmetro, Envelhecido 3 na atividade de pesca, limpo e seco.	7
11	Repetição do medição anterior.	7
12	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 4 com 1 intervenção (10 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	8
13	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 4 com 1 intervenção (10 manobras), no segmento menos danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	8
14	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 5 intervenções (50 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	9
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 6 com 10 intervenções (100 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	10
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 7 no 1º teste de campo sujo do envelhecimento e seco.	11
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 7 no 1º teste de campo sujo do envelhecimento adicionado de terra inserida no próprio laboratório e seco.	11
18	Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e seca.	12
19	Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	12
20	Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca.	13
21	Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	13

3º Ensaio – 17 de março de 2014

Neste terceiro e último ensaio utilizou-se as cordas isolante de aramida (item 14 da Tabela 3.1) usadas nos serviços de substituição de cabos para-raios. Também se ensaiou um bastonete isolante de 6 mm de diâmetro (item 6 da Tabela 3.1). Novamente o objetivo foi comparar a linha de mão isolante de fio sintético de monofilamento de poliamida com outros materiais.

Foi realizado ensaio numa amostra de fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm (item 17 da Tabela 3.1) para verificar a influência do aumento do diâmetro, pois apesar deste trabalho objetivar a suportabilidade elétrica do material, existe a preocupação futura com a capacidade mecânica da linha de mão isolante. Essas amostras possuem comprimento de 3 metros, pois náilon com maiores comprimentos (contínuos) e com bitola maior do que 3 mm não foram encontrados no mercado.

Por fim ensaiou-se a linha de mão com fio de monofilamento de poliamida na cor branca leitosa envelhecida em 2 estágios diferentes (item 15 e 16).

Nesse ensaio, no entanto a forma de envelhecer as amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida foi diferente da dos ensaios anteriores. Existiu uma grande dificuldade do ponto de vista operacional para realizar os envelhecimentos da mesma forma do que nos ensaios passados. Procurou-se aumentar o estresse gerado pelo envelhecimento. Até então tinha se conseguido gerar no máximo um envelhecimento que reproduzisse o estresse mecânico e exposição ao ambiente com contaminantes e umidade para um dia de trabalho. Isso era pouco, precisava-se estressar a linha de mão por mais tempo. Conforme foi explicado a forma de se envelhecer a linha de mão para os ensaios 1 e 2, considerou-se para cada subida e descida da linha de mão como o peso de 16 isoladores de disco, uma manobra. Cada manobra consumia 2 minutos para ser operacionalizada. A amostra de envelhecimento de 1 dia (100 manobras), consumiu portanto 200 minutos, ou seja, aproximadamente 3,5 horas, meio dia de trabalho. Desejava-se reproduzir amostras para 6 dias de trabalho (uma semana) que daria 600 manobras e 24 dias (um mês) que daria 2400 manobras. Cada amostra iria exigir 1200 minutos (20 horas – 2 dias e meio) e 4800 minutos (80 horas – 10 dias de trabalho) respectivamente. Isso seria inviável no atual momento vivido pela empresa, sem contar com fadiga do pessoal envolvido por esforço repetitivo. Dessa forma foi idealizada outra forma para envelhecer as amostra.

Foram estendidas, na horizontal, entre dois postes de concreto, duas linhas de mão de 30 metros, tracionando um peso de 16 isoladores, sendo 8 em cada lado. As duas amostras

ficaram expostas ao tempo, levando chuva, sol e umidade durante três meses, no período de 28 de novembro de 2013 a 17 de março de 2014, quando foram realizados os ensaios de suportabilidade elétrica nas mesmas, sendo os Envelhecimentos 8 e 9. Uma das amostras sofreu estresse mecânico através de atrito diário, durante os dias úteis da semana, onde um arranjo com um isolador pendurado com uma ferragem de aço deslizava sobre a amostra, atritando-a, gerando ranhuras, sendo o Envelhecimento 9. O esquema descrito é ilustrado nas Figuras 3.13 e 3.14.

Nesse ensaio utilizou-se os critérios de umidificação e contaminação realizados no segundo ensaio e para quase todos os casos, utilizou-se as amostras limpa e seca, limpa e úmida e suja e úmida.



Figura 3.13: Envelhecimento 8 e 9 das amostra para terceiro ensaio.



Figura 3.14: Detalhe do desgaste da amostra Envelhecida 9 para o terceiro ensaio.

Nesse último ensaio foram realizadas 18 medições, conforme descrito na Tabela 3.4.

Tabela 3.4: Medições realizadas no terceiro ensaio.

Medição	Descrição	Item da Tabela 3.1
1	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e seco.	6
2	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifacão de água de 50 μ s.	6
3	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifacão de solução de 25 ms.	6
4	Corde para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca.	14
5	Corde para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, limpa e umida com borrifacão de água de 50 μ s.	14
6	Corde para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, sem a capa de proteção (nua), limpa e seca.	14
7	Corde para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, sem a capa de proteção (nua), limpa e umida com borrifacão de água de 50 μ s.	14
8	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros, limpo e seco.	16
9	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifacão de água de 50 μ s.	16
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifacão de solução de 25 ms.	16
11	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros, limpo e seco.	16
12	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros e umido com borrifacão de água de 50 μ s.	16
13	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 8 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros, limpo e seco.	15
14	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 8 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifacão de água de 50 μ s.	15
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 8 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros, limpo e seco.	15
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 8 (ver item 3.2.1) com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros e umido com borrifacão de água de 50 μ s.	15
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor branco leitoso, limpo e seco.	17
18	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor branco leitoso, limpo e umido com umidificação borrifacão de água de 50 μ s.	17

3.2.2 Testes de Campo

Após o primeiro ensaio realizado em laboratório, validou-se a segurança necessária para realizar os testes de campo.

Dois testes de campo foram realizados, sendo o primeiro apenas a colocação da linha de mão isolante em contato direto com o potencial de 133 kV ($230 \text{ kV} / \sqrt{3}$) na subestação da Chesf de Governador Mangabeira (GVM) na Bahia. No segundo teste utilizou-se o fio

synthetic monofilament of polyamide 3 mm in diameter as an effective hand-insulating line in the process of placing the signaling sphere.

1º Teste de Campo – 18 de janeiro de 2013

In this test, the hand-insulating line was applied directly to the potential of 133 kV, leaving it for 2 hours in this condition. It was compared with a 32 mm diameter insulating rod subjected to the same conditions of the hand-insulating line. After 2 hours, the leakage current was measured through a multimeter, comparing the two situations.



Figura 3.15: Medições de corrente de fuga no bastão isolante de 32 mm de diâmetro e na linha de mão isolante de 3 mm de diâmetro (monofilamento de poliamida).

2º Teste de Campo – 04 de abril de 2013

Neste segundo teste de campo, utilizou-se a linha de mão isolante de monofilamento e poliamida nos trabalhos com instalações energizadas, especificamente de substituição de esferas de sinalização, na LT 05C5 (SOB/PAQ). Na forma tradicional a esfera de sinalização é guiada por corda seccionada por bastontes isolante, de modo a evitar os contatos com os pontos energizados (fases) da mesma linha, bem como de outras linhas que cruzam a linha em questão. Em vários momentos a linha de mão teve contato com vários potenciais elétricos, sendo o mais rigoroso o contato entre fases de 500 kV.

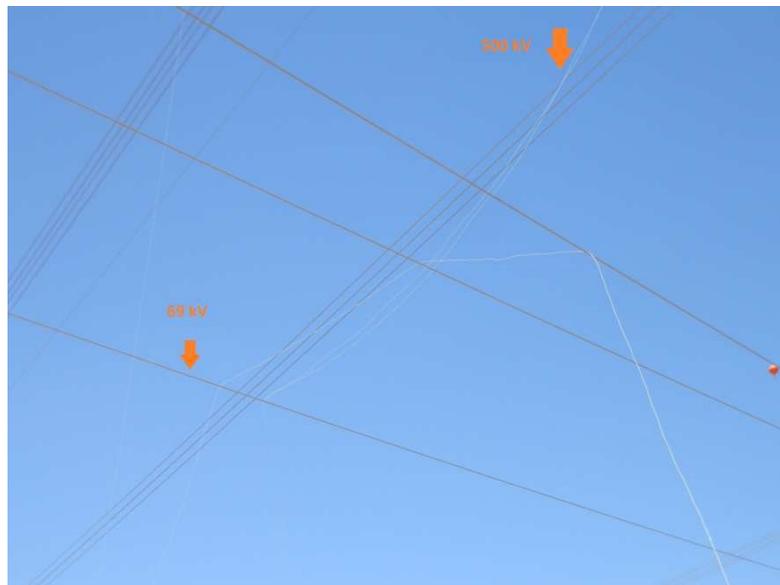


Figura 3.16: Linhas de mãos em contato com vários potenciais.

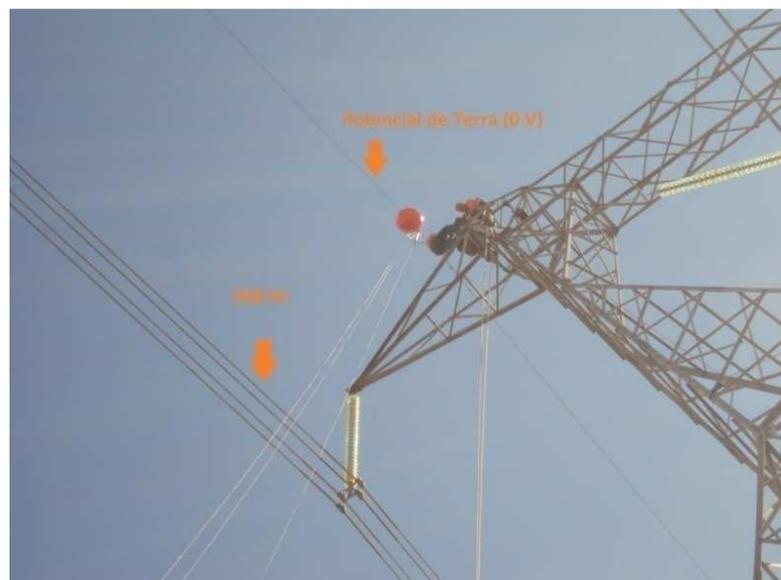


Figura 3.17: Linha de mão submetida a $500 \text{ kV} / \sqrt{3}$.

Capítulo 4 - Resultados e Análises

Neste capítulo são apresentados os resultados dos ensaios em laboratório e dos testes de campo. De forma a sistematizar e facilitar o entendimento foi apresentada os resultados dos ensaios em laboratório e em seguida dos testes de campo.

4.1 Resultados e Análises dos Ensaios em Laboratório

Para os ensaios em laboratório foram realizadas análises individuais para cada medição e ao final de cada ensaio (ao total 3) foi feita uma análise sintética de todas as medições. Por fim foi realizada uma análise global dos 3 ensaios.

1º Ensaio – 17 a 18 de dezembro de 2012 (Resultados e Análises)

Nesse primeiro ensaio, realizado, conforme descrito na seção 3.2.1, utilizou-se as amostras apresentadas na Tabela 3.2. O objetivo desse ensaio foi de validar a linha de mão isolante de monofilamento de poliamida comparado-as aos bastões isolantes, de modo a permitir sua utilização nos testes de campo. Ao todo foram 22 medições.

Na 1ª medição, apresentada na Tabela 4.1 e Figura 4.1, onde se testou um bastão isolante de 51 mm de diâmetro, limpo e seco, comparando os dados obtidos com o limite estabelecido na norma NBR 14540 (15 μ A), verifica-se que tal parâmetro foi ultrapassado. Verificou-se, no entanto que a medição estava errada, onde na verdade estávamos medindo as correntes parasitas coletas pelo disco coletor. Isso serviu para comprovar sua importância, que exerce em laboratório a mesma função que os componentes das instalações, absorvendo as correntes parasitas que apesar de não influenciarem na corrente de fuga que circula pelo isolamento são da ordem de 10 vezes maiores, podendo mascarar os resultados de uma medição.

Tabela 4.1: 1ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
1ª Medição	1º Ensaio	Item 4 – Tabela 3.1	Medição 1 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 28,1°C	URA = 52%	Rshunt = 1 k Ω
Bastão isolante de 51 mm de diâmetro, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	181 μ A	Corrente de fuga (pico)	328 μ A

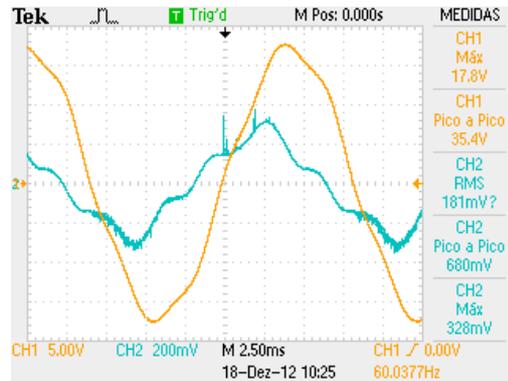


Figura 4.1: Forma de onda da 1ª Medição do 1º Ensaio.

Após o ajuste no disco coletor, verificou-se que a corrente medida ficou abaixo do limite estabelecido na norma NBR 14540 (15 μ A), conforme demonstrado na Tabela 4.2 e Figura 4.2 que ilustra a 2ª medição.

Tabela 4.2: 2ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
2ª Medição	1º Ensaio	Item 4 – Tabela 3.1	Medição 2 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 28,1°C	URA = 52%	Rshunt = 1 k Ω
Repetição da medição anterior para ajuste no disco coletor.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	12,2 μ A	Corrente de fuga (pico)	39,6 μ A

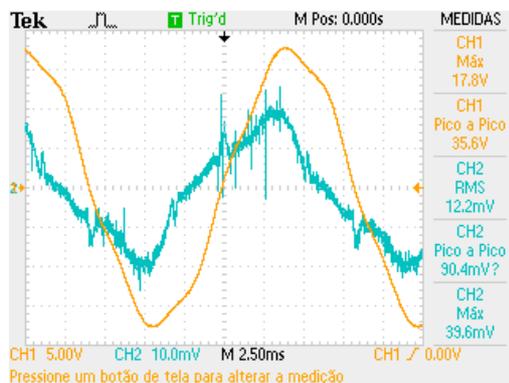


Figura 4.2: Forma de onda da 2ª Medição do 1º Ensaio.

Na 3ª medição (ver Tabela 4.3 e Figura 4.3), colocou-se uma mistura de terra e água na superfície a ser ensaiada do bastão. Observou-se que a corrente de fuga ficou predominantemente resistiva devido ao aumento da corrente superficial por causa da sujeira e umidade. Seus valores também excederam a norma NBR 14540 (15 μA).

Tabela 4.3: 3ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
3ª Medição	1º Ensaio	Item 4 – Tabela 3.1	Medição 3 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 28,1°C	URA = 52%	Rshunt = 1 k Ω
Bastão isolante de 51 mm de diâmetro, sujo e úmido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	45,7 μA	Corrente de fuga (pico)	254 μA

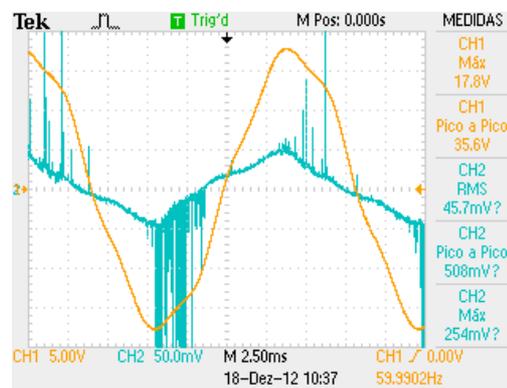


Figura 4.3: Forma de onda da 3ª Medição do 1º Ensaio.

Na 4ª medição, já utilizando o fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), estando o mesmo limpo e seco, observou-se que a corrente de fuga ficou abaixo do limite estabelecido pela norma NBR 14540 (15 μA), conforme apresentado na Tabela 4.4 e Figura 4.4, bem como comparativamente abaixo da medição realizada no bastão isolante, demonstrando num primeiro momento que a linha de mão isolante possui maior suportabilidade elétrica do que o consagrado bastão isolante.

Tabela 4.4: 4ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
4ª Medição	1º Ensaio	Item 1 – Tabela 3.1	Medição 4 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 28,1°C	URA = 52%	Rshunt = 1 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	4,12 μA	Corrente de fuga (pico)	9,6 μA

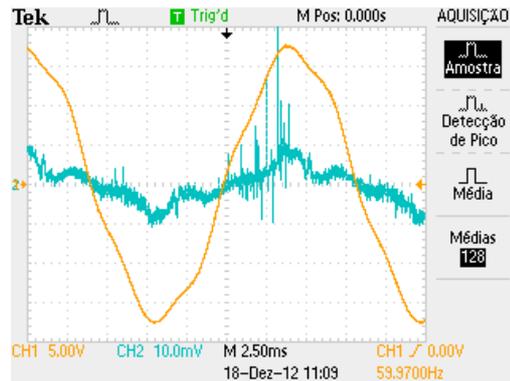


Figura 4.4: Forma de onda da 4ª Medição do 1º Ensaio.

Da mesma maneira de como foi realizado no bastão isolante, colocou-se uma mistura de terra e água na superfície a ser ensaiada da linha de mão. Observou-se na 5ª medição (ver Tabela 5.5 e Figura 5.5) que o aumento da corrente não foi muito significativo, quando comparado a mesma medição feita no bastão isolante. Possivelmente deveu-se ao fato de que a linha de mão isolante possui menos área e por isso menor corrente superficial.

Tabela 4.5: 5ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
5ª Medição	1º Ensaio	Item 1 – Tabela 3.1	Medição 5 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 28,1°C	URA = 52%	Rshunt = 1 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo e úmido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	4,95 μ A	Corrente de fuga (pico)	10 μ A

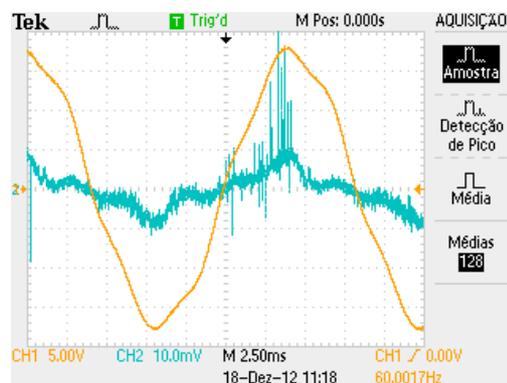


Figura 4.5: Forma de onda da 5ª Medição do 1º Ensaio.

Esta 6ª medição foi idêntica a 4ª medição, com a substituição do resistor de $1\text{ k}\Omega$ por um de $10\text{ k}\Omega$. Observou-se que a relação sinal ruído ficou melhor, sendo o sinal 10 vezes maior do que o ruído, sobressaindo-se. A limpeza da amostra com flanela limpa e álcool a 100%, recuperou a suportabilidade elétrica da amostra, demonstrando excelente eficácia da linha de mão isolante no que diz respeito a sua manutenção.

Tabela 4.6: 6ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
6ª Medição	1º Ensaio	Item 1 – Tabela 3.1	Medição 6 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 29°C	URA = 43%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior substituindo o resistor de 1 k Ω por 10 k Ω e realizando limpeza da amostra.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,3 μA	Corrente de fuga (pico)	5,44 μA

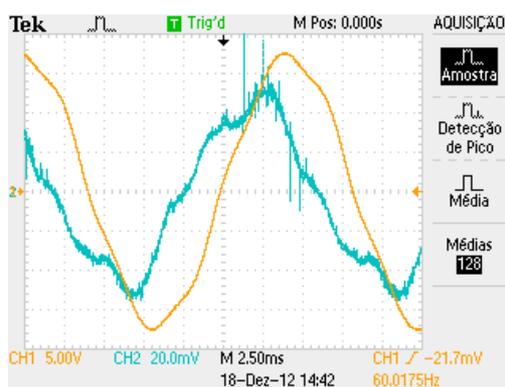


Figura 4.6: Forma de onda da 6ª Medição do 1º Ensaio.

Da 7ª até a 15ª medição verificou-se pequenas variações quantitativas e qualitativas dos sinais medidos. As 7ª até a 11ª medição foram realizadas em três segmentos da amostra de 40 metros de uma linha com envelhecimento equivalente a 1 intervenção (10 manobras). Na 7ª medição verificou-se o primeiro segmento da amostra envelhecida, as 8ª e 9ª medições do segundo segmento, sendo a 9ª medição realizada após a limpeza da amostra com flanela limpa e álcool 100%. Da mesma forma a 10ª e 11ª medição compararam o terceiro segmento com sua configuração original do envelhecimento 3 e depois limpo com flanela limpa e álcool 100%.

As 12ª até a 15ª medição foram realizadas em quatro segmentos de amostra de 40 metros de uma linha com envelhecimento equivalente a 5 intervenção (50 manobras).

Para todas as medições descritas (7ª a 15ª) o padrão do sinal medido foi parecido com amostra nova (virgem), demonstrando que para os envelhecimentos realizados não houve aumentos significativos da corrente de fuga.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (7ª a 15ª) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 7ª Medição – Figura AC.1 e Tabela AC.1
- 8ª Medição – Figura AC.2 e Tabela AC.2
- 9ª Medição – Figura AC.3 e Tabela AC.3
- 10ª Medição – Figura AC.4 e Tabela AC.4
- 11ª Medição – Figura AC.5 e Tabela AC.5
- 12ª Medição – Figura AC.6 e Tabela AC.6
- 13ª Medição – Figura AC.7 e Tabela AC.7
- 14ª Medição – Figura AC.8 e Tabela AC.8
- 15ª Medição – Figura AC.9 e Tabela AC.9

Na 16ª medição (ver Tabela 4.7 e Figura 4.7), utilizando da mesma amostra ensaiada na 15ª medição, se borrifou água e aplicou-se 100 kV, ocasionando abertura de arco. Depois se reiniciou a medição aumentando gradativamente a tensão de 10 em 10 kV, até chegar em 100 kV, onde a corrente foi estabilizada. O tempo entre um aumento e outro de tensão permitiu a evaporação da umidade na amostra. Igualmente aos bastões isolantes a umidade pode afetar a suportabilidade elétrica.

Tabela 4.7: 16ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
16ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 16 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e úmido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,65 μA	Corrente de fuga (pico)	6 μA

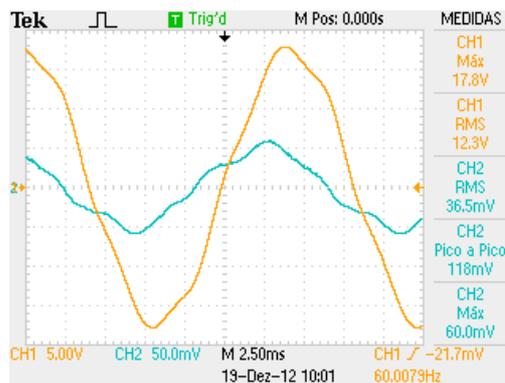


Figura 4.7: Forma de onda da 16ª Medição do 1º Ensaio.

As 17ª até 20ª medição deu continuidade as medições no quarto e quinto segmentos da amostra de 40 metros de uma linha com envelhecimento equivalente a 5 intervenção (50 manobras). A 17ª e 18ª medições foram realizadas no quarto segmento da referida amostra, sendo no segundo caso realizado limpeza na amostra antes da medição. O mesmo ocorreu com a 19ª e 20ª medições que testaram o quinto segmento da amostra, sendo no segundo caso realizado limpeza no disco coletor. Em todos os casos os valores medidos ficaram próximo aos valores medidos da amostra virgem.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (17ª a 20ª) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 17ª Medição – Figura AC.10 e Tabela AC.10
- 18ª Medição – Figura AC.11 e Tabela AC.11
- 19ª Medição – Figura AC.12 e Tabela AC.12
- 20ª Medição – Figura AC.13 e Tabela AC.13

A medição 21ª repete a 19ª com adição de solução com 8,9 ms. Para esse caso apenas conseguiu-se chegar ao valor de 100 kV, aumentando-se gradativamente a tensão a passos de 10 kV. Cada incremento de tensão aumentava a corrente de fuga que ajudava a secar a solução adicionada à amostra. Quando tentou-se chegar ao nível de tensão de 100 kV da mesma forma como foi realizada nas outras medições, havia abertura de arco antes mesmo de chegar no valor desejado.

Tabela 4.8: 21ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
21ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 21 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quinto segmento, situado próximo a outra extremidade do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e úmido com borrifação de solução de 8,9 ms.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,61 μ A	Corrente de fuga (pico)	9,4 μ A

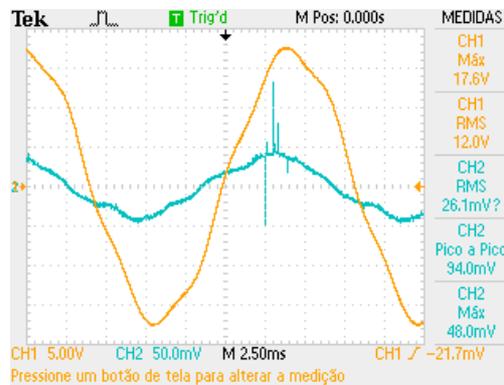


Figura 4.8: Forma de onda da 21ª Medição do 1º Ensaio.

A medição 22ª repete a medição anterior, realizando antes a limpeza da amostra com adição de solução com 8,9 ms de continuidade elétrica. Para esse caso apenas conseguiu-se chegar ao valor de 100 kV, aumentando-se gradativamente a tensão a passos de 10 kV. Cada incremento de tensão aumentava a corrente de fuga que ajudava a secar a solução adicionada à amostra. Quando tentou-se chegar ao nível de tensão de 100 kV da mesma forma como foi realizada nas outras medições, havia abertura de arco antes mesmo de chegar no valor desejado.

Tabela 4.9: 22ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
22ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 22 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,06 μ A	Corrente de fuga (pico)	6 μ A

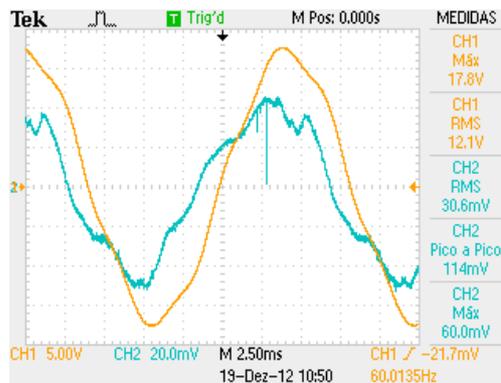


Figura 4.9: Forma de onda da 22ª Medição do 1º Ensaio,

O objetivo principal desse primeiro ensaio foi validar através da comparação da linha de mão isolante utilizando fio sintético de monofilamento de poliamida com os consagrados bastões isolantes que a mais de 50 anos são utilizados nos trabalhos em instalações energizadas com total segurança e sucesso. Utilizando as mesmas regras estabelecidas na NBR 14540, para ensaio de suportabilidade elétrica, verificou-se que as amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida, possuem características ainda melhores do que os bastões isolantes, pois sua menor área de contato oferece uma melhor resistência a contaminação. Em relação a umidade, as amostras são igualmente aos bastões isolantes, frágeis, devendo-se observar nos trabalhos de campo os mesmo cuidados.

Em relação ao envelhecimento das amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida, não verificou-se nenhuma anormalidade significativa.

Por fim a linha de mão isolante com fio de monofilamento de poliamida apresentou excelente resposta a recuperação da sua suportabilidade elétrica, após a limpeza de sua superfície, da mesma forma que ocorre nos bastões.

Dessa forma, o uso da linha de mão isolantes nos testes de campo foi autorizada, respeitando as condições atmosféricas, evitando umidade, da mesma forma que se procede nos trabalhos em instalações energizadas utilizando os bastões isolantes.

A Figura 4.10 e Tabela 4.10 apresentam um resumo de todas as medições deste primeiro ensaio, observando a corrente de fuga RMS, pois a corrente de pico (máxima) sofre muita variação dos ruídos que se confunde com a ordem de grandeza do sinal.

Tabela 4.10: Resumo das medições do primeiro ensaio.

Medição	Descrição	Item da Tabela 3.1	Corrente de fuga RMS (μA)
1	Bastão isolante de 51 mm de diâmetro, limpo e seco.	4	1810
2	Repetição da medição anterior para ajustes no disco coletor.	4	12,20
3	Bastão isolante de 51 mm de diâmetro, sujo e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	4	45,70
4	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, limpo e seco.	1	4,12
5	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	1	4,95
6	Repetição da medição anterior substituindo o resistor de 1 k Ω por 10 k Ω e realizando limpeza da amostra.	1	3,30
7	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	2	2,45
8	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu segundo segmento, situado um pouco a frente do início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	2	2,28
9	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	2	2,00
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu terceiro segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	2	2,78
11	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	2	2,61
12	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3	2,71
13	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu segundo segmento, situado um pouco a frente do início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3	1,37
14	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu terceiro segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3	1,86
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e seco.	3	1,84
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e umido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.	3	3,65
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e seco.	3	3,64
18	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	3	3,28
19	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quinto segmento, situado próximo a outra extremidade do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.	3	3,12
20	Repetição da medição anterior para ajustes no disco coletor.	3	3,00
21	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quinto segmento, situado próximo a outra extremidade do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.	3	2,61
22	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	3	3,06

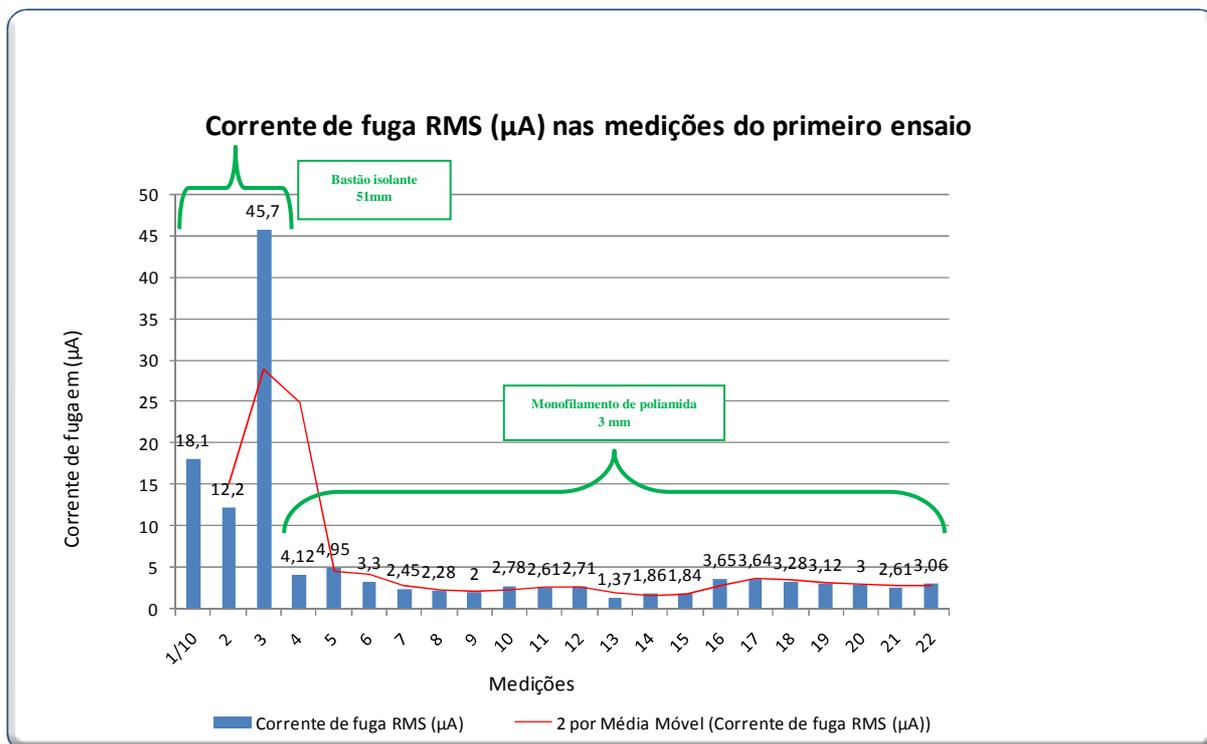


Figura 4.10: Resumo das medições do primeiro ensaio.

2º Ensaio – 25 a 26 de abril de 2013 (Resultados e Análises)

Neste segundo ensaio, realizado, conforme descrito na seção, utilizou-se as amostras apresentadas na Tabela 3.3. Comparou-se o desempenho da linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida com cordas usadas em linha de mão e linha de vida, que não são isolantes e possuem baixa suportabilidade elétrica. Também foram realizados ensaios em amostras envelhecidas, amostra de bastonete isolante e por fim, linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida com pigmentação vermelha, usada em roçadeira, no sentido de verificar a influência do corante.

Da 1ª até a 5ª medição, os ensaios foram realizados em amostras de linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida com pigmentação vermelha, usada em roçadeira. Na 1ª medição, realizada em amostra virgem, limpa e seca os valores de corrente (ver Tabela 4.11 e Figura 4.11) foram similares aos apresentados no primeiro ensaio nas amostras sem pigmentação. Isso aponta que a pigmentação não influencia na suportabilidade elétrica, sendo igualmente isolante.

Tabela 4.11: 1ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
1ª Medição	2º Ensaio	Item 5 – Tabela 3.1	Medição 1 – Tabela 3.3
Data: 25/04/13	Temp: 27,8°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,52 μ A	Corrente de fuga (pico)	4,32 μ A

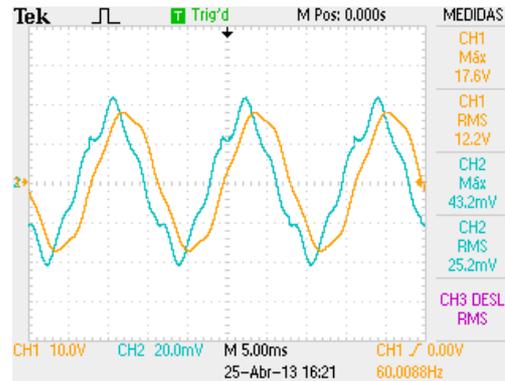


Figura 4.11: Forma de onda da 1ª Medição do 2º Ensaio.

A 2ª medição foi realizada na mesma amostra da 1ª medição, sendo, no entanto umedecida com solução de 8,9 ms de condutividade elétrica (ver Tabela 4.12 e Figura 4.12). Como era de se esperar não foi possível aplicar os 100 kV na amostra, pois a corrente de fuga apresentava valores próximos ao limite do transformador, impossibilitando o ensaio, bem como a iminência de uma descarga elétrica. Dessa forma aplicou-se apenas aproximadamente 20 kV, devido aos elevados valores de corrente de fuga, que após secagem da amostra estabilizava para valores compatíveis com amostra seca.

Tabela 4.12: 2ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
2ª Medição	2º Ensaio	Item 5 – Tabela 3.1	Medição 2 – Tabela 3.3
Data: 25/04/13	Temp: 28°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e úmido com borrifação de solução de 8,9 ms.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	0,6 μ A	Corrente de fuga (pico)	1 μ A

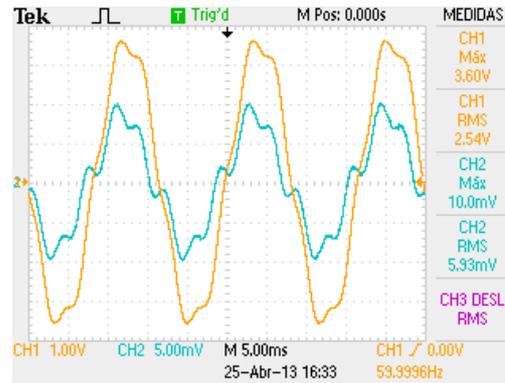


Figura 4.12: Forma de onda da 2ª Medição do 2º Ensaio.

Na 3ª medição, realizada na mesma amostra da 1ª e 2ª medições, foi realizada a limpeza da mesma com acetona e flanela limpa. Após a limpeza da amostra as condições encontradas na 1ª medição foram restauradas (ver Figura 4.13 e Tabela 4.13), demonstrando a capacidade de recuperação e facilidade de limpeza da contaminação superficial do fio sintético de monofilamento de poliamida, igualmente ao que ocorre com os consagrados bastões isolantes.

Tabela 4.13: 3ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
3ª Medição	2º Ensaio	Item 5 – Tabela 3.1	Medição 3 – Tabela 3.3
Data: 25/04/13	Temp: 28°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,59 μA	Corrente de fuga (pico)	4,56 μA

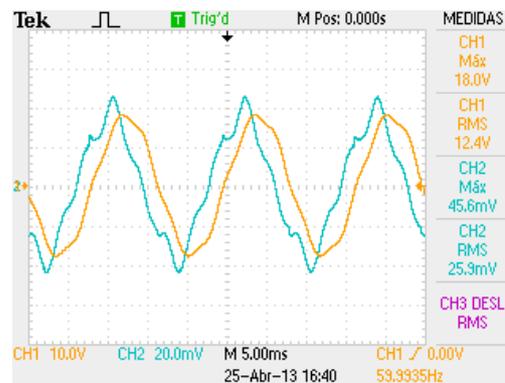


Figura 4.13: Forma de onda da 3ª Medição do 2º Ensaio.

Ainda usando as mesmas amostras das medições anteriores, na 4ª medição, foi realizada a limpeza da mesma com acetona e flanela limpa e em seguida umidificação com água. Nesta medição só conseguiu-se aplicar 50 kV, antes da abertura da descarga elétrica.

Demonstrando mais uma vez que a umidade interfere na suportabilidade elétrica da amostra (ver Figura 4.14 e Tabela 4.14).

Tabela 4.14: 4ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
4ª Medição	2º Ensaio	Item 5 – Tabela 3.1	Medição 4 – Tabela 3.3
Data: 25/04/13	Temp: 28°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e úmido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,59 μA	Corrente de fuga (pico)	4,32 μA

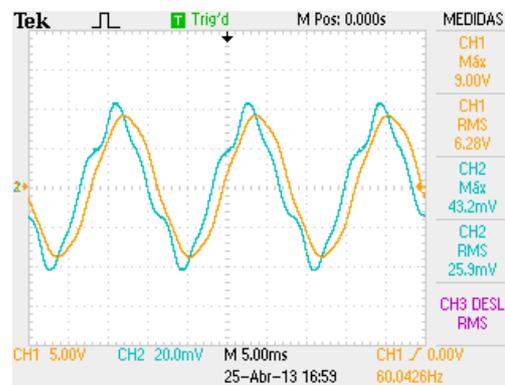


Figura 4.14: Forma de onda da 4ª Medição do 2º Ensaio.

Na 5ª medição repetiu-se a 4ª medição aumentando a tensão gradativamente. Conseguiu-se chegar aos 100 kV, no entanto após 2 minutos houve ocorrência da descarga elétrica (ver Figura 4.15 e Tabela 4.15).

Tabela 4.15: 5ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
5ª Medição	2º Ensaio	Item 5 – Tabela 3.1	Medição 5 – Tabela 3.3
Data: 25/04/13	Temp: 28°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	6,25 μA	Corrente de fuga (pico)	10,8 μA

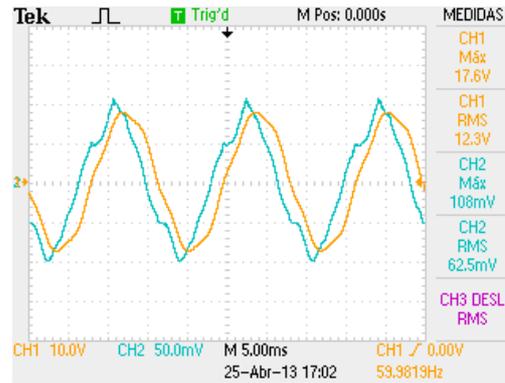


Figura 4.15: Forma de onda da 5ª Medição do 2º Ensaio.

Da 6ª a 9ª medições, utilizou-se uma amostra de bastonete isolante de 6 mm de diâmetro. Na 6ª medição utilizou-se o mesmo limpo e seco e conforme Figura 4.16 e Tabela 4.16 os valores de corrente ficaram dentro dos limites e próximos aos resultados do sintético de monofilamento de poliamida.

Tabela 4.16: 6ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
6ª Medição	2º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 6 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,4°C	URA = 72%	Rshunt = 10 k Ω
Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,56 μA	Corrente de fuga (pico)	6,08 μA

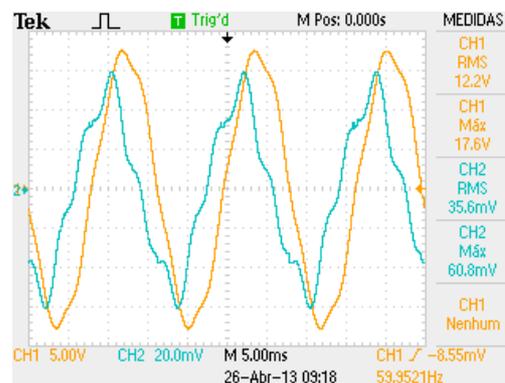


Figura 4.16: Forma de onda da 6ª Medição do 2º Ensaio.

Na 7ª medição utilizou-se a mesma amostra da 6ª medição borrifando solução de 8,9 ms de condutividade. Como resultado, mais uma vez foi verificada os efeitos danosos da umidificação da superfície da amostra, aumentando significativamente a corrente superficial, que é de natureza resistiva. Nesta medição conseguiu-se apenas aplicar 20 kV, onde logo em seguida houve ocorrência da descarga elétrica (ver Figura 4.17 e Tabela 4.17).

Tabela 4.17: 7ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
7ª Medição	2º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 7 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,4°C	URA = 70%	Rshunt = 10 k Ω
Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	29 μ A	Corrente de fuga (pico)	78 μ A

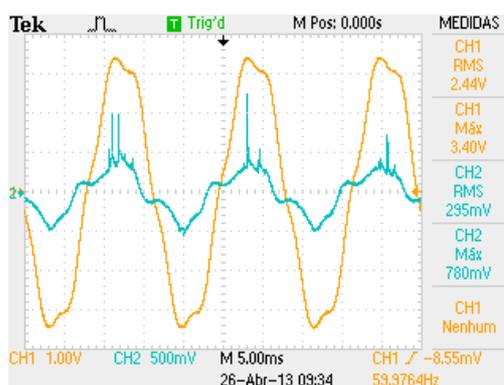


Figura 4.17: Forma de onda da 7ª Medição do 2º Ensaio.

Na 8ª medição foi realizada a limpeza da amostra com acetona e flanela limpa, verificando a restauração das condições de amostra limpa e seca, conforme apresentado na Figura 4.18 e Tabela 4.18.

Tabela 4.18: 8ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
8ª Medição	2º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 8 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,4°C	URA = 66%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	4,01 μ A	Corrente de fuga (pico)	6,6 μ A

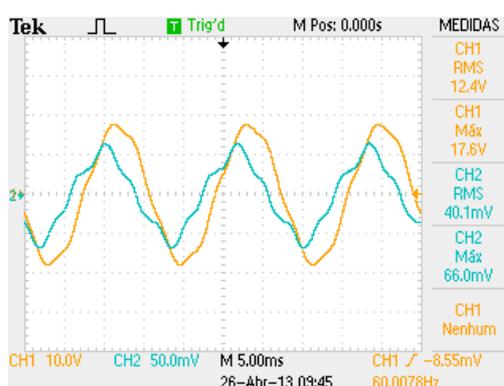


Figura 4.18: Forma de onda da 8ª Medição do 2º Ensaio.

Para encerrar os ensaios no bastonete isolante foi realizada na 9ª medição a borrifação da amostra com água da torneira do laboratório de alta tensão. Nesta medição conseguiu-se apenas aplicar 50 kV, onde logo em seguida houve ocorrência da descarga elétrica, conforme apresentado na Figura 4.19 e Tabela 4.19.

Tabela 4.19: 9ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
9ª Medição	2º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 9 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,4°C	URA = 66%	Rshunt = 10 k Ω
Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e úmido com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	49 μA	Corrente de fuga (pico)	72 μA

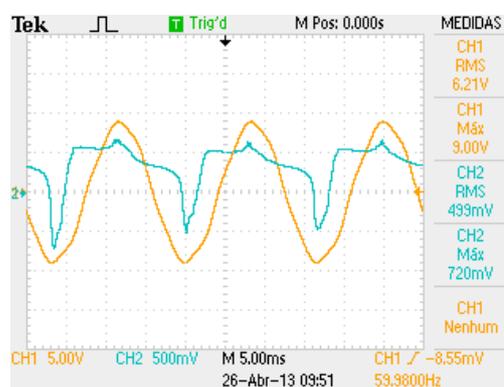


Figura 4.19: Forma de onda da 9ª Medição do 2º Ensaio.

As medições 10ª e 11ª medições, ensaiaram uma um fio sintético de monofilamento de poliamida de 4 mm de diâmetro, envelhecido na atividade de pesca, sem informação do tempo de uso em tal atividade. Para ambas as medições utilizaram-se a amostra limpa e seca. Na primeira medição (10ª), com apenas 5 kV a corrente de fuga já se excedeu dos valores típicos para esse tipo de amostra, bem como se demonstrou resistiva (ver Figura 4.20 e Tabela 4.20).

Tabela 4.20: 10ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
10ª Medição	2º Ensaio	Item 7 – Tabela 3.1	Medição 10 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,7°C	URA = 64%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 4 mm de diâmetro, Envelhecido 3 na atividade de pesca, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	4,66 μA	Corrente de fuga (pico)	6,8 μA

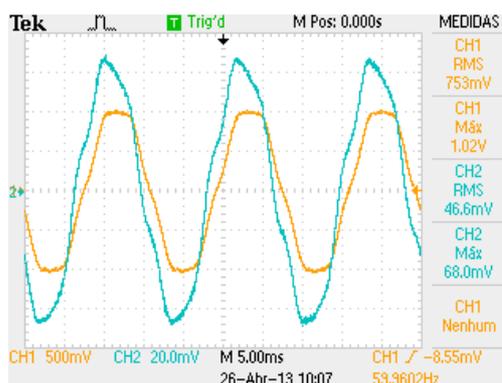


Figura 4.20: Forma de onda da 10ª Medição do 2º Ensaio.

Na segunda medição (11ª), aumentou-se gradativamente a tensão chegando até 20 kV com valores elevados da corrente de fuga, comprando-se aos valores comuns a amostras limpas e novas (ver Figura 4.21 e Tabela 4.21).

Essa amostra foi conseguida junto aos pescadores da cidade de Salvador, não se sabendo ao certo seu tempo de uso na atividade de pesca. Dessa forma seu grau de desgaste pôde ser estimado com base nas medições que apontam para uma corrente resistiva possivelmente volumétrica, tido que a superfície do material foi bem limpa antes da medição. Este ensaio aponta então que se deve haver um controle rigoroso, através de medição antes do uso, na linha de mão, a exemplo dos bastões isolantes.

Tabela 4.21: 11ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
11ª Medição	2º Ensaio	Item 7 – Tabela 3.1	Medição 11 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,7°C	URA = 64%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	12,1 μ A	Corrente de fuga (pico)	18,8 μ A

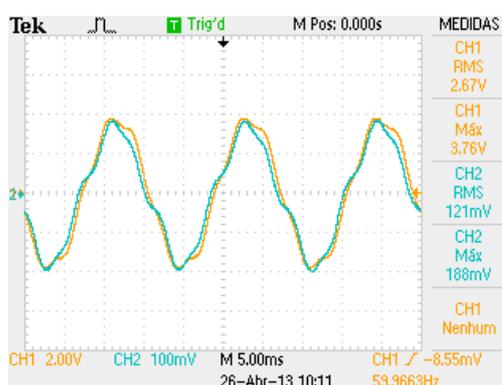


Figura 4.21: Forma de onda da 11ª Medição do 2º Ensaio.

As 12^a até 17^a medição deu continuidade as medições nas amostras de linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida com pigmentação branca leitosa de 40 metros. Na 12^a e 13^a medições utilizou-se amostras com envelhecimento equivalente a 1 intervenção (10 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente o menos danificado respectivamente (ver Figuras AC.14 / AC.15 e Tabelas AC.14 / AC.15). A 14^a e 15^a medições foram realizadas em amostras com envelhecimento equivalente a 5 intervenção (50 manobras) e 10 intervenções ou 1 dia de trabalho (100 manobras) respectivamente. As 16^a e 17^a medições se deram em amostra envelhecida no primeiro teste de campo, sendo na segunda medição (17^a) aplicada terra na amostra.

Para todas as referidas medições os valores de corrente produzidos foram similares a uma amostra virgem, ou seja, para os envelhecimentos efetuados nenhuma propriedade do material foi modificada. Para esses ensaios não se optou por borrifar nenhuma solução nas amostras, tido que, baseado nos ensaios anteriores já se conheceria os resultados.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (12^a a 17^a) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 12^a Medição – Figura AC.14 e Tabela AC.14
- 13^a Medição – Figura AC.15 e Tabela AC.15
- 14^a Medição – Figura AC.16 e Tabela AC.16
- 15^a Medição – Figura AC.17 e Tabela AC.17
- 16^a Medição – Figura AC.18 e Tabela AC.18
- 17^a Medição – Figura AC.19 e Tabela AC.19

Nas 18^a a 21^a medições foram ensaiadas as cordas, sendo as 18^a e 19^a medições para a corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e seca (18^a) e borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão (19^a). O mesmo ocorrendo para as 20^a e 21^a medições com a única diferença da amostra que foi de corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro.

Na 18^a medição mesmo a amostra de linha de vida com corda de poliamida (interno) e poliéster (externo) de 11 mm de diâmetro, estando limpa e seca, apresentou valores de corrente de fuga mais elevados do que o bastão isolante de 51 mm de diâmetro (2^a medição do 1^o ensaio), muito mais grosso (ver Figura 4.22 e Tabela 4.22). O fato se deve ao padrão de confecção das cordas serem com fios trançados, no sentido de aumentar a resistência mecânica por unidade de área. Ao mesmo tempo em que existe o aumento da carga mecânica

ocorre a diminuição da suportabilidade elétrica pelo aumento da corrente de fuga, devido aos espaços vazios entre as tranças que fazem acumular e reter a umidade do ambiente. Isso não ocorre tão facilmente nos monofilamentos, como é o caso demonstrado nesta dissertação. Observa-se que a linha de mão isolante confeccionada do mesmo material (poliamida) que a corda, somente pelo fato de ser monofilamento possui maior suportabilidade elétrica.

Tabela 4.22: 18ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
18ª Medição	2º Ensaio	Item 12 – Tabela 3.1	Medição 18 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 58%	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e seca.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	19,1 μ A	Corrente de fuga (pico)	30,4 μ A

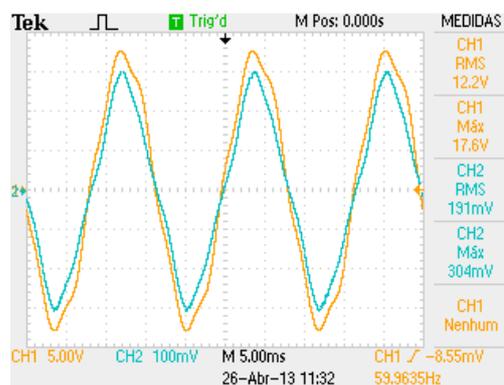


Figura 4.22: Forma de onda da 18ª Medição do 2º Ensaio.

Na 19ª medição usou-se a mesma amostra da 18ª medição, com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão e só foi possível aplicar 2 kV, com a rápida elevação da corrente de fuga (ver Figura 4.23 e Tabela 4.23). A sensibilidade da corda para a umidade é muito maior do que os monofilamentos, tornando o uso de corda totalmente inadequado para seu uso como linha de mão isolante em trabalhos em instalações energizadas.

Tabela 4.23: 19ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
19ª Medição	2º Ensaio	Item 12 – Tabela 3.1	Medição 19 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 58%	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	221 μ A	Corrente de fuga (pico)	336 μ A

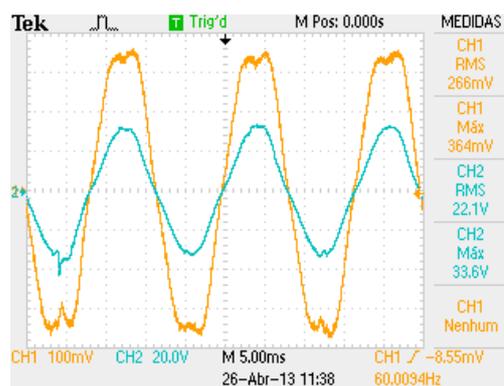


Figura 4.23: Forma de onda da 19ª Medição do 2º Ensaio.

Na 20ª medição, realizada em corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca, apenas 50 kV foi possível ser aplicado (ver Figura 4.24 e Tabela 4.24).

Tabela 4.24: 20ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
20ª Medição	2º Ensaio	Item 13 – Tabela 3.1	Medição 20 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 27,9°C	URA = 55%	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	83,5 μA	Corrente de fuga (pico)	912 μA

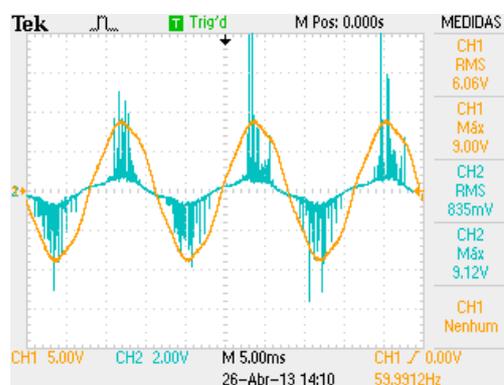


Figura 4.24: Forma de onda da 20ª Medição do 2º Ensaio.

Na 21ª medição usou-se a mesma amostra da 20ª medição, com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão e só foi possível aplicar 600 V, com a rápida elevação da corrente de fuga (ver Figura 4.25 e Tabela 4.25). Com base nos resultados do ensaio, esse tipo de corda representa um grande risco se usada como linha de mão isolante nos trabalhos em instalações energizadas, pois uma repentina mudança nas condições atmosférica poderia representar a ocorrência de uma descarga elétrica.

Tabela 4.25: 21ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
21ª Medição	2º Ensaio	Item 13 – Tabela 3.1	Medição 21 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 27,9°C	URA = 55%	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água da torneira do laboratório de alta tensão.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	599 μ A	Corrente de fuga (pico)	940 μ A

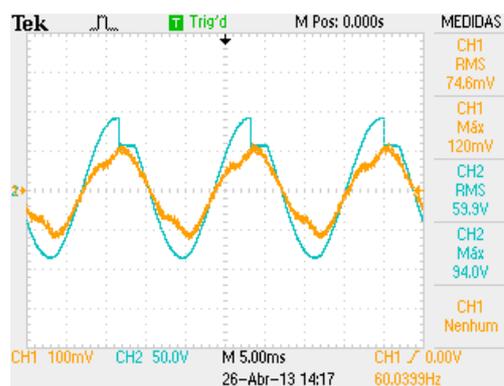


Figura 4.25: Forma de onda da 21ª Medição do 2º Ensaio.

Neste segundo ensaio foi comprovada a não suportabilidade elétrica das linhas de vida e de mão utilizadas pela Chesf. Foi relevante o fato de que a amostra de corda de linha de vida de poliamida (interno) e poliéster (externo), apesar de ser confeccionada do mesmo material da linha de mão isolante de monofilamento de poliamida, não apresenta a mesma suportabilidade elétrica. Atribui-se essa diferença ao fato de que os espaços vazios das cordas acumulam a umidade do ambiente, diminuindo significativamente sua suportabilidade elétrica. A solução é de fato utilizar materiais em forma de monofilamento, assim como são os bastões e a linha de mão isolante.

Em relação ao envelhecimento das amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida, não verificou-se nenhuma anormalidade significativa.

A cor do monofilamento de poliamida, bem como seu uso principal, seja para pescaria ou para roçadeira, não influenciam na suportabilidade elétrica.

Novamente foi observado que a umidade, representa uma grande preocupação nos materiais utilizados nos trabalhos em instalações energizadas.

A Figura 4.26 e Tabela 4.26 apresentam um resumo de todas as medições deste segundo ensaio, observando a corrente de fuga RMS, pois a corrente de pico (máxima) sofre muita variação devido aos spikes existentes nas medições.

Tabela 4.26: Resumo das medições do segundo ensaio.

Medição	Descrição	Item da Tabela 3.1	Corrente de fuga RMS (μ A)
1	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e seco.	5	2,52
2	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.	5	0,60
3	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	5	2,59
4	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor vermelha, limpo e umido com borrifação de água água da torneira do laboratório de alta tensão.	5	2,59
5	Repetição do medição anterior.	5	6,25
6	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e seco.	6	3,56
7	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifação de solução de 8,9 ms.	6	29,00
8	Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.	6	4,01
9	Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifação de água água da torneira do laboratório de alta tensão.	6	49,00
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 4 mm de diâmetro, Envelhecido 3 na atividade de pesca, limpo e seco.	7	4,66
11	Repetição do medição anterior.	7	12,10
12	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 4 com 1 intervenção (10 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	8	3,12
13	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 4 com 1 intervenção (10 manobras), no segmento menos danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	8	2,85
14	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 5 intervenções (50 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	9	3,04
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 6 com 10 intervenções (100 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.	10	3,50
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 7 no 1º teste de campo sujo do envelhecimento e seco.	11	3,12
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 7 no 1º teste de campo sujo do envelhecimento adicionado de terra inserida no próprio laboratório e seco.	11	3,05
18	Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e seca.	12	19,10
19	Corda para linha de vida de 11 mm de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água água da torneira do laboratório de alta tensão.	12	221,00
20	Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca.	13	83,50
21	Corda para linha de mão de 5/8 de polegadas de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água água da torneira do laboratório de alta tensão.	13	599,00

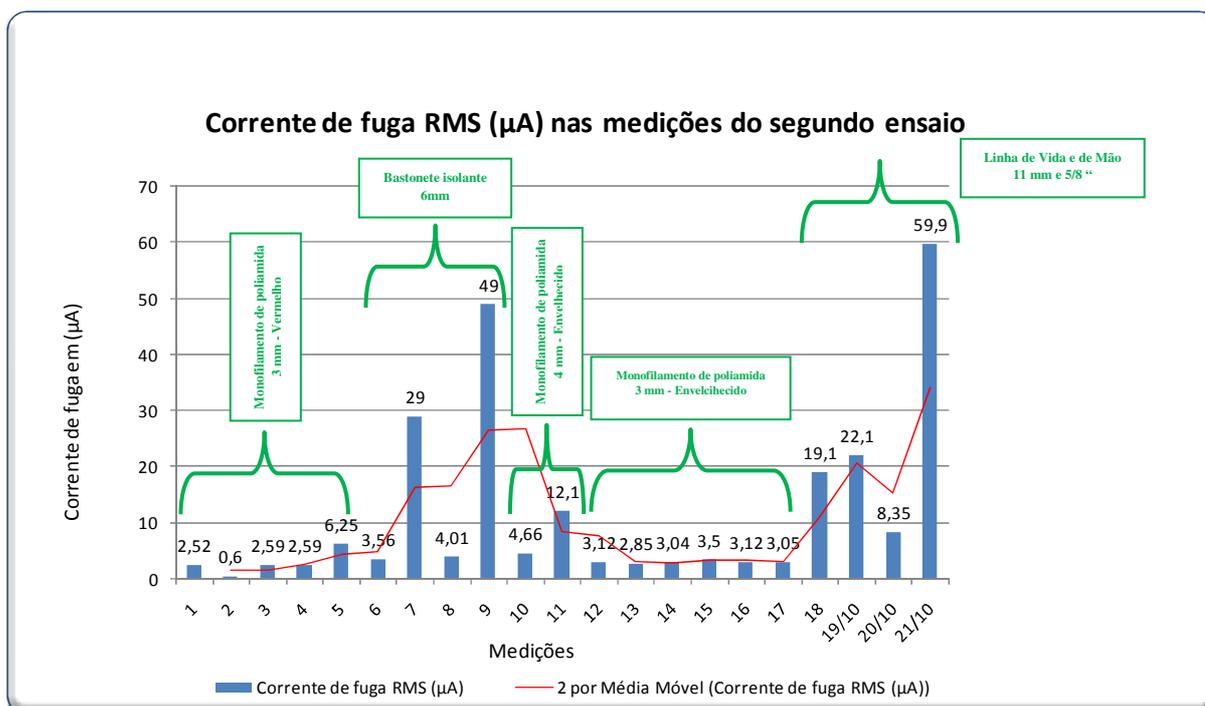


Figura 4.26.: Resumo das medições do segundo ensaio.

3º Ensaio – 17 de março de 2014 (Resultados e Análises)

Neste terceiro ensaio, realizado, conforme descrito no item 3.2.1 desta monografia, utilizou-se as amostras apresentadas na Tabela 3.4. Comparou-se o desempenho da linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida com cordas de aramida utilizadas para trabalhos em instalações energizadas com contato aos pontos energizados das instalações, ou seja, como linha de mão isolante. Estas cordas foram utilizadas nos trabalhos de substituição de cabo Pará raios de linhas de 500 kV, pela empresa prestadora de serviço à Chesf, Pro Cable. Também avaliou o desempenho de um fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro. Os bastonetes isolantes de 6 mm, foram novamente testados no sentido de sempre ter uma referência nos ensaios que sabidamente já é consagrada nos trabalhos em instalações energizadas. Por fim foram testadas amostras envelhecidas durante mais de três meses.

As 1ª a 3ª medições foram realizadas no bastonete isolante de 6 mm. No primeiro ensaio a amostra foi testada limpa e seca. Os demais ensaios borrifou-se solução de 50 μs e 25 ms respectivamente para as 2ª e 3ª medições. Os resultados ficaram dentro do esperado e do que ocorreu no segundo ensaio, para a medição com solução de 50 μs , a tensão aplicada foi aumentada gradativamente até chegar aos 100 kV. Quando se tentou chegar até o valor desejado de forma usual houve abertura da descarga elétrica. Mais uma vez demonstrada à

fragilidade dos materiais isolante utilizados em manutenção de instalações energizadas no que tange a retenção de umidade na sua superfície ou no seu interior. O fato de gradativamente aumentar a tensão fazia com que a umidade fosse sendo evaporada pela circulação da corrente de fuga na superfície da amostra. Para a solução mais concentrada de 25 ms, ocorreu a abertura da descarga elétrica com 40 kV. Não foi possível capturar a forma de onda nesse caso.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (1ª a 3ª) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 1ª Medição – Figura AC.20 e Tabela AC.20
- 2ª Medição – Figura AC.21 e Tabela AC.21
- 3ª Medição – Tabela AC.22

As 4ª a 7ª medições foram realizadas na corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, confeccionada com fios de aramida e com capa de proteção de poliéster. As 4ª e 5ª medições foram realizadas com a amostra com a capa e no primeiro caso (4ª medição) estando limpa e seca e no segundo caso (5ª medição) com borrifação de solução de 50 µs. Para o caso da 6ª e 7ª medições, a amostra foi testada sem a capa de poliéster, também no primeiro caso limpa e seca e no segundo caso com borrifação de solução de 50 µs.

Na 4ª medição, observou-se que mesmo a corda sendo própria para ter contatos com potencial, pois atende as exigências da NBR – 13018 - Corda para trabalho em instalação energizada – Transmissão, observa-se um valor para corrente de fuga (ver Figura 4.27 e Tabela 4.27) superior ao permitido para o bastão isolante de 51 mm (15 µA). Comparando com a linha de mão isolante de monofilamento de poliamida a diferença é ainda maior. Nesta medição é relevante frisar que a corda possuía um revestimento de poliéster cobrindo sua alma. Isso lhe confere certa característica de monofilamento, desejável para a ocasião, mesmo sabendo que pequenas perfurações imperceptíveis a olho nu podem invalidar essa desejável característica.

Tabela 4.27: 4ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
4ª Medição	3º Ensaio	Item 14 – Tabela 3.1	Medição 4 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: °C	URA = %	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	18,5 µA	Corrente de fuga (pico)	X

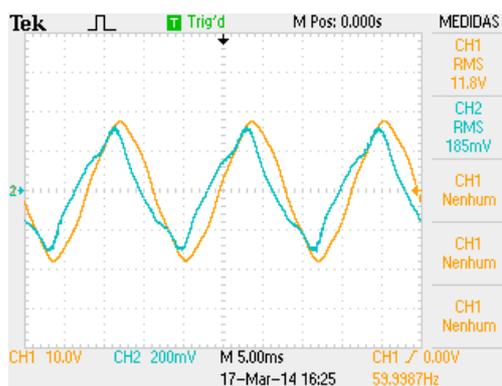


Figura 4.27: Forma de onda da 4ª Medição do 3º Ensaio.

Na 5ª medição só conseguiu-se aplicar 30 kV e de forma que esse valor foi alcançado de forma gradativa. O que já era de se esperar independente da amostra, pois a umidade na superfície do isolamento compromete sensivelmente a sua suportabilidade elétrica (ver Figura 4.28 e Tabela 4.28).

Tabela 4.28: 5ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
5ª Medição	3º Ensaio	Item 14 – Tabela 3.1	Medição 5 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, limpa e úmida com borrifação de água de 50 μs.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	19 μA	Corrente de fuga (pico)	x

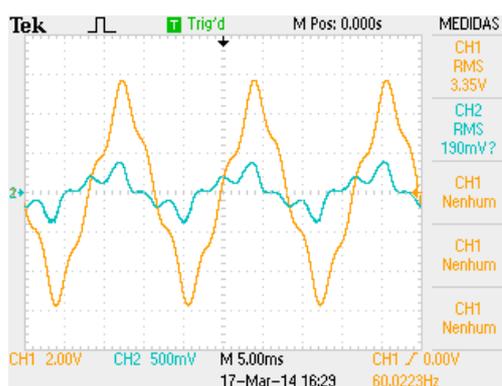


Figura 4.28: Forma de onda da 5ª Medição do 3º Ensaio.

Na 6ª medição observou-se que o fato da alma da corda ter ficado abrigada pela capa de poliéster, evitou acúmulo de umidade e contaminação. O valor medido de corrente de fuga foi menor do que a corda com a capa, no entanto a tensão final de 100 kV foi alcançada realizando acréscimos de aumento de tensão de forma gradativa. O aumento da tensão de forma convencional não foi possível pelo aumento da corrente de fuga. O aumento gradual da

tensão possivelmente ia evaporando a umidade contida na amostra (ver Figura 4.29 e Tabela 4.29).

Tabela 4.29: 6ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
6ª Medição	3º Ensaio	Item 14 – Tabela 3.1	Medição 6 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: °C	URA = %	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, sem a capa de proteção (nua), limpa e seca.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	9,22 μA	Corrente de fuga (pico)	X

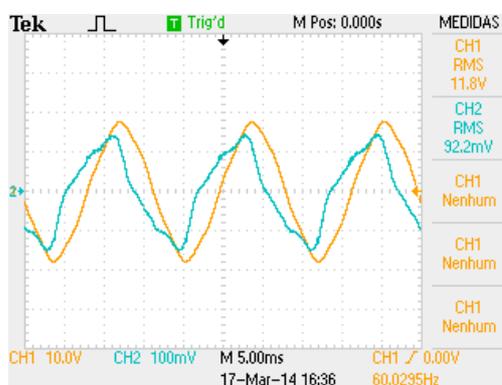


Figura 4.29: Forma de onda da 6ª Medição do 3º Ensaio.

Na 7ª medição, aplicou-se o valor de 100 kV aumentando gradativamente a tensão. Provavelmente a umidade contida na amostra evaporou, possibilitando alcançar o valor desejável. Isso apontar de maneira equivocada para uma condição não alcançada no campo onde a tensão máxima de trabalho já está presente imediatamente ao contato (ver Figura 4.30 e Tabela 4.30).

Tabela 4.30: 7ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
7ª Medição	3º Ensaio	Item 14 – Tabela 3.1	Medição 7 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, sem a capa de proteção (nua), limpa e úmida com borrifação de água de 50 μs.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	27,7 μA	Corrente de fuga (pico)	

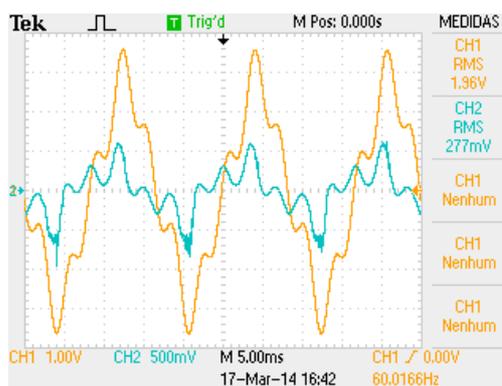


Figura 4.30: Forma de onda da 7ª Medição do 3º Ensaio.

As 8 a 16ª medições foram realizadas nas amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro envelhecido.

Da 8ª a 12ª medições utilizou-se a amostra envelhecida com três meses de exposição ao ar livre, sendo diariamente atritada mecanicamente. Nessa amostra, ensaiou-se com amostra limpa e seca (8ª medição), com borrifação de solução de 50 μ s (9ª medição) e com borrifação de solução de 25 ms (10ª medição). Em outro segmento da amostra, realizou-se a 11ª medição amostra limpa e seca e a 12ª medição com borrifação de solução de 50 μ s.

Os resultados foram compatíveis com ensaios anteriores realizados em amostras virgens, o que demonstra que o envelhecimento realizado não alterou as propriedades da amostra. Na 9ª medição, apesar do valor de corrente de fuga está semelhante ao da medição anterior onde não se tinha umidade, a tensão foi gradativamente sendo aumentada até valor de 100 kV. Na 10ª e 12ª medições ocorreu a ocorrência da descarga elétrica com 50 kV e 80 kV respectivamente, não sendo possível capturar a forma de onda.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (8ª a 12ª) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 8ª Medição – Figura AC.22 e Tabela AC.23
- 9ª Medição – Figura AC.23 e Tabela AC.24
- 10ª Medição – Tabela AC.25
- 11ª Medição – Figura AC.24 e Tabela AC.26
- 12ª Medição – Tabela AC.27

Da 13^a a 16^a medições utilizou-se a amostra envelhecida apenas com três meses de exposição ao ar livre. Nessa amostra, ensaiou-se com amostra limpa e seca (13^a e 15^a medições) e com borrifação de solução de 50 μ s (14^a e 16^a medições). As 13^a e 15^a medições, realizadas em dois segmentos da amostra, estando a mesma limpa e seca, apresentaram valores semelhantes a amostras virgem. Nas 14^a e 16^a medições, realizadas respectivamente nas amostras das medições 13^a e 15^a verificou-se para o primeiro caso (14^a medição) que a corrente de fuga praticamente foi à mesma de quando a amostra estava limpa e seca, no entanto o aumento da tensão foi realizado de forma gradativa de modo a permitir a evaporação da umidade. De outra forma o ensaio não seria possível, pois haveria ocorrência de descarga elétrica. Na 16^a medição houve ocorrência de descarga elétrica com 80 kV. Nesse ensaio optou-se por aumentar a tensão de forma convencional, da mesma forma como foi realizada com as amostras limpa e seca e com isso a evaporação da umidade contida na amostra pela circulação da corrente de fuga, não foi totalmente realizada, ocasionando a abertura de arco elétrico. Não foi possível para esse caso capturar a forma de onda.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (13^a a 16^a) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 13^a Medição – Figura AC.25 e Tabela AC.28
- 14^a Medição – Figura AC.26 e Tabela AC.29
- 15^a Medição – Figura AC.27 e Tabela AC.30
- 16^a Medição – Tabela AC.31

As 17 a 18^a medições foram realizadas nas amostras de fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro. Nas duas medições, sendo a primeira (17^a) com amostra limpa e seca e a segunda (18^a) borrifando solução de 50 μ s, os resultados foram semelhantes aos encontrados nas amostras de 3 mm. Dessa forma o aumento do diâmetro não comprometeu a aplicação da amostra para linha de mão isolante.

Na 18^a medição, mais uma vez o aumento da tensão se deu de forma gradativa. No entanto observa-se que a secagem da umidade aferida à amostra é rápida e o retorno da mesma ao estado inicial quando estava limpa é restabelecido.

As Figuras e Tabelas relativas a cada medição (17^a a 18^a) estão disponíveis no Anexo C, conforme segue:

- 17^a Medição – Figura AC.28 e Tabela AC.32
- 18^a Medição – Figura AC.29 e Tabela AC.33

Neste terceiro ensaio foi comprovada a suportabilidade elétrica das linhas de mão isolante de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro envelhecidas durante três meses com exposição ao ar livre. Uma dessas amostras foi desgastada mecanicamente durante todos os dias úteis desses três meses e a outra apenas exposta as condições climáticas (ver páginas 78 a 81).

A nova amostra de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, apresentou excelentes resultados.

Foram relevantes as comparações entre as linhas de mão isolante de fio sintético de monofilamento de poliamida e a linha de mão isolante de aramida recoberto por capa de poliéster, que apesar de ter apresentado resultados satisfatórios do ponto de vista de suportabilidade elétrica, suas correntes de fuga foram maiores do que as referidas linhas de mão isolante e dos próprios bastões isolantes.

Novamente observou-se que o fato de que das cordas possuem espaços vazios acumulam com mais facilidade a umidade e contaminação do ambiente, diminuindo significativamente sua suportabilidade elétrica. O caminho é de fato utilizar materiais em forma de monofilamento, assim como são os bastões isolantes e o fio sintético de monofilamento de poliamida.

Também foi observado que a umidade, representa uma grande preocupação nos materiais utilizados nos trabalhos em instalações energizadas.

A Figura 4.31 e a Tabela 4.31 apresenta um resumo de todas as medições deste terceiro ensaio, observando a corrente de fuga RMS.

Tabela 4.31: Resumo das medições do terceiro ensaio.

Medição	Descrição	Item da Tabela 3.1	Corrente de fuga RMS (μA)
1	Bastonete isolante de 10 mm de diâmetro, limpo e seco.	6	3,06
2	Bastonete isolante de 10 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifração de água de 50 μs .	6	3,09
3	Bastonete isolante de 10 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifração de solução de 25 ms.	6	X
4	Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, limpa e seca.	14	18,50
5	Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, limpa e umido com borrifração de água de 50 μs .	14	19,00
6	Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, sem a capa de proteção (nua), limpa e seca.	14	9,22
7	Corda para linha de mão de 3/8 de polegadas de diâmetro, sem a capa de proteção (nua), limpa e umido com borrifração de água de 50 μs .	14	27,7
8	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros, limpo e seco.	16	2,97
9	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifração de água de 50 μs .	16	2,71
10	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifração de solução de 25 ms.	16	X
11	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros, limpo e seco.	16	2,10
12	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros e umido com borrifração de água de 50 μs .	16	X
13	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros, limpo e seco.	15	1,86
14	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifração de água de 50 μs .	15	1,66
15	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros, limpo e seco.	15	1,82
16	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, envelhecido com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros e umido com borrifração de água de 50 μs .	15	X
17	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor branco leitoso, limpo e seco.	17	3
18	Fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor branco leitoso, limpo e umido com umidificação borrifração de água de 50 μs .	17	2,17

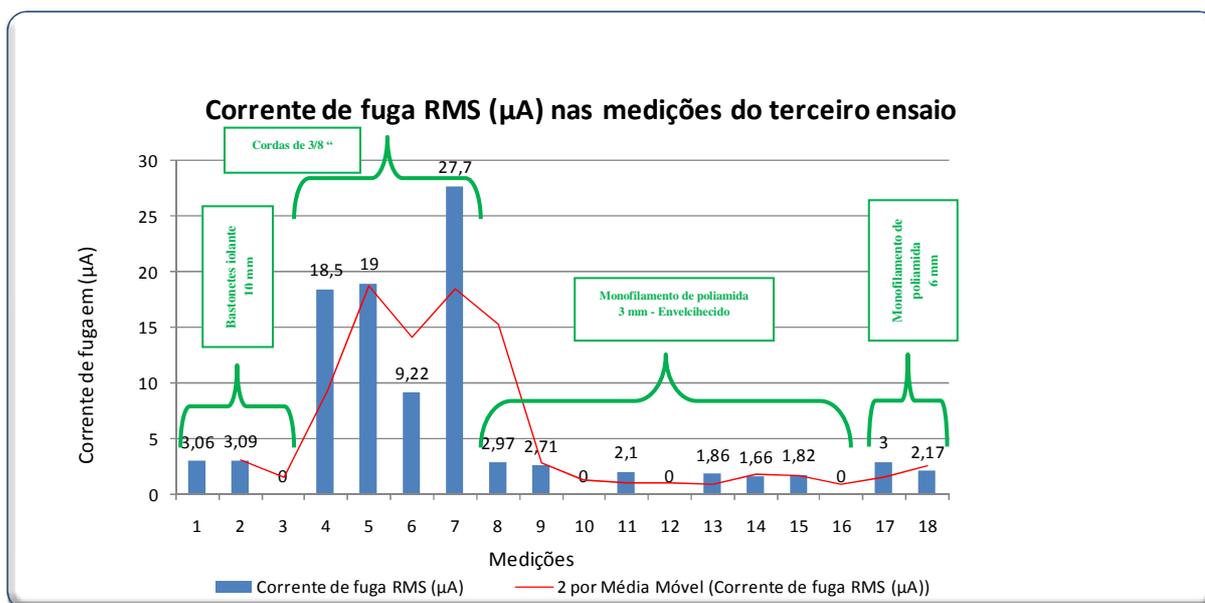


Figura 4.31: Resumo das medições do terceiro ensaio.

De maneira sintética os ensaios realizados demonstraram que a linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida pode ser uma excelente alternativa para os trabalhos em instalações energizadas. Sua suportabilidade elétrica pode ser comparada a dos consagrados bastões isolantes de fibra de vidro impregnada em epoxi glass, que a mais de 50 anos são utilizados com total sucesso nas instalações elétricas energizadas. As medições apresentaram resultados ainda melhores para a linha de mão isolante, tido sua menor espessura o que além de possuir maior resistividade elétrica, também possui menos área para agregação de contaminantes e umidade.

A cor e o aumento do diâmetro do fio sintético de monofilamento de poliamida, não representa relevância a suportabilidade elétrica, bem como os envelhecimentos impostos a amostra também não tiveram relevância.

A umidade representa uma preocupação, pois altera significativamente a suportabilidade elétrica do fio sintético. No entanto mesmo os bastões isolantes são afetados. A umidade deve ser evitada a todo custo, não a toa os trabalhos em instalações energizadas só podem ser executados com tempo bom, e sol forte.

Quando comparada com as cordas, inclusive com a linha de vida que possui fios de poliamida, ficou evidente que a característica de monofilamento deve ser perseguida pelo setor elétrico, tido que deve-se evitar os espaços vazios que acumulem contaminação e umidade, a exemplo das cordas.

Por fim a linha de mão isolante de fio sintético de monofilamento de poliamida, possui as mesmas características dos bastões isolantes, que facilmente recupera sua suportabilidade elétrica após execução de limpeza na sua superfície.

4.2 Resultados e Análises dos Testes de Campo

Nos dois testes de campo realizados, a linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida, ficou em contato com os pontos energizados durante mais de 3 horas, igualmente ao que acontece com os bastões isolantes. Nos dois casos os resultados forma satisfatório não sendo observado nenhuma anormalidade.

1º Teste de Campo – 18 de janeiro de 2013 (Resultados e Análises)

Após 2 horas em contato com o potencial de 133 kV, as medições de corrente de fuga, realizada através de multímetro, tanto na linha de mão isolante como no bastão isolante, forma de 5,1 e 4,6 μA respectivamente.

2º Teste de Campo – 04 de abril de 2013 (Resultados e Análises)

O uso da linha de mão isolante de fio sintético de monofilamento de poliamida, facilitou sobremaneira os trabalhos de aplicação de esfera de sinalização, pois ao contrário do trabalho realizado com cordas convencionais, com o uso da linha de mão isolante não existe a necessidade de se seccionar a linha de mão com bastonetes isolantes, que são pesados, bem como de manuseabilidade pouco prática.

Outro detalhe importante é que com uso de linha de mão isolante não existe a preocupação com aproximação a pontos energizados, nem cruzamento de obstáculos.

Capítulo 5 – Conclusões

Os trabalhos de manutenção em instalações energizadas são de fato muito importantes para garantir o fornecimento ininterrupto da energia elétrica. Nestes trabalhos a utilização da linha de mão para içamento de material é condição obrigatória. O manuseio da linha de mão requer cuidados, de forma a evitar acidentes por consequência de aproximação ou toque da mesma nos pontos energizados, refletindo em esforços nos trabalhos que podiam ser evitados caso ele fosse isolante

Conforme verificado nos ensaios em laboratório e testes de campo, a linha de mão isolante com fio sintético de monofilamento de poliamida, se mostrou uma opção para os trabalhos em instalações energizadas, trazendo grande vantagem quando comparada as atuais linha de mãos utilizadas nestes trabalhos. Ficou evidente que a exemplo do que ocorre nos consagrados bastões isolantes, utilizados com bastante sucesso a mais de 50 anos, a condição de monofilamento destes materiais é o grande diferencial, tido que são mais resistentes a contaminação e umidade do ambiente. As cordas apesar de serem bastante prática do ponto de vista de manuseio e operacionalidade, possui a desvantagem de acumular com facilidade a umidade e a contaminação do ambiente. Outro ponto importante é que nas amostras de monofilamento de poliamida, mesmo sendo mais difícil sua umidificação e contaminação, a remoção dessas indesejáveis impurezas são facilmente retiradas. De forma resumida as linha de mão de monofilamento de poliamida possui características semelhantes aos bastões isolantes o que é deveras desejável e recomendado.

Apesar de tudo e da mesma forma como acontece nos bastões isolante, as linha de mão isolante de monofilamento de poliamida, só deverão ser usadas em condições atmosféricas favoráveis, como dia claro, e sol forte. A umidade do ambiente pode afetar significativamente a suportabilidade elétrica desses materiais.

Conclui-se nesse primeiro momento que a linha de mão isolante para as amostras ensaiadas possui desempenho elétrico superior ou equivalente a do bastões isolantes, verificado as intensidades das correntes de fuga medidas. Os resultados ainda são preliminares, mas gera a grande expectativa de seu uso nos trabalhos em instalações energizadas.

Futuros Trabalhos

No sentido de dar continuidade aos estudos do fio sintético de monofilamento e poliamida para que seja de fato aprovada e utilizado em larga escala nos trabalhos em instalações energizadas, outros aspectos devem ser analisados, tais quais:

- Definição de novas formas de envelhecimento das amostras;
- Análise das questões mecânicas, tanto de suportabilidade como de manuseabilidade da linha de mão;
- Padronização nos ensaios com maior repetibilidade das condições;
- Padronização da forma de contaminar e umidade as amostras;
- Estudar forma de tornar a superfície das amostras hidrofóbica;
- Realizar ensaios em laboratório de forma a que a tensão aplicada seja imediatamente aferida a amostra;
- Estudo de outros fios sintéticos.

Referências Bibliográficas

ABNT, Dicionário Brasileiro de Eletricidade, 1986.

ABNT, NBR 10622 - Luvas Isolantes de Borracha, 1989.

ABNT, NBR 13018 - Corda para trabalho em instalação energizada – Transmissão, 1993.

ABNT, NBR 14540 – Bastão e escada isolante e ferragens para trabalho em instalação energizadas – Transmissão, 2000.

ABNT, NBR 7276 – Sinalização de advertência em linhas aéreas de transmissão de energia elétrica – Procedimento, 2005.

ASTM, F 711 – Fiberglass-Reinforced Plastic (FRP) Rod and Tube Used in Live Line Tools , 2012.

BEZERRA, José Maurício de Barros: Poluição em Cadeia de Isoladores: Técnicas de Monitoração, Campina Grande: UFCG (Projeto de Pesquisa), 2002.

BOGODORÓDITSKI, N.P; V. V PÁSINKOVY; B. M TARÉIEV: Materials electrotécnicos, Editorial Mirs, Moscu, 1988.

CANEVAROLO JUNIOR, Sebastião V.: Ciência dos Polímeros: Um texto b´sico para tecnólogos e engenheiros. São Paulo: Artliber, 2006.

CHESF. CHESF 20 Anos na Linha. Recife: CHESF (Edição comemorativa do I Encontro Nacional de Manutenção em Linha Energizada). 1985.

CHESF, Guia de Operação GO-MN-LT-M.001 – Ensaio Elétrico com Ritz-Tester em Equipamentos Isolantes - 3ª Edição. Recife, 2010.

CHESF, Guia de Operação GO-MN-LT-M.003 – Ensaio Elétrico de Continuidade da Vestimenta Condutiva - 1ª Edição. Recife, 1999.

CHESF, Instrução de Manutenção IM-MN-LT-M.080 – Técnicas de Trabalhos em Altura - 6ª Edição. Recife, 2013.

CHESF, Instrução de Manutenção IM-MN-LT-M.003 – Substituição de Isoladores em Cadeias de Suspensão em “I”, 230 kV Estruturas Metálicas, Método a Distância - 5ª Edição. Recife, 2008.

CHESF, Norma de Manutenção NM-MN-LT-L.002 – Manutenção em Linhas de Transmissão e Barramentos Energizados - 8ª Edição. Recife, 2011.

COSTA, Edson Guedes: Curso de Dielétricos. Campina Grande: UFCG (Apostila da disciplina do Mestrado em Engenharia Elétrica), 2012.

COSTA, Edson Guedes: Curso de Técnicas de Alta Tensão. Campina Grande: UFCG (Apostila da disciplina do Mestrado em Engenharia Elétrica), 2012.

FERREIRA, Tarso Vilela: Estimaco Inteligente da Poluio de Isolamentos Elétricos Baseada nos VECSE do Ruído Ultrassônico, Campina Grande: UFCG (Tese de Doutorado), 2011.

FUCHS, Rubens Drio: Transmisso de Energia Elétrica: Linhas Aéreas, Rio de Janeiro, Livros Técnicos e Científicos; Itajubá, Escola Federal de Engenharia, 1977.

GELA, Georfe Gela, Paul W, Hotte e Marc Charest, IEC Method of Calculation of Minimum Approach Distances for Live Working, IEEE Member, 2000.

IEC 61472, Live working - Minimum approach distances for a.c. systems in the voltage range 72,5 kV to 800 kV - A method of calculation, 2004.

IEEE 516, Guide for Maintenance Methods on Energized Power Lines, 2009.

LUNA, Aelfo Marques: Materiais de Engenharia Elétrica, Vol I. Recife, 2006.

MACIEL, Dênis Augusto de Souza. Procedimentos de Testes e Manuteno de Bastões Isolantes nas Intervenes com Linha Energizada. Recife: UPE. (TCC de Especializao em Engenharia de Segurana do Trabalho). 2008.

PACHEKOSKI, Wagner M.: Classificao dos Polímeros, Curso Engenharia Mecânica, Senai CIMATEC, 2010.

RODRIGUES, Cesar R.: Materiais Elétricos e Eletrnicos, Disponível em <http://coral.ufsm.br/materiais/isolante.pdf>. Acessado em: 10/12/2013.

WIKIPEDIA: Fibras, Disponível em <http://pt.wikipedia.org/wiki/Fibra>. Acessado em: 23/02/2014.

YOUTUBE: Alta voltagem (High voltage), Disponível em http://www.youtube.com/watch?v=7_dKoOCIMaA. Acessado em: 20/01/2014.

Anexo A - Publicação no XX II SNPTEE



**XXII SNPTEE
SEMINÁRIO NACIONAL
DE PRODUÇÃO E
TRANSMISSÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

BR/GMI/15
13 a 16 de Outubro de 2013
Brasília - DF

GRUPO – XII

GRUPO DE ESTUDO DE ASPECTOS TÉCNICOS E GERENCIAIS DA MANUTENÇÃO - GMI

UTILIZAÇÃO DE FIO SINTÉTICO EM TRABALHOS COM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS

Gomes, A. M. D. M. B
CHESF

Xavier, G. J. D. V
CHESF

Costa, E. G.
UFCG

Ferreira, T. V
UFCG

RESUMO

Nos trabalhos de manutenção em instalações energizadas é necessário respeitar uma série de parâmetros, sendo o mais crítico, a distância de segurança. Nesses trabalhos a linha de mão (corda de serviço) desloca os componentes do alto das estruturas ao solo. Feita de cordas, com fios trançados não são consideradas isolantes. Assim, torna-se necessário manter a linha de mão a uma distância horizontal relativamente grande do ponto energizado, gerando dispêndio de tempo e esforços físicos. Este trabalho apresenta os ensaios em laboratório e testes de campo, feitos em uma linha de mão isolante, constituída de fio sintético de monofilamento de poliamida.

PALAVRAS-CHAVE

Trabalhos em Instalações Energizadas, Linha de Mão, Distância de Segurança

1.0 - INTRODUÇÃO

As técnicas de manutenção em instalações energizada são consagradas no setor elétrico nacional e internacional. Graças a elas é possível manter a disponibilidade das linhas e subestações a níveis tolerados pela sociedade, bem como atender as exigências regulamentares. Para uma maior confiabilidade e a segurança dos trabalhos é necessário respeitar uma série de parâmetros, sendo o mais crítico, a distância de segurança entre o ponto energizado e o profissional, bem como qualquer parte acoplada ao seu corpo para o potencial. Isto ocorre quando os profissionais fazem uso de equipamentos isolantes, como no caso de trabalhos à distância. Grande parte dos trabalhos se dá nas linhas de transmissão, onde se trabalha no alto das estruturas sendo para isso necessário descer e subir material. Entre os materiais estão os próprios equipamentos inerentes à manutenção, bem como os componentes que serão substituídos, ajustados ou consertados. Para isso, usam-se cordas de seda, sisal, ou de qualquer material que apresente uma alta carga de ruptura, em torno de 300 a 400 kg. Contudo, as cordas não são consideradas isolantes. Elas permitem o acúmulo de poeira, sais e óleos que juntamente com a umidade do ambiente, diminui sua resistência elétrica, aumenta a corrente de fuga e o risco de um flashover entre a fase e a referida linha de mão, caso ela se aproxime do ponto energizado, além do aquecimento, com risco da auto combustão.

Como pode ser visto, a linha de mão deve apresentar as mesmas condições de isolamento estabelecidas para o homem. Com essa atitude se preserva a instalação e a integridade física dos eletricitistas que estão no alto da estrutura, e principalmente os homens que estão no solo. Assim, para garantir a integridade física dos eletricitistas, torna-se necessário içar ou descer os equipamentos, ferramentas ou componentes a uma distância horizontal do ponto energizado relativamente grande. Este procedimento gera dispêndio de tempo e esforços físicos. Alternativamente podem-se usar cordas isolantes fabricadas principalmente de aramida para vencer essa barreira, no entanto, mesmo com controle muito rigoroso há histórico de acidentes e incidentes no setor elétrico por descuido em seu manuseio. A ocorrência de mudanças climáticas repentinas ou desgaste e ruptura de suas fibras aumenta o risco do rompimento da corda pelo aumento da corrente de fuga. Assim neste trabalho é apresentada a utilização de fio sintético de monofilamento, entre ele o de poliamida, que pode ser usados em substituição às

(*) Rua Delmiro Gouveia, n° 333 – Edifício André Falcão, Sala C 306 - Bloco C – CEP Recife, PE, Brasil
Tel: (+55 81) 3229-2893 – Fax: (+55 81) 3229-2878 – Email: amborja@chesf.gov.br

cordas. Ensaio em laboratório e testes em intervenções em instalações energizadas foram realizados comprovando a eficiência de tal linha de mão. A aplicação da linha de mão isolante reduz significativamente o dispêndio de tempo e esforços físicos. Assim, a diminuição dos esforços nas intervenções com linhas energizadas, somada aos aumentos da segurança e da confiabilidade, quando comparado com as cordas, são os fatores de motivação deste trabalho.

2.0 - TRABALHOS EM INSTALAÇÕES ENERGIZADAS

Ao realizar manutenção em instalações energizadas, é necessário, em grande parte desses trabalhos, o içamento de materiais e equipamentos com uso de linha de mão, que é uma corda de tecido, por vezes, de seda ou de sisal. Tal linha não pode ser considerado isolante e deve se manter distante dos pontos energizados de acordo com os limites estabelecidos [1].

TABELA 1 – DISTÂNCIA DE SEGURANÇA

TENSÃO (kV)	DISTÂNCIA DO PROFISSIONAL NA PARTE ATERRADA PARA AS PARTES ENERGIZADAS (m)
11,9 a 69	0,95
138	1,10
230	1,55
500	3,40

Devido a linha de mão não ser considerada isolante e conseqüentemente ter de obedecer a distância de segurança, os componentes a serem substituídos ou reparados deverão ser transferidos da parte energizada até a estrutura (parte aterrada).



FIGURA 1 – EXEMPLO DE TRABALHO ENERGIZADA REALIZADO A DISTÂNCIA [2]

3.0 - ENSAIOS EM LABORATÓRIO

Os ensaios foram realizados no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande. De forma a validar a suportabilidade elétrica da linha de mão isolante, com medição de corrente de fuga. Para efeito comparativo, foi utilizado como padrão os ensaios de recebimento de bastão isolante [3]. Nos ensaios aplicou-se uma diferença de potencial (valor de crista dividido por 2) de 100 kV em 30 cm de bastão, medindo sua corrente de fuga comparando com o valor de referência.

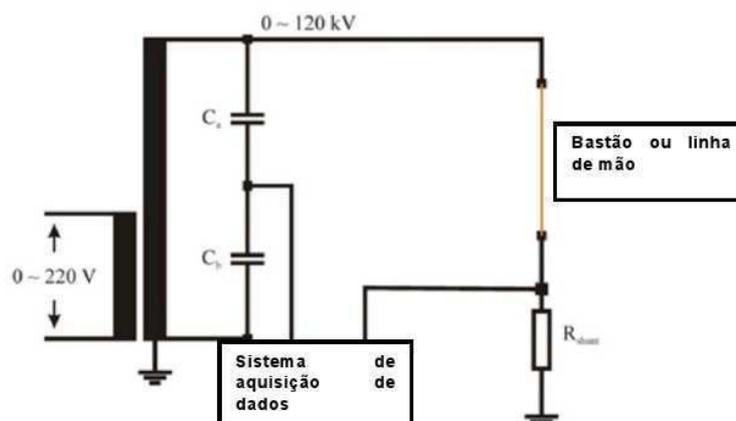


FIGURA 2 – Arranjo da montagem do ensaios de suportabilidade elétrica com medição da corrente de fuga

O primeiro teste foi realizado em um bastão isolante de 51 mm de diâmetro, estando o mesmo limpo. Como padrão[3], o valor da corrente de fuga não pode ser superior a $15 \mu\text{A}$. Nos testes foram obtidos $11,9 \mu\text{A}$ de corrente de fuga. O ponto de referência são bastões isolantes utilizados há mais de 40 anos nos trabalhos em instalações energizadas com muito sucesso.



FIGURA 3 – ENSAIO EM BASTÃO ISOLANTE DE 51 mm LIMPO

2.1 Amostras de linha de mão isolante para ensaio

Para os ensaios com amostras de linha de mão isolante foram disponibilizadas três linhas com 40 metros cada. O diâmetro das amostras é de 3 mm. A primeira que nunca foi utilizada (nova), a segunda com dez outras manobras (1 intervenção) e a terceira com 50 manobras (meio dia de trabalho - 5 intervenções). Uma manobra foi considerada como sendo uma subida e descida de uma cadeia de isoladores, com 16 discos (56 kg aproximadamente - 3,5 kg cada isolador), usando a linha de mão para essa tarefa. A intenção era envelhecer e estressar a linha de mão do ponto de vista mecânico, principalmente para poluí-la em condições de trabalho, ou seja, sujá-la como os contaminantes do ambiente. Vale salientar que os ensaios de envelhecimento em campo foram realizados em condições a considerar a linha de mão isolante como sendo não isolante, respeitando a distância de segurança a partir do ponto energizado, pois ainda estava em testes para a finalidade de isolamento.



FIGURA 4 –Vista do arranjo de envelhecimento DAS AMOSTRAS

Ensaio de tensão aplicada com medição da corrente de fuga foram realizados utilizando-se as amostras da linha de mão da mesma forma como realizado no bastão isolante.



FIGURA 5 – VISTA DO ENSAIO EM LINHA DE MÃO ISOLANTE LIMPA

2.2 Análise dos Resultados

Os ensaios nos bastões isolantes e na linha de mão isolante com amostras limpas e sujas foram realizados. Como avaliação preliminar, o objetivo do ensaio era verificar a robustez a linha de mão isolante a poluição natural advinda do campo. A Tabela 2 explicita os resultados dos ensaios. Todos os ensaios foram realizados no dia 18 e 19/12/2013.

TABELA 2 – RESULTADOS DOS ENSAIOS NAS AMOSTRAS DE LINHA DE MÃO ISOLANTE

Item	Amostra	Temperatura (°C)	URA (%)	Corrente de Fuga (µA) - RMS
1	Bastão de Manobra 51 mm - Limpo	28,1	52	11,90 (15)
2	Bastão de Manobra 51 mm – Sujo	28,1	52	40,00 (15)

3	Linha de mão isolanete 3 mm – Limpa (amostra nova)	28,1	52	4,12
4	Linha de mão isolanete 3 mm – Suja (amostra nova)	28,1	52	4,95
5	Linha de mão isolanete 3 mm – Limpa (amostra 1 intervenção)	29,0	45	3,30
6	Linha de mão isolanete 3 mm – Limpa (amostra 5 intervenção)	27,6	58	2,90

Para efeito comparativo os bastões isolantes serão utilizados como referência dada sua confiabilidade histórica nos trabalhos de manutenção em instalações energizadas. Analisando separadamente os testes realizados nos bastões isolantes, verificou-se que na condição limpa, a intensidade da corrente de fuga permanece inferior ao limite permitido, ou seja, menor do que $15 \mu\text{A}$, no caso, $11,9 \mu\text{A}$. Na condição de poluído, naturalmente e proposadamente em serviço, a corrente do bastão ultrapassa o valor limite ($15 \mu\text{A}$), atingindo a intensidade de $40 \mu\text{A}$, comprovando a vulnerabilidade da corrente de fuga superficial do bastão isolante a umidade e poluição.

Como pode ser visto pelos valores dos testes 3 e 4 (ver Tabela 2), a linha de mão isolante apresenta correntes de fuga menores quando comparadas com as correntes de fuga dos bastões. As intensidades das correntes de fuga das linhas de mão, nas condições limpa e poluído, naturalmente e proposadamente em serviço são $4,12 \mu\text{A}$ e $4,95 \mu\text{A}$, respectivamente. Constatou-se também durante os ensaios das linhas de mão uma aumento de $0,83 \mu\text{A}$, que representa aproximadamente 20% do valor inicial, enquanto que no bastão foi constatado um aumento de 236%. Isso mostra mais uma vantagem da linha de mão isolante mesmo comparada ao bastão, pois além de apresentar uma menor corrente de fuga, apresenta maior robustez quanto a resistência a contaminantes. Sua menor área de superfície quando comparada aos bastões precisamente é a razão dessa boa característica.

Na Figura 6, pode ser vista a característica capacitiva da corrente, no caso de linha de mão isolante limpa. Analogamente na Figura 7, observa-se a corrente superficial resistiva que circula no bastão quando poluído por utilização em campo.

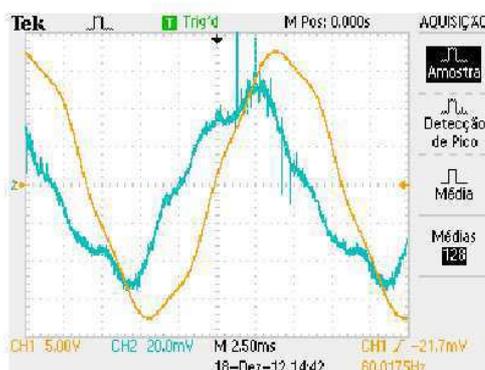


FIGURA 6 – FORMAS DE ONDA DE TENSÃO (LARANJA) E CORRENTE (AZUL) DO ENSAIO 5

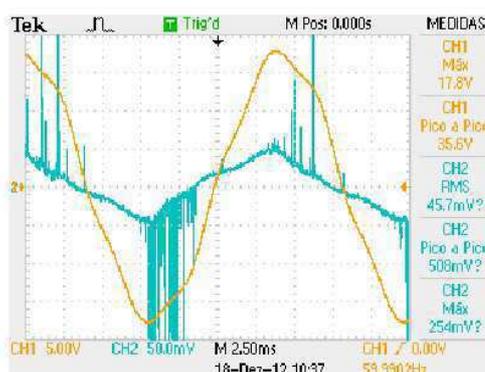


FIGURA 7 – FORMAS DE ONDA DE TENSÃO (LARANJA) E CORRENTE (AZUL) DO ENSAIO 2

4.0 - TESTES EMCAMPO

Após o apontamento dos ensaios em laboratório ser positivo para o uso de linha de mão isolante (monofilamento de políamida) nos trabalhos em instalações energizadas, utilizou-se a referida linha em um trabalho com instalação energizada. O referido trabalho foi uma colocação de esfera de sinalização com uso de cordas, onde tem-se uma grande preocupação com as fases que ficam abaixo do cabo para raios. Com o uso da linha de mão isolante essa preocupação foi resolvida e o trabalho foi feito com um menor tempo e com menos esforço.

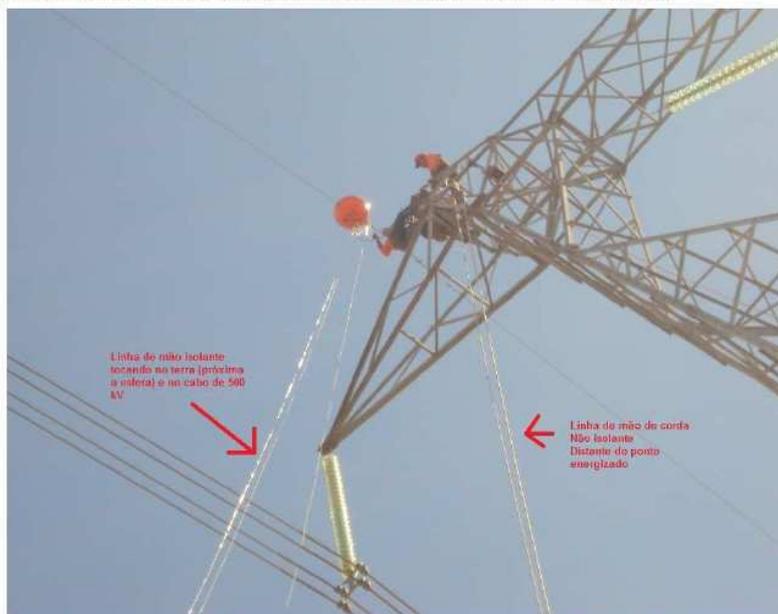


FIGURA 8 – COLOCAÇÃO DE ESFERA DE SINALIZAÇÃO COM USO DE LINHA DE MÃO ISOLANTE

5.0 - CONCLUSÃO

Conclui-se nesse primeiro momento que a linha de mão isolante para as amostras ensaiadas possui desempenho elétrico superior ou equivalente a do bastão isolante de 51 mm, pois as intensidades das correntes de fuga medidas apresentam valores inferiores aos limites indicados nos ensaios de avaliação dos bastões. Os resultados ainda são preliminares, mas gera a grande expectativa de seu uso nos trabalhos em instalações energizadas. Outro ponto que merece destaque é o fato de que a linha de mão isolante é mais robusta a contaminação superficial do que o bastão isolante, para os ensaios realizados até o presente.

6.0 - REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- (1) NM-MN-LT-L.002 – Manutenção em Linhas de Transmissão e Barramentos Energizados – 8ª Edição - 2011
- (2) IM-MN-LT-L.003 – Substituição de Isoladores em Cadeias de Suspensão em "I", 230 kV – Estruturas Metálicas – Método a Distância – 5ª Edição - 2008
- (3) NBR - 14540 – Bastão e Escada Isolante e Ferragens para Trabalho em Instalação Energizada - Transmissão

7.0 - DADOS BIOGRÁFICOS

Alexandre Manoel de Medeiros Borja Gomes
 Natal - 1977
 UFRN – 2002 / UEPB – 2011
 Engenheiro Eletricista da Chesf desde 2002 atuando na área de manutenção de linhas de transmissão

Anexo B - Publicação no ISH-2013

USE OF INSULATING SYNTHETIC SINGLE FILAMENT LINES IN ONLINE INTERVENTIONS

Alexandre Gomes^{1*}, Edson Costa² and Tarso Ferreira³

¹Transmission Lines Methodization Division, Hydroelectric Company of São Francisco, Brazil

^{2,3}Electrical E, Federal University of Campina Grande, Brazil

* amborja@chef.gov.br

Abstract. This paper presents the trials and tests performed employing insulating synthetic single filament lines in online interventions, instead of the traditional non-insulating multifilament ropes, in energized facilities. The monofilament line is composed of polyamide (nylon), which has shown satisfactory electrical performance. The employment of insulating lines facilitates interventions in energized facilities, since the traditional ropes are not considered insulating material, and therefore they must respect all the recommended safety distances. Before the use in energized facilities, tests were performed dielectric in the High Voltage Laboratory of the Federal University of Campina Grande. In these tests, a traditional insulating hot stick was taken as reference, due to its reliability and long term use in online interventions. After the laboratory tests, some interventions were executed employing the insulating line. The results are promising, since the use of such line reduces time and effort, and also increases process safety.

1 PRESENTATION

Maintenance techniques on energized facilities are enshrined in the electricity sector. Thanks to them, it is possible to maintain the availability of facilities at levels tolerated by society and the regulation. For its feasibility and also for the safety of the involved personnel, it is necessary to observe various parameters, and the most critical is the safety distance. Much of the work in transmission lines (TL) occurs meters away from the ground, in the structures, requiring lifting and lowering of maintenance material and equipment. For this purpose, traditionally, multifilament ropes made of silk, natural fibers or any material with sufficient tensile strength (about 300 400 kg) are used. However, these ropes are not considered insulating material. They accumulate several kinds of pollution in their braiding, such as dust, salts, lubricant. These contaminants, associated with the atmosphere humidity, greatly reduce the ropes electrical resistance, increasing the leakage current and the risk of flashover or accidents. So, when working on energized facilities, ropes must respect the same safety distances defined for humans, assuring the physical integrity of the facility and professionals. This limitation, however difficult the procedures, since the physical efforts are increased.

Some alternatives have been proposed along the years, aiming to overcome those barriers, such as ropes composed of aramid fibers. However, even with strict security control, accidents and incidents have been reported. The occurrence of sudden weather changes or physical damages to the fibers in the rope are pointed as causes of reduction of ropes insulating capacity, increasing the leakage current. Furthermore, the lack of testing

procedures and mechanisms for those ropes is a point of concern.

Thus, use of insulating synthetic single filament lines (ISSFL), in this paper specifically polyamide (nylon), is investigated. The decrease in the physical efforts in the interventions with energized facilities, along with increased safety and reliability, when compared with ropes, are the motivating factors of this work. The results of laboratory and field tests show a promising perspective for the use of this material.

2 WORK IN ENERGIZED INSTALLATIONS

Maintenance in energized facilities demands the lifting of materials and equipment, usually performed using multifilament ropes. Several materials are employed in the constitution of such ropes, as fabric, silk or other organic fibers. Those lines can not be considered insulating material, and the safety distances between energized areas and the ropes must be respected, as shown in Figure 1. These distances (according to the Brazilian standards) are presented in Table 1.

VOLTAGE (kV)	ELECTRICIAN ON TH GROUNDED FOR ENERGIZED PARTS (m)
11,9 a 69	0,95
138	1,10
230	1,55
500	3,40

Table 1: Safety Distance [1]

Once the ISSFL does not need to respect those safety distances, equipment and components can be lifted directly from the ground to energized

parts, accelerating the process and reducing efforts.

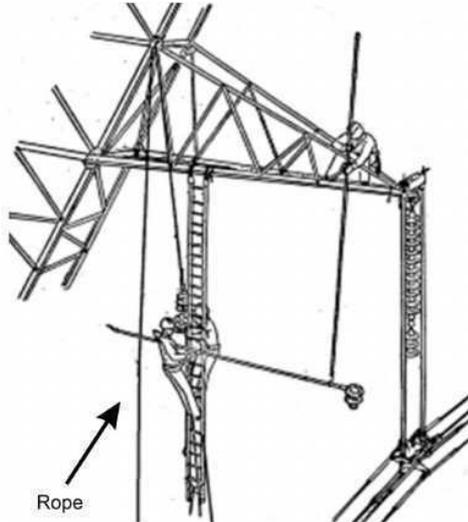


Figure 2: Energized installation intervention using a rope [2]

3 LABORATORY TESTS

The tests were performed in the High Voltage Laboratory (LAT) of the Federal University of Campina Grande (UFCG). In order to evaluate the dielectric strength of the ISSFL, a hot stick was used as reference, and the standard tests [3] for hot sticks were executed both in the stick and in the ISSFL. In these tests 100 kV was applied to section of 30 cm, and the leakage current was compared with the reference value. The circuit topology employed in the test is shown in Figure 2.

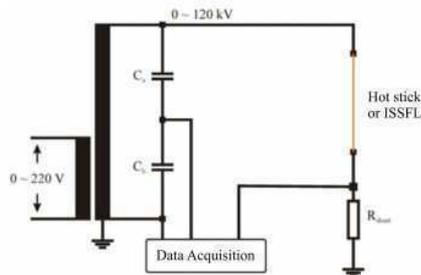


Figure 2: Test scheme.

The first test was performed in a clean hot stick, with a diameter of 51 mm. According to the standard, the maximum admissible leakage current is 15 μA . The test resulted in 11.9 μA , for a clean stick. This value was taken as reference, since this kind of hot stick are used in live-line working for

more than 40 years, with success and reliability. The test assembly is shown in Figure 3.



Figure 3: 51 mm hot stick test.

3.1 ISSFL Samples

Aiming to test the aged ISSFL behavior over time, 3 samples, with length of 40 m each, were tested. The samples can be characterized as follows:

- Never used (new);
- Aged by 10 maneuvers (1 intervention);
- Aged by 50 maneuvers (half day of work, 5 interventions).

A maneuver is considered to be a rise and fall of an entire insulator string with 16 discs (approximately 56 kg, 3.5 kg each insulator). The intention was mechanically age and stress the ISSFL, and also contaminate two of the samples with the typical environment pollutants. It is worth noting that the aging process was carried out in offline installations, since the ISSFL reliability was not settled. Then, the ISSFL were tested in the same way as the hot sticks. Those tests can be seen in Figure 4. Samples preparation procedures can be seen in Figure 5.



Figure 4: Test at insulating hand line clean



Figure 5: Sample preparation

3.2 Results and Analysis

The polluted samples were prepared with a solution of tap water and local dirt. It is clear that the reproducibility of the tests were compromised, however, as first attempts, the objective was compare the performance of both structures, hot stick and ISSFL. The pollutant was then applied to the samples, in a uniform disposition. Table 2 shows some test results.

Sample	Temp (°C)	Umid.(%)	Current (μA _{RMS})
Hot stick - Clean	28,1	52	11,90
Hot stick - Polluted	28,1	52	40,00
Clean ISSFL (new sample)	28,1	52	4,12
Polluted ISSFL (new sample)	28,1	52	4,95
Clean ISSFL (1 intervention)	29,0	45	3,30
Clean ISSFL (5 interventions)	27,6	58	2,90

Table 2: Test results on samples of hand line.

Analyzing the tests performed on the clean hot stick, its clear that the current is within the limits, ie less than 15.00 μA. When the pollution is applied, however, leakage current exceeds the threshold, reaching 40 μA. This result was expected, since

the susceptibility of hot sticks to pollution is well reported by professionals in this area, so its success is tied to a rigid control.

The new samples, however, were capable of maintain low levels of leakage current, even when polluted. The increase of leakage current was small, about 0.83 μA, which is aproximete 20% of the initial value, much smaller than approximately 236% recorded in the stick test. This behaviour may be associated with the cross section of each structure, and directly connected to the superficial conductivity. Figure 6 and Figure 7 show some waveforms captured during the tests with ISSFL.

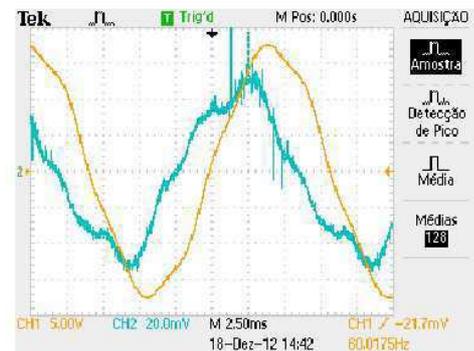


Figure 6: Waveform voltage (orange) and current (blue) test 5

In Figure 6, it is easy to observe the characteristic of the capacitive current in the case clean ISSFL. Similarly, Figure 7 shows the (mostly) resistive surface current flowing in the surface of a polluted hot stick..

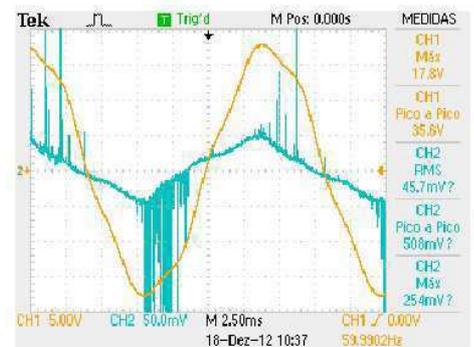


Figure 7: Waveform voltage (orange) and current (blue) test 2

4 FIELD TEST

After the laboratory tests indicate the viability of ISSFL use in the field, an intervention in a

energized installation was performed. The task was the installation of a signalization sphere with ISSFL, since the use of ropes are a major concern due to the phases below the cables in which the sphere is installed. Figure 8 shows the intervention. The use of ISSFL turned the task easier and less exasutive.



Figure 6: Placing signalization sphere.

5 CONCLUSION

In this first moment, it was concluded that the ISSFL is viable. In the executed tests, the ISSFL performed better than the hot stick in all the cases.

This leads to great expectations of its use in the technique in energized facilities. The ISSFL showed itself more robust to surface contamination than the hot sticks.

6 REFERENCES

- [1] NM-MN-LT-L.002 - Maintenance Transmission Lines and Buses Energized - 8th Edition - 2011
- [2] IM-MN-LT-L.003 - Replace Suspension Insulators in Chains "I", 230 kV - Steel Structures - Method Distance Learning - 5th Edition - 2008
- [3] NBR - 14540 - Wand and Stair Insulator Hardware and Installation Work in Energized - Transmission

Anexo C – Figuras e Tabelas dos Ensaio

Tabela AC.1: 7ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
7ª Medição	1º Ensaio	Item 2 – Tabela 3.1	Medição 7 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 29°C	URA = 45%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,45 μ A	Corrente de fuga (pico)	5,44 μ A

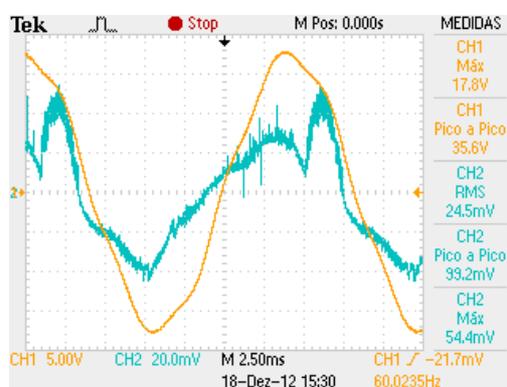


Figura AC.1: Forma de onda da 7ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.2: 8ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
8ª Medição	1º Ensaio	Item 2 – Tabela 3.1	Medição 8 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 29°C	URA = 45%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu segundo segmento, situado um pouco a frente do início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,28 μ A	Corrente de fuga (pico)	6,24 μ A

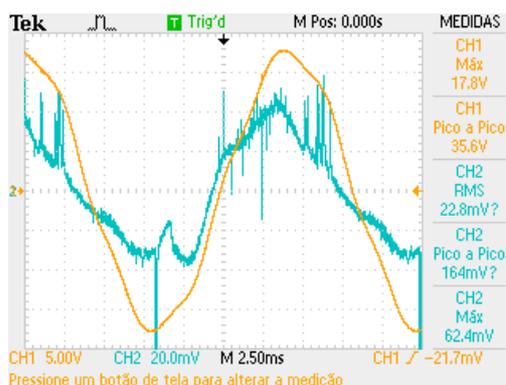


Figura AC.2: Forma de onda da 8ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.3: 9ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
9ª Medição	1º Ensaio	Item 2 – Tabela 3.1	Medição 9 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 29°C	URA = 45%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior realizando a limpeza com álcool 100% e flanela limpa.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2 μ A	Corrente de fuga (pico)	4,96 μ A

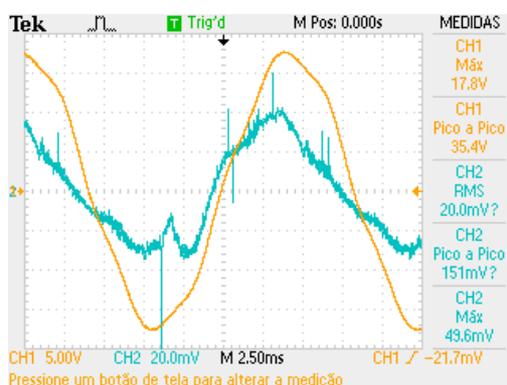


Figura AC.3: Forma de onda da 9ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.4: 10ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
10ª Medição	1º Ensaio	Item 2 – Tabela 3.1	Medição 10 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 29°C	URA = 45%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 1 com 1 intervenção (10 manobras), no seu terceiro segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,78 μ A	Corrente de fuga (pico)	8,8 μ A

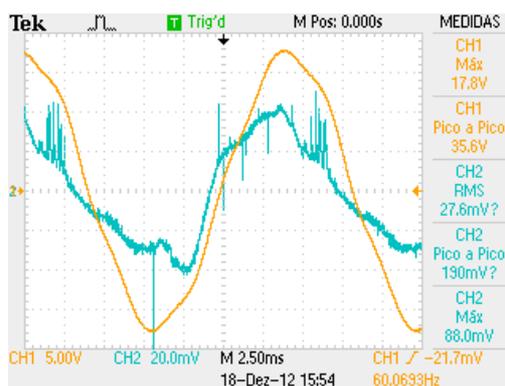


Figura AC.4: Forma de onda da 10ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.5: 11ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
11ª Medição	1º Ensaio	Item 2 – Tabela 3.1	Medição 11 – Tabela 3.2
Data: 18/12/12	Temp: 29°C	URA = 45%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior realizando a limpeza da amostra.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,61 μ A	Corrente de fuga (pico)	10,2 μ A

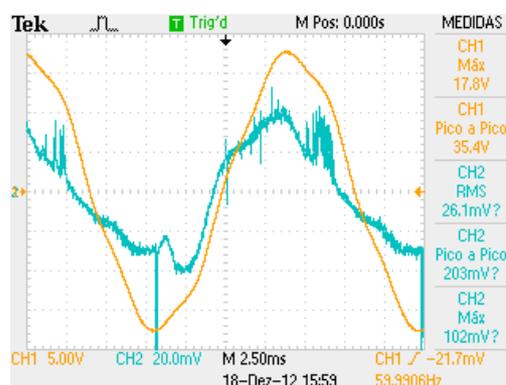


Figura AC.5: Forma de onda da 11ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.6: 12ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
12ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 12 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27°C	URA = 58%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu primeiro segmento, situado no início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,71 μ A	Corrente de fuga (pico)	5,84 μ A

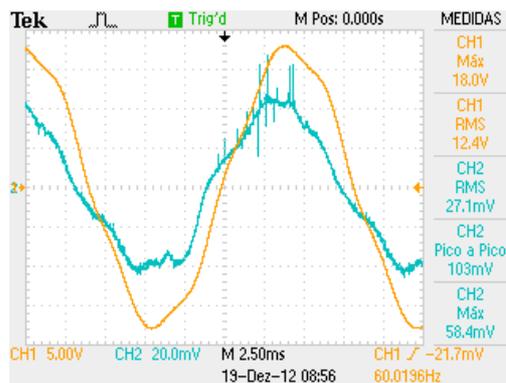


Figura AC.6: Forma de onda da 12ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.7: 13ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
13ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 13 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 58%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu segundo segmento, situado um pouco a frente do início do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	1,37 μA	Corrente de fuga (pico)	6 μA

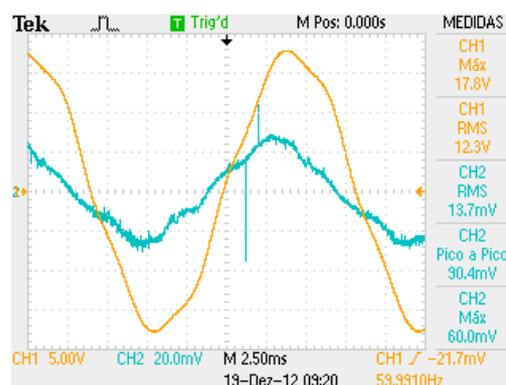


Figura AC.7: Forma de onda da 13ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.8: 14ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
14ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 14 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu terceiro segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	1,86 μA	Corrente de fuga (pico)	4,8 μA

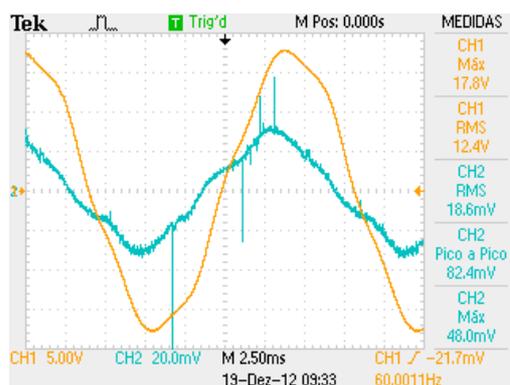


Figura AC.8: Forma de onda da 14ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.9: 15ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
15ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 15 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	1,84 μ A	Corrente de fuga (pico)	4,72 μ A

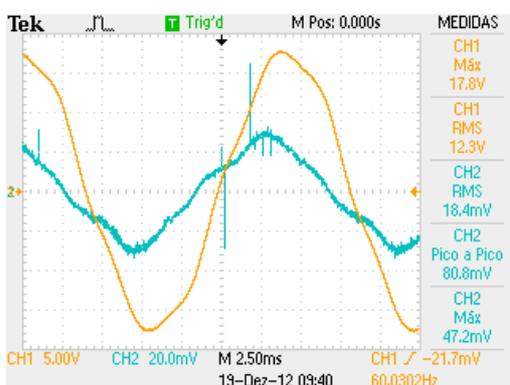


Figura AC.9: Forma de onda da 15ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.10: 17ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
17ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 17 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quarto segmento, situado próximo ao centro do seu comprimento de 40 metros no sentido da outra extremidade, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,64 μ A	Corrente de fuga (pico)	11,2 μ A

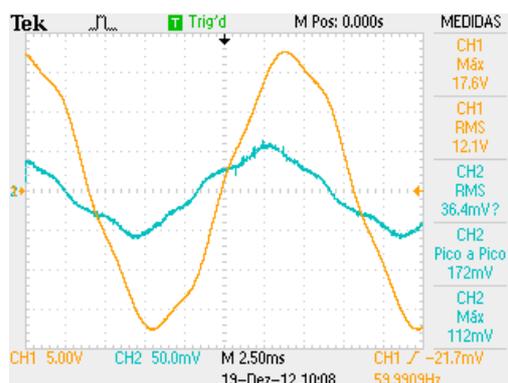


Figura AC.10: Forma de onda da 17ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.11: 18ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
18ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 18 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior com a limpeza da amostra.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,28 μ A	Corrente de fuga (pico)	7,4 μ A

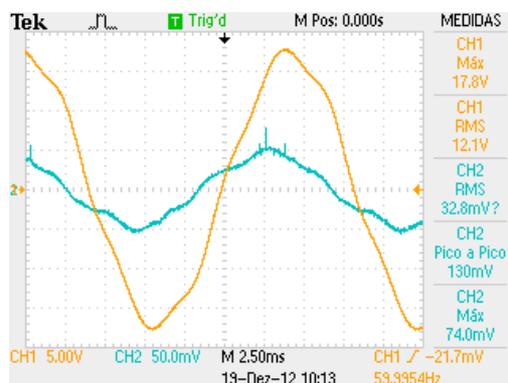


Figura AC.11: Forma de onda da 18ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.12: 19ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
19ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 19 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 2 com 5 intervenções (50 manobras), no seu quinto segmento, situado próximo a outra extremidade do seu comprimento de 40 metros, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,12 μ A	Corrente de fuga (pico)	7,4 μ A

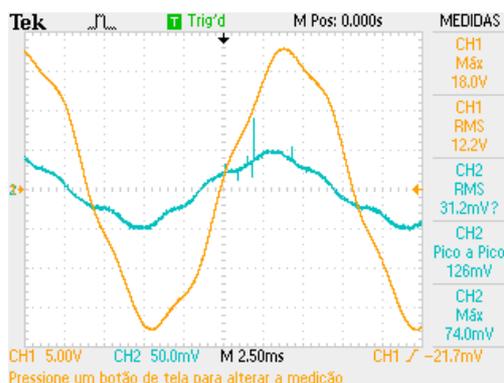


Figura AC.12: Forma de onda da 19ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.13: 20ª Medição do 1º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
20ª Medição	1º Ensaio	Item 3 – Tabela 3.1	Medição 20 – Tabela 3.2
Data: 19/12/12	Temp: 27,6°C	URA = 54%	Rshunt = 10 k Ω
Repetição da medição anterior para ajustes no disco coletor.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3 μA	Corrente de fuga (pico)	9,4 μA

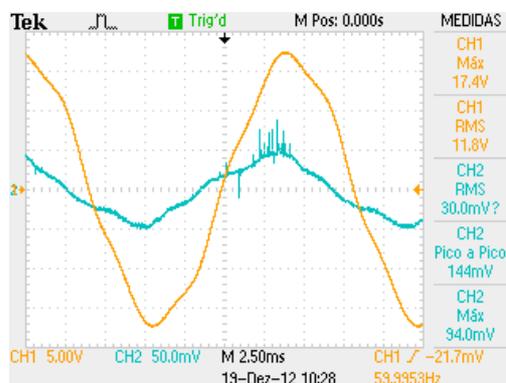


Figura AC.13: Forma de onda da 20ª Medição do 1º Ensaio.

Tabela AC.14: 12ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
12ª Medição	2º Ensaio	Item 8 – Tabela 3.1	Medição 12 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 62%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 4 com 1 intervenção (10 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,12 μA	Corrente de fuga (pico)	5,2 μA

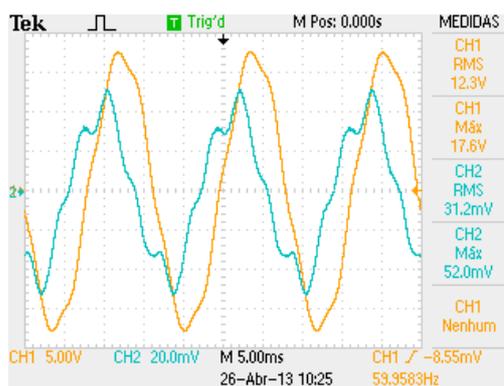


Figura AC.14: Forma de onda da 12^a Medição do 2^o Ensaio.

Tabela AC.15: 13^a Medição do 2^o Ensaio.

DESCRIÇÃO			
13 ^a Medição	2 ^o Ensaio	Item 8 – Tabela 3.1	Medição 13 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 62%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 4 com 1 intervenção (10 manobras), no segmento menos danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,85 μ A	Corrente de fuga (pico)	4,72 μ A

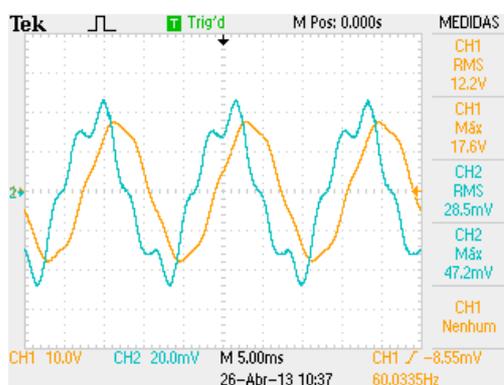


Figura AC.15: Forma de onda da 13^a Medição do 2^o Ensaio.

Tabela AC.16: 14^a Medição do 2^o Ensaio.

DESCRIÇÃO			
14 ^a Medição	2 ^o Ensaio	Item 9 – Tabela 3.1	Medição 14 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 62%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 5 com 5 intervenções (50 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,04 μ A	Corrente de fuga (pico)	5,12 μ A

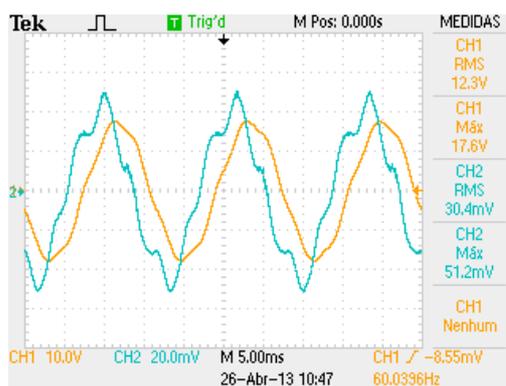


Figura AC.16: Forma de onda da 14ª Medição do 2º Ensaio.

Tabela AC.17: 15ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
15ª Medição	2º Ensaio	Item 10 – Tabela 3.1	Medição 15 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 62%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 6 com 10 intervenções (100 manobras), no segmento mais danificado mecanicamente, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,5 μA	Corrente de fuga (pico)	5,76 μA

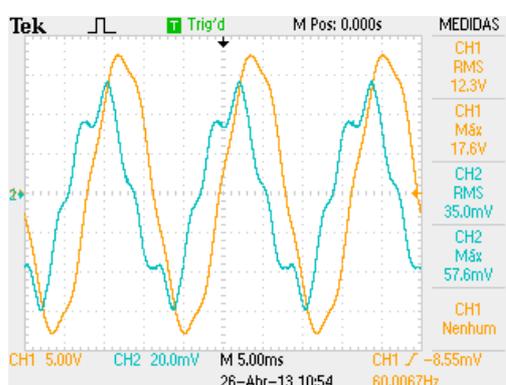


Figura AC.17: Forma de onda da 15ª Medição do 2º Ensaio.

Tabela AC.18: 16ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
16ª Medição	2º Ensaio	Item 11 – Tabela 3.1	Medição 16 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 7 no 1º teste de campo, sujo do envelhecimento e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,12 μA	Corrente de fuga (pico)	5,44 μA

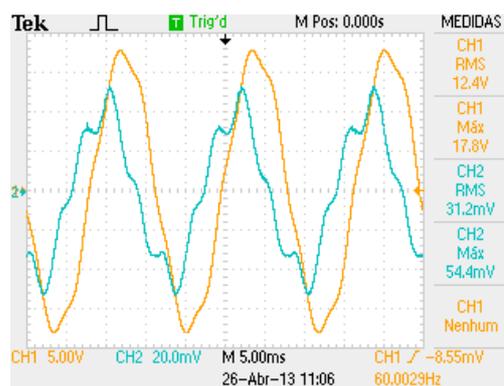


Figura AC.18: Forma de onda da 16ª Medição do 2º Ensaio.

Tabela AC.19: 17ª Medição do 2º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
17ª Medição	2º Ensaio	Item 11 – Tabela 3.1	Medição 17 – Tabela 3.3
Data: 26/04/13	Temp: 26,9°C	URA = 60%	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 7 no 1º teste de campo sujo do envelhecimento adicionado de terra inserida no próprio laboratório e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,05 μ A	Corrente de fuga (pico)	5,28 μ A

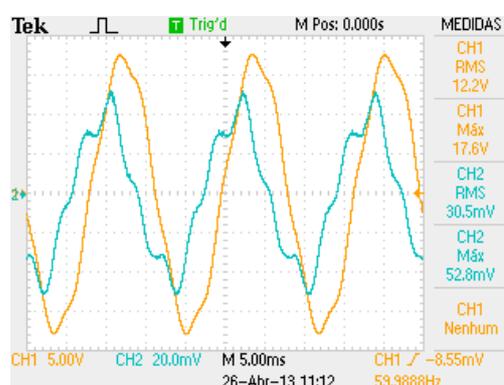


Figura AC.19: Forma de onda da 17ª Medição do 2º Ensaio.

Tabela AC.20: 1ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
1ª Medição	3º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 1 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,06 μ A	Corrente de fuga (pico)	4,88 μ A

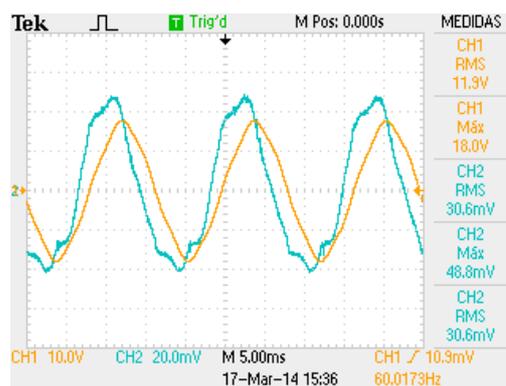


Figura AC.20: Forma de onda da 1ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.21: 2ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
2ª Medição	3º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 2 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e umido com borrifação de água de 50 μ s.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3,09 μ A	Corrente de fuga (pico)	4,88 μ A

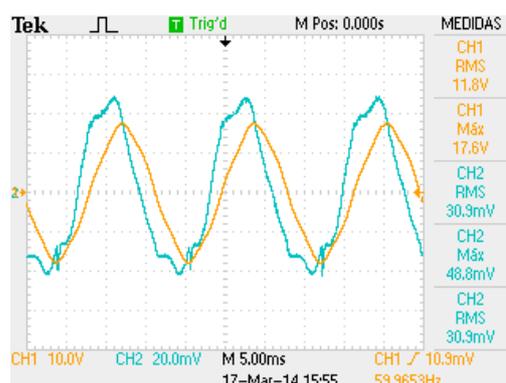


Figura AC.21: Forma de onda da 2ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.22: 3ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
3ª Medição	3º Ensaio	Item 6 – Tabela 3.1	Medição 3 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Bastonete isolante de 6 mm de diâmetro, limpo e úmido com borrifação de solução de 25 ms.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	X	Corrente de fuga (pico)	X

Tabela AC.23: 8ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
8ª Medição	3º Ensaio	Item 16 – Tabela 3.1	Medição 8 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,97 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

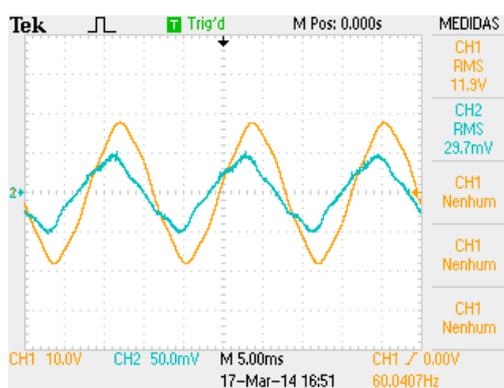


Figura AC.22: Forma de onda da 8ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.24: 9ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
9ª Medição	3º Ensaio	Item 16 – Tabela 3.1	Medição 9 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e úmido com borrifação de água de 50 μ s.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,71 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

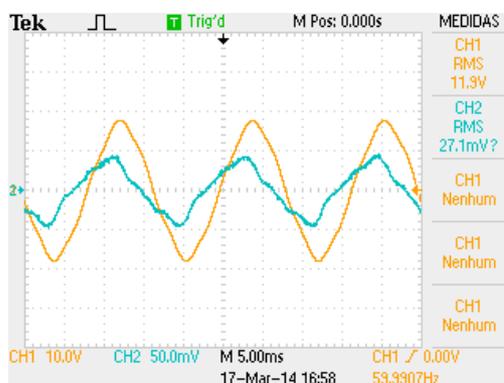


Figura AC.23: Forma de onda da 9ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.25: 10ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
10ª Medição	3º Ensaio	Item 16 – Tabela 3.1	Medição 10 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e umido com borrifação de solução de 25 ms.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	X	Corrente de fuga (pico)	X

Tabela AC.26: 11ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
11ª Medição	3º Ensaio	Item 16 – Tabela 3.1	Medição 11 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,1 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

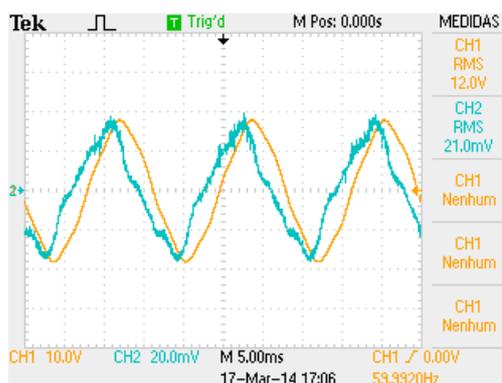


Figura AC.24: Forma de onda da 11ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.27: 12ª Medição do 3º Ensaio.

DESCRIÇÃO			
12ª Medição	3º Ensaio	Item 16 – Tabela 3.1	Medição 12 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: °C	URA = %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 9 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, desgastado mecanicamente, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros e úmido com borrifação de água de 50 μ s.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	X	Corrente de fuga (pico)	X

Tabela AC.28: 13ª Medição do 3º Ensaio

DESCRIÇÃO			
13ª Medição	3º Ensaio	Item 15 – Tabela 3.1	Medição 13 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm diâmetro, Envelhecido 8 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	1,86 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

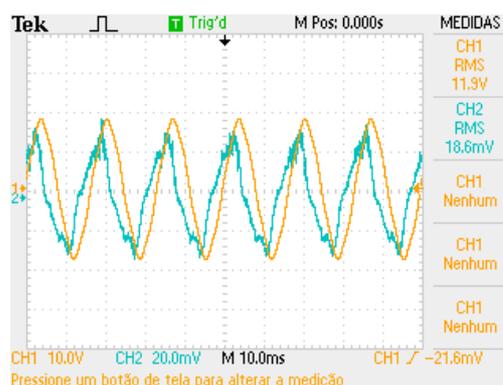


Figura AC.25: Forma de onda da 13ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.29: 14ª Medição do 3º Ensaio

DESCRIÇÃO			
14ª Medição	3º Ensaio	Item 15 – Tabela 3.1	Medição 14 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 8 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao décimo metro da amostra de trinta metros e úmido com borrifação de água de 50 μ s.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	1,66 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

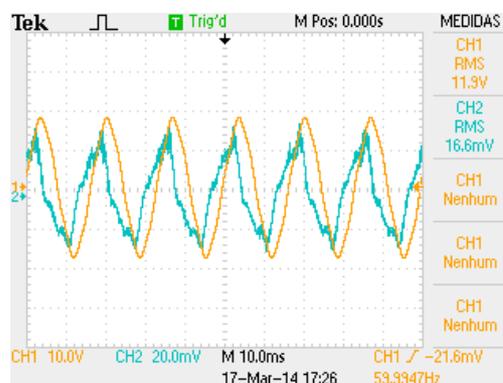


Figura AC.26: Forma de onda da 14ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.30: 15ª Medição do 3º Ensaio

DESCRIÇÃO			
15ª Medição	3º Ensaio	Item 15 – Tabela 3.1	Medição 15 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm diâmetro, Envelhecido 8 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	1,82 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

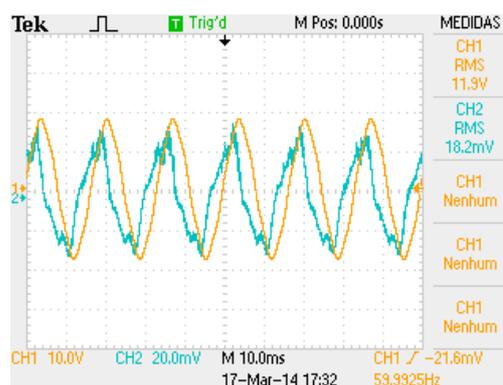


Figura AC.27: Forma de onda da 15ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.31: 16ª Medição do 3º Ensaio

DESCRIÇÃO			
16ª Medição	3º Ensaio	Item 15 – Tabela 3.1	Medição 16 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 3 mm de diâmetro, Envelhecido 8 com 3 meses de exposição ao ar livre, tensionado com peso de 16 isoladores, no segmento próximo ao meio da amostra de trinta metros e umido com borrifação de água de 50 μ s.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	X	Corrente de fuga (pico)	X

Tabela AC.32: 17ª Medição do 3º Ensaio

DESCRIÇÃO			
17ª Medição	3º Ensaio	Item 17 – Tabela 3.1	Medição 17 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor branco leitoso, limpo e seco.			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	3 μ A	Corrente de fuga (pico)	X

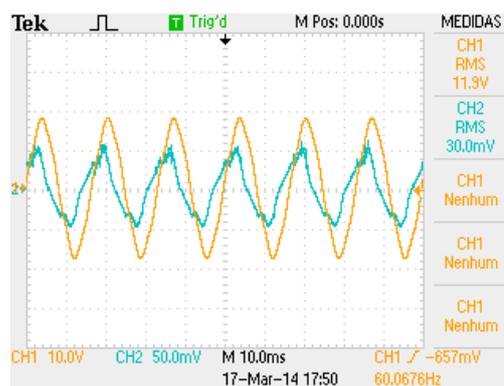


Figura AC.28: Forma de onda da 17ª Medição do 3º Ensaio.

Tabela AC.33: 18ª Medição do 3º Ensaio

DESCRIÇÃO			
18ª Medição	3º Ensaio	Item 17 – Tabela 3.1	Medição 18 – Tabela 3.4
Data: 17/03/14	Temp: 29 °C	URA = 54 %	Rshunt = 10 k Ω
Fio sintético de monofilamento de poliamida de 6 mm de diâmetro, virgem (nunca usado), na cor branco leitoso, limpo e úmido com umidificação borrifação de água de 50 μs,			
RESULTADO			
Corrente de fuga (true RMS)	2,17 μA	Corrente de fuga (pico)	X

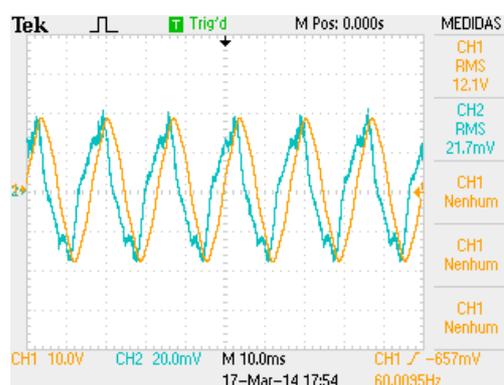


Figura AC.29: Forma de onda da 18ª Medição do 3º Ensaio.

Anexo D – Aplicação da Linha de Mão Isolante

Substituição de Isoladores em Cadeia de Suspensão Tipo ‘T’

Quando foi pensada em se desenvolver uma linha de mão isolante, objetiva-se eliminar os esforços de deslocamento horizontal da cadeia de isoladores na manutenção de substituição de isoladores em cadeia de suspensão tipo “T”, descrita no item 2.1.6. Neste trabalho, realizado com instalações energizadas, é necessário executar o deslocamento da cadeia na horizontal pelo simples fato da linha de mão utilizada não ser isolante. Essa tarefa gera uma série de esforços físicos que poderiam ser evitados, caso a linha de mão fosse isolante. Quando é realizada a mesma operação em uma instalação desenergizada a linha de mão pode tocar ao cabo e não há necessidade de deslocamento da cadeia no sentido horizontal.

Dessa forma e tido a importância da manutenção com instalação energizada de substituição de isoladores em cadeia de suspensão tipo “T”, que corresponde a maior parcela dos serviços executados pelas equipes de manutenção de linhas, será apresentada de forma didática como esse tipo de intervenção com o uso da linha de mão isolante. Se apenas o critério de suportabilidade elétrica fosse necessária, esse trabalho já poderia ter sido testado em campo, ocorre que se faz necessário realizar testes mecânicos na linha de mão isolante.

De modo a facilitar o entendimento a Figura 4.61 ilustra o deslocamento da cadeia com linha de mão isolante, apenas no sentido vertical, eliminando a necessidade de deslocamento horizontal. Pode aludir como se fosse trabalhar com instalação energizada da mesma forma que se faz com instalação desenergizada, sendo isso possível pela linha de mão ser isolante.

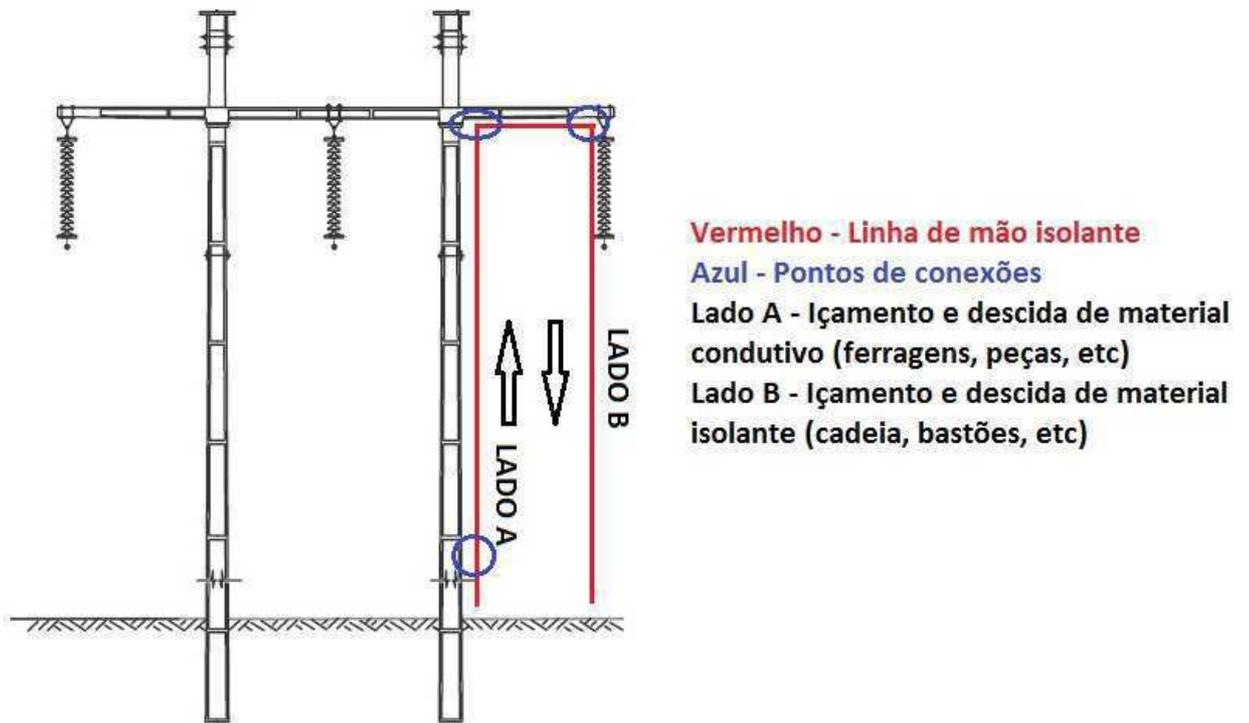


Figura AD.1: Ilustração de utilização de linha de mão isolante.