



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

DANILO DE SOUSA MEDEIROS

**PROPOSTA DE ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS MAIS
ADEQUADOS PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS ELÉTRICOS
EM ALTA TENSÃO**

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2013

DANILO DE SOUSA MEDEIROS

PROPOSTA DE ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS MAIS
ADEQUADOS PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS ELÉTRICOS
EM ALTA TENSÃO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Ensaio Elétrico em Alta Tensão

Orientador:

Professor George Rossany Soares de Lira

Campina Grande, Paraíba
Maio de 2013

DANILO DE SOUSA MEDEIROS

**PROPOSTA DE ESTRUTURAS E PROCEDIMENTOS MAIS
ADEQUADOS PARA A REALIZAÇÃO DE ENSAIOS ELÉTRICOS
EM ALTA TENSÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração: Ensaio Elétrico em Alta Tensão

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor George Rossany Soares de Lira
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer em primeiro lugar a Deus por estar sempre comigo, sem Ele nada disso estaria acontecendo.

Um agradecimento especial aos meus pais (Claudiano e Liriísis) por não medirem esforços na realização dos meus sonhos. Eu agradeço a Deus por tê-los como pais e pelo amor incondicional dedicado a mim e aos meus irmãos Laíz e Kaíque, aos quais eu também quero agradecer por estarem presentes em todos os momentos da minha vida. Eu os amo muito.

Agradeço a todas as pessoas da minha família paterna e materna pelo simples fato de formamos uma família unida em todos os momentos, pois família é à base de tudo.

Em nome do meu professor orientador George Rossany e do coordenador do Laboratório de Alta tensão, professor Genoilton Almeida, quero agradecer a todos os professores da Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica pela transmissão de conhecimento não apenas didático, mas conhecimento esse que levarei comigo em todos os dias da minha vida.

Agradeço a todo o pessoal do LAT, pois sempre estiveram disponíveis e me ajudaram sempre que solicitado.

O meu agradecimento agora vai para os meus caros colegas, meus eternos companheiros, pois foram com eles que eu vivi os melhores e piores momentos da vida acadêmica.

Agradeço a Mariene, minha namorada, que sempre me incentivou e me ajudou ao longo dessa árdua jornada.

RESUMO

Para o bom funcionamento de um sistema elétrico, este precisa de constante manutenção e grande parte desta manutenção é realizada com a rede energizada. Para evitar riscos desnecessários os equipamentos utilizados nessas intervenções e os equipamentos de proteção individuais (EPI) e coletivos (EPC) são ensaiados em laboratórios antes de serem usados no campo, e também devem ser ensaiados após algum tempo de uso, verificando assim seu desgaste com o uso e tempo. Existem varias normas que regulamentam os ensaios elétricos para os diversos equipamentos utilizados em linha viva, a partir de estudos baseados nessas normas, percebeu-se que a forma com que estes são conduzidos no laboratório podem ser aprimorados, economizando tempo e também aumentando a confiabilidade dos resultados. A intenção deste trabalho foi de aplicar novos métodos a partir de novas estruturas que visam facilitar a execução de ensaios e diminuir o efeito corona em alguns casos.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Detalhe do eletrodo de guarda	4
Figura 2 - Ensaio em bastão de manobra.....	5
Figura 4 - Esquema e montagem invertida para ensaio de mangas isolantes	7
Figura 5 - Ensaio em coberturas circulares e coberturas de cruzetas.....	8
Figura 6 - Ensaio em coberturas de condutores em PVC e emborrachados	9
Figura 7 - Ensaio em banqueteta isolante.....	9
Figura 8 - Esquema para ensaio de cesta aérea tipo B (ABNT, 2012)	10
Figura 9 - Caixa seletora de canais com 3 interruptores.....	13
Figura 10 - Mesa com isoladores de pino e base de madeira.....	14
Figura 11 - Isolador de porcelana tipo pilar (Muller, 2012)	15
Figura 12 - Serragem dos parafusos	15
Figura 13 - Comparativo entre os isoladores	16
Figura 14 - Mesa com os isoladores tipo pilar.....	16
Figura 15 - Eletrodo para ensaio em banquetas	17
Figura 16 - Ensaio em banqueteta com novo eletrodo	17
Figura 17 - Cobertura de condutor cortada ao meio	19
Figura 19 - Papel colado na borracha	19
Figura 20 - Peça com a borracha colada nas laterais da cobertura	19
Figura 21 - Vista frontal da peça	20
Figura 22 Arranjo com tiras de borracha para fixação	20
Figura 23 - Ensaio realizado utilizando o novo arranjo.....	20
Figura 25 - Material utilizado.....	22
Figura 26 - Vista interna e externa do balde com eletrodo	22
Figura 27 - Ensaio de Mangas e Luvas utilizando o novo arranjo.....	23
Figura 28 - Detalhe da régua, medindo a altura da parte emersa.....	24
Figura 29 - Montagem em U para ensaios em mangas isolantes (ABNT, 1989, p. 14).....	25
Figura 30 - Ensaio de Manga com montagem em U	25

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Limites de corrente de fuga para bastões de manobra (ABNT, 1992, p. 14).....	5
Tabela 2. Altura da parte emersa para o ensaio em tensão aplicada CA (ABNT, 1989, p. 15)	5
Tabela 3. Propriedades elétricas para CA (ABNT, 1989, p. 3)	6
Tabela 4 - Tensões de ensaio e de uso em mangas isolantes (ABNT, 1989, p. 3).....	7
Tabela 5 - Ensaio elétrico periódico para ensaio de cestas aéreas isoladas (categorias A e B) (ABNT, 2012, p. 36).....	11
Tabela 6. Ensaio elétrico periódico para ensaio de cestas aéreas isoladas (categoria C).....	11

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

- LAT – Laboratório de Alta Tensão
- ONS – Operador Nacional do Sistema Elétrico
- PVC – Policloreto de vinila
- EVA – Espuma Vinílica Acetinada

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	iv
Resumo.....	v
Lista de Ilustrações.....	vi
Lista de Tabelas.....	vii
Lista de Abreviaturas e Siglas.....	viii
Sumário.....	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Manutenção em Linhas energizadas.....	1
1.1.1 Métodos de Trabalho.....	2
1.1.2 Tipos de Ensaios.....	2
1.2 Objetivos.....	3
1.3 Organização do Trabalho e Metodologia.....	3
2 Métodos de Ensaios.....	3
2.1 Ensaio em Bastão de Manobra.....	4
2.2 Ensaios de Luvas Isolantes de Borrachas.....	5
2.3 Mangas Isolantes.....	6
2.4 Ensaio em Coberturas Circulares.....	7
2.5 Coberturas para condutor em PVC.....	8
2.6 Ensaio em Banqueta.....	9
2.7 Ensaio Cesta Aérea (Caminhão).....	10
3 Mudanças nas Estruturas e nos Procedimentos de Ensaios.....	11
3.1 Caixa Seletora de Canais.....	12
3.1.1 Material Utilizado.....	12
3.1.2 Procedimentos.....	13
3.1.3 Resultados.....	13
3.2 Substituição dos isoladores da mesa.....	14
3.2.1 Isoladores de porcelana do tipo pilar.....	14
3.2.2 Procedimentos.....	15
3.3 Eletrodo para ensaio em banquetas.....	16
3.3.1 Procedimentos.....	16
3.3.2 Resultados.....	17
3.4 Eletrodo para ensaio de coberturas de condutor.....	17
3.4.1 Material Utilizado.....	18
3.4.2 Procedimentos.....	18
3.4.3 Resultados.....	20
3.5 Estrutura para Ensaio em Luvas e Mangas Isolantes.....	21
3.5.1 Material Utilizado.....	21
3.5.2 Procedimentos.....	22

3.5.3	Resultados.....	23
3.6	Mudanças nos ensaios de mangas isolantes	24
3.6.1	Montagem em U	24
3.6.2	Resultados.....	25
4	Conclusão	26
	Referências Bibliograficas.....	27

1 INTRODUÇÃO

Devido a grande concorrência no setor elétrico, as empresas se preocupam cada vez mais na satisfação dos clientes, tentando ao máximo extinguir as falhas e diminuir as interrupções do fornecimento de energia elétrica, e controlando a qualidade da energia fornecida. Com o objetivo de padronizar as operações de manutenção em linhas de transmissão energizadas, essa atividade é regulamentada pelo ONS-(Operador Nacional do Sistema Elétrico) (Paulino, 2009).

1.1 MANUTENÇÃO EM LINHAS ENERGIZADAS

A primeira manutenção em linha viva foi a utilização de varas para abrir interruptores energizados. Começou então o uso de grandes bastões como acessórios para o homem operar com segurança em linhas energizadas. Os percussores dos modernos bastões utilizados hoje foram utilizados pela primeira vez em 1913 (Old time Lineman's, 2011).

Em 1916, começaram a se utilizar ferramentas adicionais para uso acoplado aos bastões isolados. A primeira ferramenta foi o gancho elétrico, que era um grampo utilizado para rosqueamento em circuitos energizados. Em seguida surgiram as ferramentas que eram utilizadas para as mais diversas manobras como: aterramento e jumper manipulação de condutores e manipulação de amarras (Old time Lineman's, 2011).

Quando surgiram, as ferramentas de linha viva eram autorizadas para trabalho em linhas de até 34 kV, no entanto, este nível de tensão ainda deixava muitos operadores hesitantes, e por isso restringiu-se a utilização das ferramentas para linhas de até 22 kV. Com o passar dos anos, os operadores perceberam que os equipamentos de linha viva, sempre os deixavam a uma distancia segura da alta tensão, e com isso as restrições de nível de tensão para manutenção foram gradualmente diminuindo (Old time Lineman's, 2011).

Diante da enorme quantidade de serviços executáveis, a partir desta técnica, foram desenvolvidos três métodos considerados relevantes.

1.1.1 MÉTODOS DE TRABALHO

Método ao Contato – É aplicado na manutenção de redes de baixa e média tensão, quando é necessário o contato direto entre o operador e a parte energizada. Para garantir sua segurança o operador faz uso das proteções isolantes, que cobrem toda a área possível de contato indevido, mantendo-o isolado através de plataformas, cestas aéreas, coberturas isolantes, luvas e mangas. (COPEL Distribuição, 2012)

Método à Distância - É aplicável às tensões de até 230 kV, neste método o operador trabalha afastado da parte energizada por meio de ferramentas isolantes especialmente desenvolvidas. Uma das ferramentas mais utilizadas são os bastões, por meio dos quais é possível afastar os condutores de suas posições originais e executar as diversas tarefas necessárias à manutenção utilizando ferramentas de encaixes universais instaladas em suas extremidades (COPEL Distribuição, 2012; Hot Line, 2007).

Método ao Potencial – Em linhas de Alta e Extra-Alta Tensão, devido ao elevado campo magnético, as distâncias de segurança para os operadores seriam muito elevadas, impossibilitando a utilização do método à distância, então para efetuar a manutenção em linhas desse nível, aplica-se o método ao potencial, que consiste na utilização de vestimentas especiais que tem propriedades de blindagem elétrica e anti-chamas, denominada de Roupas Conduativas, que utilizando o Princípio da Gaiola de Faraday equalizam o potencial do operador com a parte energizada, mantendo inerte o campo eletromagnético, possibilitando a execução dos serviços diretamente com as mãos. Aplicável às classes de tensão de 69 à 765 kV (Hot Line, 2007).

1.1.2 TIPOS DE ENSAIOS

Existem principalmente dois tipos de ensaios: tensão aplicada e corrente de fuga. No primeiro é aplicada sobre o equipamento em ensaio uma determinada tensão (a tensão aplicada varia para cada equipamento) durante o tempo de 60 (sessenta) segundos, e verifica-se se este suportou a tensão sem ocorrer descarga disruptiva ou causar dano ao equipamento.

No ensaio de corrente de fuga é aplicada sobre o equipamento em ensaio uma determinada tensão, e mede-se a corrente para a terra. Para cada equipamento é estabelecido, por normas, os limites máximos permitidos de corrente de fuga. Os

equipamentos cuja corrente de fuga forem menor ou igual ao valor estabelecido em sua respectiva norma será aprovado.

O Laboratório de Alta tensão da UFCG é regularmente solicitado para realizar ensaios em diversos equipamentos para várias empresas do setor elétrico. Dentre esses equipamentos destacam-se, neste trabalho, aqueles utilizados na operação de redes energizadas, e os equipamentos de proteção individual e coletiva.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo deste trabalho é propor procedimentos mais eficazes na realização de ensaios em equipamentos, e também realizar mudanças em algumas das estruturas que são utilizadas, com o intuito de aprimorar os resultados e a execução, além de fazer com que o ensaiador dos equipamentos utilizados em redes energizadas exerçam a menor influência possível nos resultados, por meio de arranjos padronizados e procedimentos regulamentados.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO E METODOLOGIA

Este trabalho foi dividido em três partes, na primeira estudou-se as normas que são utilizadas para a realização destes ensaios. Na segunda parte observou-se como eram realizados os ensaios no laboratório e então foi definido um plano de ação visando melhorar os resultados, tanto em qualidade, como em velocidade.

A parte final do trabalho foi a realização de ensaios utilizando os novos arranjos e métodos, com o intuito de validar as mudanças.

2 MÉTODOS DE ENSAIOS

No Laboratório da UFCG, conforme dito anteriormente são realizados diversos ensaios. Alguns serão descritos e analisados neste trabalho com o objetivo de se propor mudanças nos métodos e estruturas, visando um maior rendimento e qualidade dos testes.

2.1 ENSAIO EM BASTÃO DE MANOBRA

Os bastões de manobras são ferramentas muito utilizadas principalmente nas linhas de 69 kV, onde é aplicada o método de trabalho a distância. Existem diversos tipos de bastões, com diversos diâmetros. A norma brasileira utilizada nos ensaios dos bastões é a NBR 11854.

Nestes equipamentos é realizado o ensaio de corrente de fuga, onde aplica-se uma tensão de 100 kV durante 1 minuto, em uma amostra de 300 mm do bastão, e mede-se a corrente superficial do bastão (corrente de fuga). Para minimizar a interferência de correntes parasitas na medição, utiliza-se um eletrodo de guarda, de formato circular, feito de latão. Na figura 1 é ilustrado em detalhe o eletrodo de guarda.

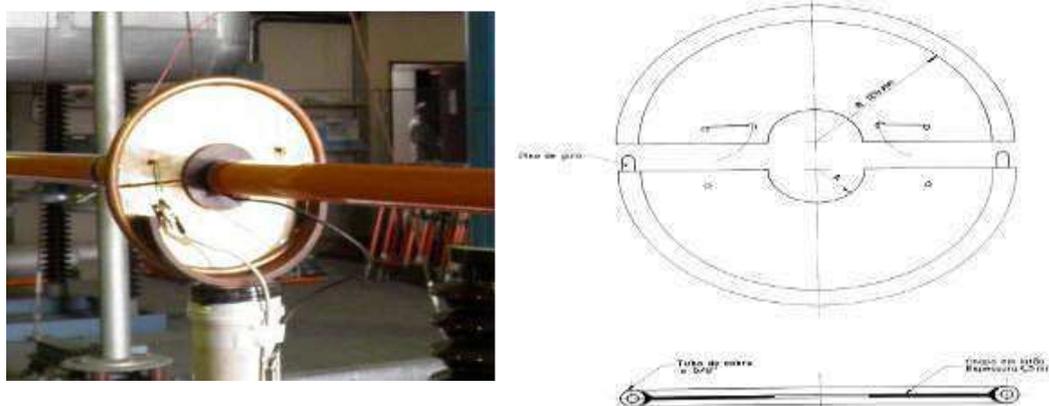


Figura 1 - Detalhe do eletrodo de guarda.

Quando o equipamento ensaiado é menor que 300 mm, o ensaio é realizado aplicando 50 kV em uma amostra de 150 mm.

Na Figura 2 estão ilustrados as estruturas utilizadas no ensaio do bastão de manobra no laboratório e o proposto pela norma. O eletrodo de guarda é conectado ao terra, e para medir a corrente de fuga superficial no bastão é utilizado uma lamina de alumínio como eletrodo que é conectado por um cabo blindado a um dispositivo auxiliar utilizado para medições (caixa seletora de canais). Para aplicar a tensão de forma uniforme em toda a circunferência do bastão, também utiliza-se uma lamina de alumínio.

Existem bastões de diversos diâmetros, e para cada diâmetro tem-se a máxima corrente de fuga permitida.

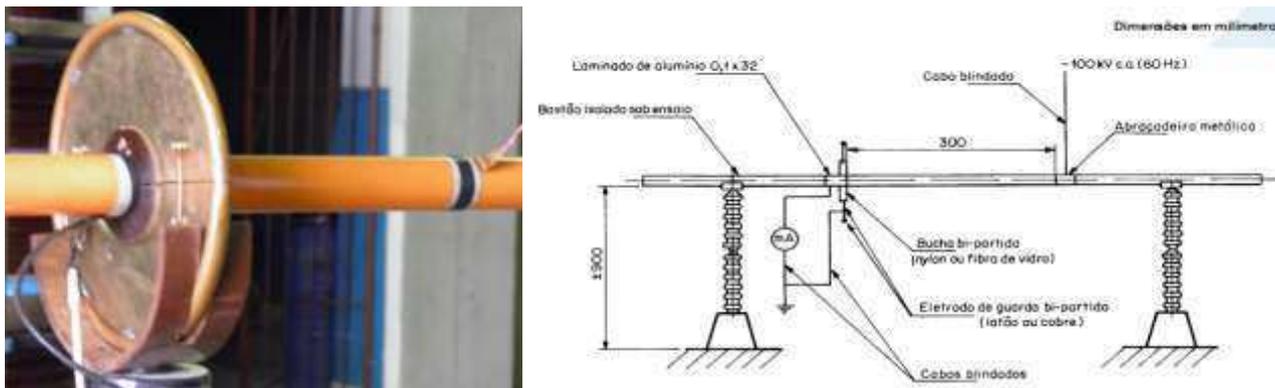


Figura 2 - Ensaio em bastão de manobra.

Tabela 1. Limites de corrente de fuga para bastões de manobra (ABNT, 1992, p. 14).

	Diâmetro (mm)	32	38	51	64
Tensão 100 kV	Corrente I1 (μA)	10	12	15	20
Tensão 50 kV	Corrente I2 (μA)	5	6	8	10

2.2 ENSAIOS DE LUVAS ISOLANTES DE BORRACHAS

As luvas são ensaiadas conforme regulamenta a NBR 10622. Para isso são diferenciadas pelas suas classes e tipos. As classes indicam a tensão nominal de trabalho e de ensaios, e o tipo indica se a luva é resistente ou não ao ozônio.

Para realizar o ensaio da luva, a mesma é colocada dentro de um recipiente com água, obedecendo as distâncias estabelecidas na Tabela 2 (com uma tolerância permissível de 8 mm), e observando que o nível de água da parte exterior e interior da luva devem coincidir, em seguida, coloca-se o eletrodo com alta tensão dentro da luva (Figura 3), e mede-se a corrente de fuga na água que está externa a luva. A tensão é aplicada sob a luva durante 1 minuto, e mede-se a corrente de fuga no início e no fim do ensaio.

Tabela 2. Altura da parte emersa para o ensaio em tensão aplicada CA (ABNT, 1989, p. 15).

Classe das luvas	Altura da parte emersa (mm)
00	38
0	38
1	38
2	64
3	89
4	127

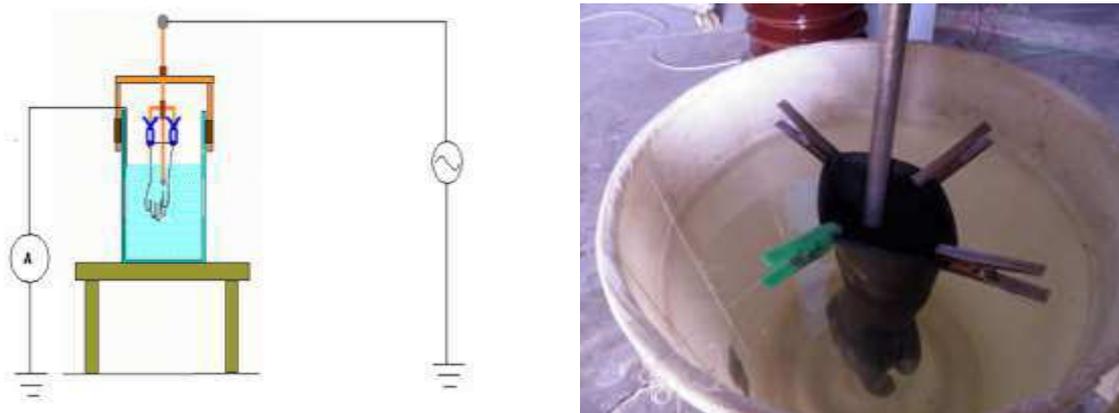


Figura 3 – Ensaio de luva isolante de borracha.

Para cada classe tem-se os níveis de tensão que devem ser aplicados e os respectivos valores de corrente de fuga permitidos. Na Tabela 3 estão expostos os níveis de tensão e de corrente de fugas para cada classe de luva.

Tabela 3. Propriedades elétricas para CA (ABNT, 1989, p. 3).

Classe das luvas	Tensão de ensaio (Valor eficaz) (V)	Tensão máxima de uso Tensão de linha (Valor eficaz) (V)	Tensão mínima de perfuração (Valor eficaz) (V)	Corrente máxima de fuga (mA)			
				Luva de 267mm	Luva de 356mm	Luva de 406mm	Luva de 457mm
00	2500	500	5000	6	10	12	14
0	5000	1000	6000	8	12	14	16
1	10000	7500	20000	-	14	16	18
2	20000	17000	30000	-	16	18	20
3	30000	26500	40000	-	18	20	22
4	40000	36000	50000	-	-	22	24

2.3 MANGAS ISOLANTES

A manga isolante é um equipamento de proteção utilizado pelos eletricitistas para protegê-los de eventuais contatos com a linha viva. As mangas são classificadas em cinco categorias diferentes, de acordo com o nível de tensão (Tabela 4). As mangas resistentes a ozônio são do tipo II, as demais, tipo I.

Tabela 4 - Tensões de ensaio e de uso em mangas isolantes (ABNT, 1989, p. 3).

Classe das Mangas	Tensão de ensaio (Valor eficaz) (V)	Tensão máxima de uso Tensão de linha (Valor eficaz) (V)
0	5000	1000
1	10000	7500
2	20000	17000
3	30000	26500
4	40000	36000

De acordo com a NBR 10623, as mangas podem ser ensaiadas de 4 métodos diferentes: montagem invertida, montagem em U, montagem reta e montagem com esponja molhada. No LAT é utilizada a montagem invertida, como pode-se observar na Figura 4.

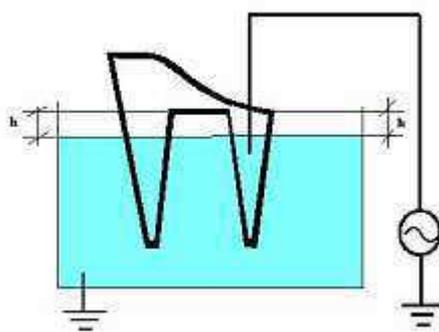


Figura 4 - Esquema e montagem invertida para ensaio de mangas isolantes.

As mangas devem suportar a tensão aplicada durante 1 minuto sem que ocorra ruptura do material. Caso a manga não suporte a tensão, será reprovada.

2.4 ENSAIO EM COBERTURAS CIRCULARES

Existem diferentes coberturas de proteção para trabalhos em linha viva, algumas delas são constantemente ensaiadas no LAT, como:

- Coberturas Protetoras para Postes;
- Coberturas Protetoras Circulares;
- Coberturas Protetoras para Cruzetas;
- Coberturas Protetoras para Condutor.

As coberturas protetoras para postes são usadas para proteção na instalação ou substituição de postes, para facilitar o manuseio possuem cordas sintéticas que auxiliam na inserção e remoção da mesma no poste. As coberturas circulares tem uma grande aplicabilidade e são utilizadas para a proteção das extremidades dos postes, proteção das cruzetas, proteção dos para-raios, etc.

Para a realização do ensaio nas coberturas circulares utiliza-se dois eletrodos, um circular, que será envolvido pela cobertura e outro colocado externamente. Na figura 5 esta mostrado o arranjo utilizado para ensaios nas coberturas circulares. Para cada tamanho e diâmetro de coberturas tem-se eletrodos diferentes, tanto interno como externo. O eletrodo circular interno é apoiado em quatro isoladores fixados em uma mesa, e é aterrado. O outro eletrodo, que fica sob a cobertura é conectado a alta tensão.



Figura 5 - Ensaio em coberturas circulares e coberturas de cruzetas.

O ensaio em cobertura de cruzeta é realizado similarmente ao das coberturas circulares, diferindo apenas do eletrodo externo, conforme se observa na Figura .

O objetivo do ensaio é verificar se a cobertura ainda esta em condições de uso, assim se na superfície da cobertura houver algum defeito, esse será detectado, pois, os dois eletrodos (alta tensão e terra) estarão em curto circuito, provocando uma pequena chama no material e percebe-se também uma elevação da corrente no transformador. Caso a cobertura suporte 20 kV durante 60 segundos, a cobertura será aprovada.

2.5 COBERTURAS PARA CONDUTOR EM PVC

Com exceção dos eletrodos utilizados, os ensaios em coberturas para condutores são similares. Utiliza-se duas barras de ferro em paralelo que são conectadas à terra, e

para aplicar alta tensão é utilizado uma chapa de zinco moldada no formato da cobertura em PVC, e para as coberturas emborrachadas o eletrodo é confeccionado de papel alumínio. Os critérios para aprovação e reprovação dessas coberturas são os mesmos das coberturas circulares. O arranjo utilizado nesses ensaios, é mostrado na figura 6.



Figura 6 - Ensaio em coberturas de condutores em PVC e emborrachados.

2.6 ENSAIO EM BANQUETA

A banquetta é um equipamento que tem como finalidade isolar o operador do solo durante operação do guindauto (Caminhão equipado com guindaste, utilizado na instalação de postes) em linhas energizadas. O ensaio que realiza-se nas banquettas é o ensaio de tensão aplicada. A banquetta é colocada sobre um eletrodo conectado a terra, e a tensão é aplicada em sua parte superior através de outro eletrodo, feito de papel alumínio (Figura 7). A banquetta é aprovada no ensaio se durante 1 minuto com a tensão aplicada não ocorrer descargas.



Figura 7 - Ensaio em banquetta isolante.

2.7 ENSAIO CESTA AÉREA (CAMINHÃO)

Muitas vezes, para efetuar manutenção nas redes energizadas, utiliza-se a cesta aérea. A cesta aérea é um equipamento acoplado a um caminhão, que permite elevar o operador ao local do trabalho. As cestas são classificadas de acordo com a sua categoria de isolamento, podem ser A, B ou C.

As cestas da categoria A são projetadas para trabalho em que a lança é considerada como isolamento primário para trabalho com a mão nua e que dever ter todos os componentes condutivos da extremidade do braço interligados entre si para torná-los equipotentes. As cestas da Categoria B são projetadas para trabalhos em que a lança não é considerada de isolamento primário, mas secundário, como os que usam luvas isolantes de borracha. Elas devem ser classificadas em classes de tensão superiores a 46 kV. Assim como as cestas da categoria B, as cestas da categoria C também são projetados para isolamento secundário, porém para níveis de tensão inferiores a 46 kV (ABNT, 2012, p. 13).

Nas lanças são encontradas as placas com os dados da cesta aérea, informando o modelo, ano de fabricação, altura e categoria de isolamento. As cestas da categoria C e B são as mais comumente ensaiadas no LAT.

Para o ensaio das cestas de categoria B, a tensão é aplicada na cesta e mede-se a corrente de fuga na lança isolada e nas linhas hidráulicas. Durante a realização do ensaio o chassi do caminhão deve permanecer aterrado. É verificada a continuidade em todas as partes metálicas, caso não haja continuidade em alguma conexão, essa deve ser curto-circuitada, garantindo a continuidade.

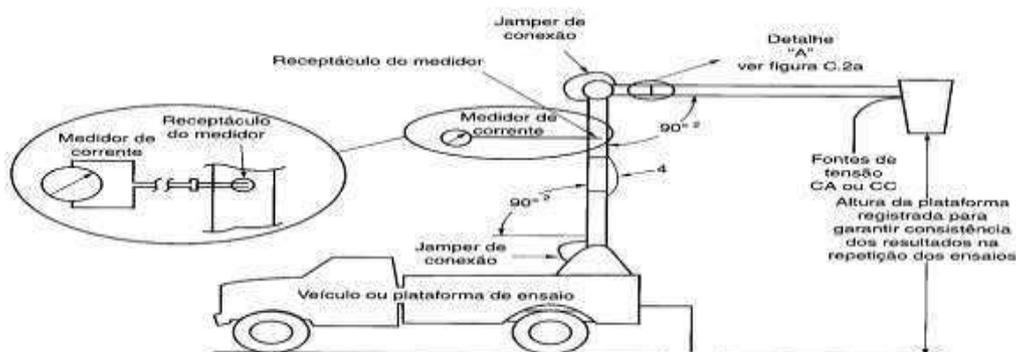


Figura 8 - Esquema para ensaio de cesta aérea tipo B (ABNT, 2012).

Os valores de tensão aplicada e corrente de fuga permitida para ensaios em cestas das categorias A e B estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Ensaio elétrico periódico para ensaio de cestas aéreas isoladas (categorias A e B) (ABNT, 2012, p. 36).

Qualificação da unidade	Ensaio em CA 60 Hz		
Tensão de Aplicação kV	Tensão kV eficaz	Corrente máxima permitida μA	Tempo mim
46 e Abaixo	40	40	1
69	60	60	1

Para a cesta aérea do tipo C, a tensão é aplicada na cesta e mede-se a corrente de fuga na lança isolante e na carcaça do caminhão. Assim como no ensaio das cestas de categoria B, deve-se observar a continuidade nas conexões.

Os valores de tensão aplicada e corrente de fuga permitidos para ensaios em cestas da categoria C estão apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Ensaio elétrico periódico para ensaio de cestas aéreas isoladas (categoria C).

Qualificação da unidade	Ensaio em CA 60 Hz		
Tensão de Aplicação kV	Tensão kV eficaz	Corrente máxima permitida μA	Tempo mim
46 e Abaixo	40	400	1

3 MUDANÇAS NAS ESTRUTURAS E NOS

PROCEDIMENTOS DE ENSAIOS

Até aqui foi visto neste trabalho como são realizados ensaios elétricos no LAT, agora serão expostos mudanças que foram implementados nos equipamentos e estruturas utilizados na realização desses ensaios.

3.1 CAIXA SELETORA DE CANAIS

A caixa seletora de canais é um equipamento utilizado para realizar medições no laboratório. No caso dos ensaios de equipamentos para manutenção em linhas vivas, é utilizada para medição das correntes de fugas. Seu funcionamento é simples, consta de um dispositivo com uma chave seletora e quatro interruptores, um para cada posição da chave. Com o interruptor na posição “fechado” o cabo está diretamente aterrado, quando o interruptor correspondente a atual posição da chave está na posição “aberto” tem-se um multímetro conectado em série ao circuito. Na figura 9 pode-se observar o circuito desse dispositivo. Os cabos utilizados são coaxiais, com uma blindagem que é aterrada.

Embora a chave seletora de canais tenha 4 posições, a atual caixa seletora de canais do laboratório podia escolher um entre 2 canais, os outros não estavam funcionando. Após a análise do circuito da chave, foi desenvolvida uma solução para viabilizar a medição com 3 canais.

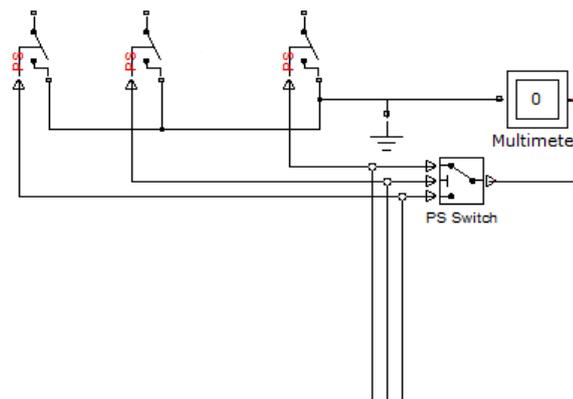


Figura 9 – Circuito elétrico da caixa seletora.

3.1.1 MATERIAL UTILIZADO

- Interruptor;
- Cabos Coaxiais;
- Pinos de Conexão.

3.1.2 PROCEDIMENTOS

O primeiro passo para ampliar a capacidade de comutação dos canais foi acrescentar mais um interruptor na caixa, deixando-a com 3 interruptores. Foi conectado a este novo interruptor um cabo coaxial blindado, e sua blindagem foi conectada aos demais já aterrados.

Um dos cabos que já era utilizado nos ensaios apresentava constante susceptibilidade a interferências, as conexões dos cabos com os pinos eram os responsáveis pela interferência, devido a problemas de conexão, e necessitavam de constante cuidado para não acarretar em erro nas medições. Para minimizar os efeitos da interferência e assegurar a confiabilidade nos resultados, foi realizado a substituição dos pinos, para garantir uma boa conexão.

Na extremidade de um dos cabos tem-se um pino macho, este é utilizado para conectar o cabo a outros segmentos, equipado com um pino fêmea e em sua outra extremidade uma garra jacaré, ou uma pequena chapa de cobre, dependendo da necessidade do ensaio.

3.1.3 RESULTADOS

Para verificar o funcionamento da caixa e do novo cabo conectado foram realizados testes de continuidade utilizando o multímetro. A partir desses testes verificou-se o correto funcionamento da caixa, pois não há continuidade entre a blindagem e o condutor interno, com o interruptor fechado, verificou-se que o condutor estava conectado ao terra, e com o interruptor aberto, o cabo não estava conectado diretamente ao terra, pois o sinal passa pelo multímetro. Ainda para teste dos cabos, foi realizado o ensaio em um mesmo bastão três vezes, cada um com um cabo diferente, e os resultados foram convincentes, todos os valores medidos foram bem próximos um dos outros.

Agora, com três cabos funcionando, podem-se realizar mais ensaios simultâneos, como em luvas e bastões, pois se precisa medir a corrente de fuga em cada um deles. Os três canais também são de utilidade na realização dos ensaios em cestas aéreas de categoria B (isolação de 69 kV), pois é realizada medição de corrente de fuga na lança isolante, nas mangueiras hidráulicas e na carcaça do caminhão.

3.2 SUBSTITUIÇÃO DOS ISOLADORES DA MESA

Para a realização dos ensaios em coberturas, conforme visto no item 2.4 utiliza-se uma mesa com quatro isoladores de pino. Estes isoladores eram de vidros e pequenos, e por isso tinham em suas bases pedaços de madeira com um furo em seu centro, para compensar o seu tamanho (Figura). Porém para colocar e retirar as coberturas circulares e de condutor, é exercido um grande esforço mecânico sobre o eletrodo interno e conseqüentemente sobre os isoladores, que devido aos suportes de madeira em suas bases, os isoladores apresentavam folgas em relação a mesa.

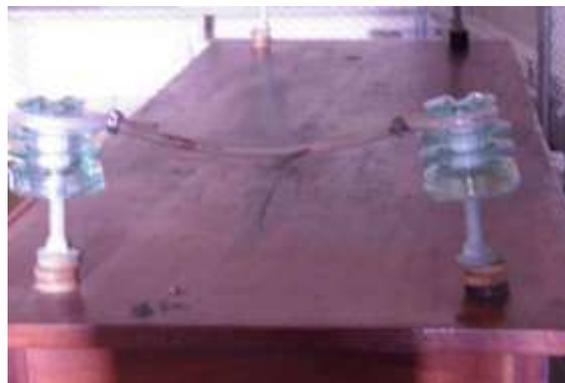


Figura 10 - Mesa com isoladores de pino e base de madeira.

Para resolver estes problema, foi proposto a substituição dos 4 pequenos isoladores de vidro por 4 isoladores de porcelana do tipo pilar. Como estes isoladores são maiores, suas bases ficam sobre a mesa, sem a necessidade de apoio auxiliar de madeira, fazendo com que suportem mais esforço.

3.2.1 ISOLADORES DE PORCELANA DO TIPO PILAR

Esses isoladores são utilizados sobre as cruzetas dos postes. Os isoladores utilizados foram doados pela Energisa. Cada isolador pesa 7 kg e sua tensão nominal é de 25 kV, enquanto que a tensão suportável em frequência industrial durante 1 minuto é 50 kV. Quanto as características mecânicas, sua carga de ruptura é 8 kN (Muller, 2012).



Figura 13 - Comparativo entre os isoladores.



Figura 14 - Mesa com os isoladores tipo pilar.

3.3 ELETRODO PARA ENSAIO EM BANQUETAS

O método de ensaio em banquetas isolantes foi visto no item 2.6. Para diminuir a presença do ar entre o eletrodo e a banquetta, e consequentemente o efeito corona gerado com a alta tensão, foi substituído o eletrodo utilizado nesses ensaios.

O eletrodo que era utilizado era confeccionado de papel alumínio, e devido a fraca resistência mecânica, era constantemente substituído.

Para resolver os problemas anteriormente citados, foi confeccionado um eletrodo de zinco para ser utilizado nos ensaios das banquetas.

3.3.1 PROCEDIMENTOS

Para confecção do eletrodo, foi utilizado uma folha de zinco, que foi cortada do tamanho do antigo eletrodo utilizado (450 x 450 mm). Os cortes no zinco foram efetuados no laboratório de mecânica.

Para amenizar o efeito das pontas, onde o campo elétrico tem maior intensidade, as pontas do eletrodo foram arredondadas (detalhe na Figura 15).

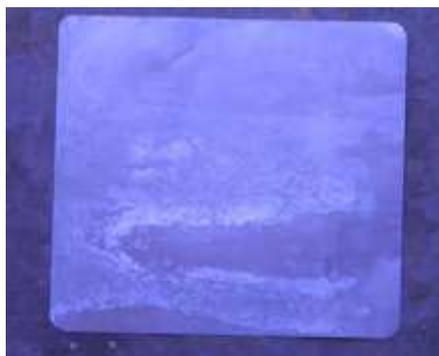


Figura 15 - Eletrodo para ensaio em banquetas.

3.3.2 RESULTADOS

Vários ensaios foram realizados com o novo eletrodo e com antigo (eletrodo de papel alumínio). Os resultados foram positivos, devido ao material utilizado (zinco) ser mais rígido, além de facilitar na execução do ensaio (não é necessário fita adesiva para prender o eletrodo à banqueta), percebeu-se a diminuição do ar entre o eletrodo e a banqueta, com isso diminuí-se as descargas parciais que originam descargas disruptivas que podem ser destrutivas ao equipamento (Junior, 2010).



Figura 16 - Ensaio em banqueta com novo eletrodo.

3.4 ELETRODO PARA ENSAIO DE COBERTURAS DE CONDUTOR

Para realização dos ensaios em coberturas em PVC de condutor, conforme foi descrito no item 2.5, utilizam-se dois eletrodos. Porém o eletrodo que é usado externamente, feito de zinco, devido sua rigidez mecânica e seu formato, pode, em

alguns casos, apresentar dificuldades no momento em que coloca-se e retira o eletrodo na cobertura da cobertura. Outro problema deste eletrodo são as descargas parciais devido a distância entre a cobertura e a alta tensão, como a constante dielétrica do ar é diferente da do PVC, quando submetido a um campo elétrico, a cavidade preenchida pelo ar terá um gradiente de tensão superior ao suportável, originando pequenas descargas disruptivas que acarretam em deterioração do material e eventualmente a falha do equipamento (Junior, 2010).

Com o intuito de minimizar ao máximo as dificuldades citadas e melhorar a qualidade dos ensaios foi construído um novo eletrodo para ensaios da cobertura de condutor.

3.4.1 MATERIAL UTILIZADO

- 2 Coberturas de condutor em PVC
- Espuma EVA
- Papel metálico
- Cola

3.4.2 PROCEDIMENTOS

O primeiro passo para a confecção do eletrodo é cortar as laterais da cobertura, respeitando as distâncias mínimas do tamanho do eletrodo. Na Figura 16 pode-se observar a cobertura já com as laterais cortadas.



Figura 16 - Cobertura de condutor com as laterais retiradas.

Após cortar as laterais, efetua-se um corte transversal, dividindo a cobertura em duas. Em seguida são cortadas as bordas inferiores.



Figura 17 - Cobertura de condutor cortada ao meio.

Com todos os cortes realizados (Figura 18), a cobertura esta pronta para receber a camada de borracha com o papel metálico (Figura 19). O papel metálico é colado na espuma, e em seguida o outro lado da espuma é colado na cobertura (Figura 20).

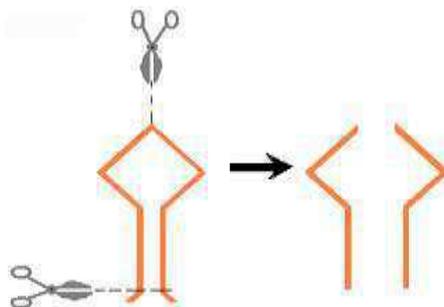


Figura 18 – Vista frontal da cobertura cortada ao meio (COPEL Distribuição, 2006).

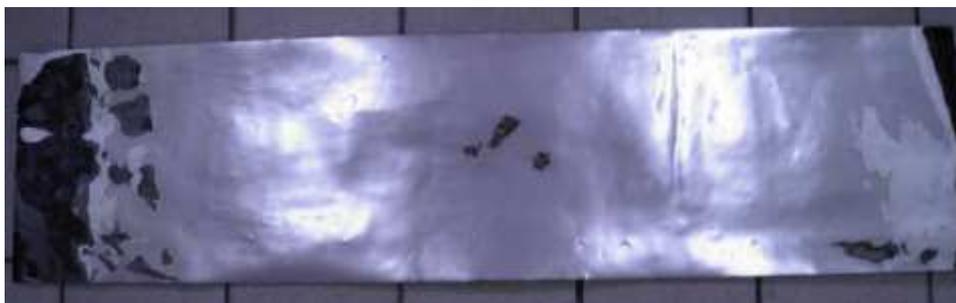


Figura 19 - Papel colado na borracha.



Figura 20 - Peça com a borracha colada nas laterais da cobertura.



Figura 21 - Vista frontal da peça.

Com o intuito de unir ainda mais as duas laterais da cobertura, foram adicionadas 3 tiras de borrachas na peça, dando mais firmeza no movimento de abrir e fechar. As borrachas que foram inseridas, podem ser vistas na Figura 22.

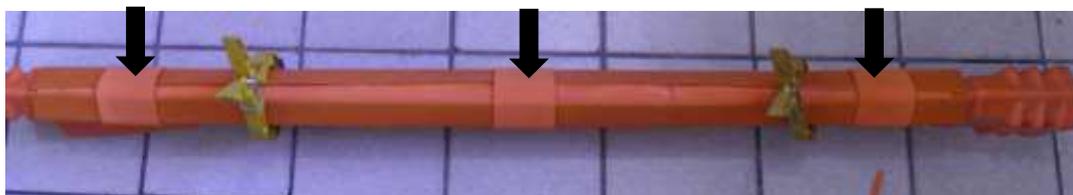


Figura 22 Arranjo com tiras de borracha para fixação.

Como apenas a parte interna da peça é condutora, é utilizado um pequeno parafuso para fazer o contato entre a parte condutora e ponto de aplicação da tensão.

3.4.3 RESULTADOS

Como era esperado, com este novo eletrodo, o ensaio foi realizado com maior rapidez. No entanto, após a realização de alguns ensaios, percebeu-se o desgaste do material condutor na região do parafuso utilizado para fazer contato, possivelmente devido ao calor provocado por pequenas descargas.

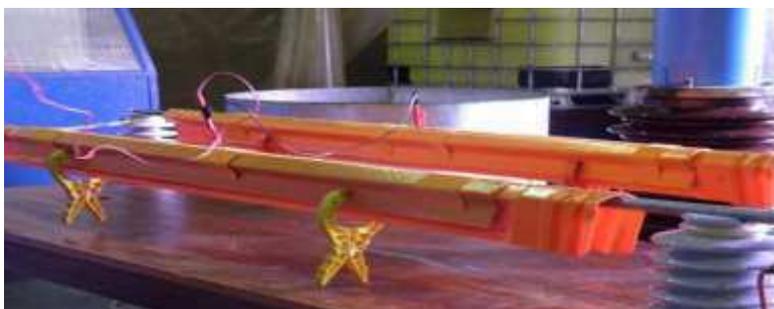


Figura 23 - Ensaio realizado utilizando o novo arranjo.

Na Figura 24 pode-se observar o estado do eletrodo após o ensaio. Para a resolução deste problema, seria necessária a substituição do material condutor por uma fina lamina metálica, que possa ser moldada no formato da cobertura.



Figura 24 – Eletrodo após ensaios.

3.5 ESTRUTURA PARA ENSAIO EM LUVAS E MANGAS

ISOLANTES

Foi visto anteriormente que o ensaio em luvas e mangas é realizado utilizando a água como condutor, utilizando para isso um grande recipiente (60 litros, aproximadamente). Para facilitar a realização do ensaio, este recipiente foi substituído por dois menores (30 litros), facilitando o manuseio e fazendo possível a realização de dois ensaios simultâneos.

3.5.1 MATERIAL UTILIZADO

Para a utilização dos recipientes nos ensaios, é necessário fazer algumas modificações para que se possa medir a corrente de fuga, para isso são necessários os seguintes materiais:

- 2 Baldes (30 litros)
- 2 Parafusos
- 2 Chapas de metal
- Cortiça
- Prendedores
- Linha nylon

- Eletrodo cilíndrico

Na Figura 25 pode-se observar os materiais utilizados para confecção da estrutura utilizada para ensaios de mangas e luvas isolantes de borracha.



Figura 25 - Material utilizado.

3.5.2 PROCEDIMENTOS

O objetivo é adaptar o balde para que se possa medir a corrente de fuga no interior do balde, utilizando um condutor externamente, fazendo-se necessário furar o balde.

A chapa de metal é utilizada na parte interna ao balde, para aumentar a superfície de contato com a água, e a cortiça é utilizada para vedação do orifício em que está o parafuso utilizado para fazer o contato entre a parte externa e interna.



Figura 26 - Vista interna e externa do balde com eletrodo.

Para prender as luvas e as mangas são utilizados prendedores presos à borda do balde por uma linha nylon.

3.5.3 RESULTADOS

O ensaio foi realizado inicialmente com a tampa no balde, a luva era colocada em um orifício em seu centro, pois com a tampa, é mais fácil para fixar a luva, deixando-a sempre em uma posição fixa. Após a realização de alguns ensaios, percebeu um aumento significativo na corrente de fuga medida, tal valor reprovava as luvas, então retirou-se as tampas dos baldes e realizou-se novamente o ensaio, e percebeu-se que os valores diminuíram e voltaram aos padrões aceitáveis por norma.

O problema da alta corrente medida com a tampa deve ter ocorrido devido à presença de água na parte inferior da tampa, facilitando o percurso da corrente de fuga da luva para a água.

Ainda nos ensaios das luvas e mangas, é utilizada uma régua para mediar a altura da parte emersa em água (Tabela 2), pois essas nem sempre eram respeitadas.



Figura 27 - Ensaio de Mangas e Luvas utilizando o novo arranjo.



Figura 28 - Detalhe da régua, medindo a altura da parte emersa.

3.6 MUDANÇAS NOS ENSAIOS DE MANGAS ISOLANTES

Foi visto no item 2.3 que o método utilizado no LAT para a realização de ensaios em mangas isolantes de borracha, é o método da manga invertida. Porém, de acordo com NBR 10623, esse método só deve ser utilizado para ensaios de até 10 kV, ou seja, apenas para mangas da classe 0 e 1. Essa limitação é devido ao fato das mangas serem ensaiadas curvadas, acarretando um esforço mecânico desnecessário. As dobras também alteram os eletrodos da água, tornando o campo elétrico mais intenso naquela região, o que favorece junto com o esforço mecânico, a ruptura dos materiais nessas regiões (COPEL, LATEC, 2006).

3.6.1 MONTAGEM EM U

Para superar essa barreira é proposta a utilização da montagem em U (Figura 29). Embora nesse método a manga também seja ensaiada com dobras, essas são menos acentuadas, e os esforços mecânicos e o campo elétrico são menores do que na montagem invertida. Com esse método podem ser realizados ensaios com até 20 kV (ABNT, 1989).

Nesse método a água também é utilizada como eletrodo interno e externo, é colocado um cilindro de material não condutor e peso específico maior que o da água, no meio da luva, com o objetivo de submergi-la. Deve-se tomar alguns cuidados na montagem, os níveis de água dentro e fora da luva devem coincidir, e principalmente para não formar arestas vivas nas mangas, as quais podem provocar rupturas dielétricas prematuras nesse ponto (ABNT, 1989).

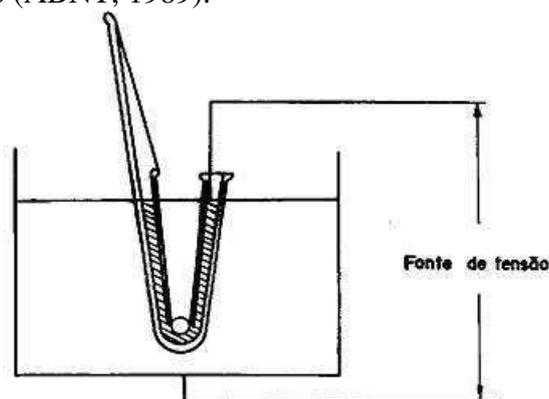


Figura 29 - Montagem em U para ensaios em mangas isolantes (ABNT, 1989, p. 14).

3.6.2 RESULTADOS

As mangas foram ensaiadas no Laboratório utilizando a montagem em U (Figura 30) e também ensaiadas utilizando a montagem invertida, e os resultados foram os mesmos, no entanto para a tensão aplicada (20 kV) a norma recomenda que seja utilizada a montagem em U.



Figura 30 - Ensaio de Manga com montagem em U.

4 CONCLUSÃO

Apresentou-se neste trabalho algumas dificuldades e problemas na execução de ensaios em ferramentas de linha viva no LAT, os principais problemas são as descargas parciais e coronas, devido a geometria dos eletrodos permitirem ar entre a alta tensão aplicada e o equipamento em ensaio, e a geração de corona.

Implementou-se diversas mudanças nos ensaios, tanto nos procedimentos, como também mudanças nas estruturas utilizadas para a execução dos mesmo. Mudanças em eletrodos, como o de banquetas e o de coberturas de condutor, diminuindo o ar entre o eletrodo e os equipamentos.

Nas mangas, para ensaios acima de 10 kV aplicou-se a montagem em U, que, comparado ao método da manga invertida, os esforços mecânicos são um pouco menores. Algumas mudanças não tiveram características elétricas, como a substituição dos isoladores da mesa que é utilizada em diversos ensaios, no entanto foram de grande ajuda na realização dos ensaios. Outras mudanças visaram a agilizar os ensaios, permitindo a realização de dois ensaios simultâneos, como o arranjo utilizado nos ensaios de luvas e mangas.

As mudanças implementadas atingiram os principais objetivos: facilitar a execução e aumentar a qualidade dos ensaios, diminuindo a interferência dos métodos utilizados nos resultados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. **NBR 10622 - Luvas isolantes de borracha**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 1989. p. 31.

ABNT. **NBR 10623 - Mangas isolantes de borracha**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 1989. p. 35.

ABNT. **NBR 11854 - Bastão isolante para trabalho em redes**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 1992. p. 14.

ABNT. **NBR 14540 - Bastão e escada isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada - Transmissão**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. Rio de Janeiro: ABNT. 2000. p. 13.

ABNT. **NBR 16092 - Cestas aéreas - Especificações e ensaios**. Associação Brasileira de Normas Técnicas. [S.l.]: ABNT. 2012. p. 55.

BILL. Lineman Bill. **Tripod**. Disponível em: <http://members.tripod.com/lineman_bill/history.htm>. Acesso em: 15 abr. 2013.

COPEL DISTRIBUIÇÃO. **Manutenção de redes de distribuição - Procedimentos de Ensaio de Ferramentas e Equipamentos de**. Manual de Instruções Técnicas. [S.l.]: SED/DEPOM. 2006. p. 118.

COPEL DISTRIBUIÇÃO. **PROCEDIMENTOS DE MANUTENÇÃO E CONSTRUÇÃO EM REDES CONVENCIONAIS E COMPACTAS ENERGIZADAS**. MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS. [S.l.]: SED/ DOMS/ VMCQ. 2012. p. 37.

COPEL, LATEC. Ensaio para Ferramentas de Linha Viva. 6.

HOT LINE. Sobre a Empresa: HOT LINE Construções Elétricas LTDA. Disponível em: <http://www.hotlinenet.com.br/linha_viva.asp>. Acesso em: 15 abril 2013.

JUNIOR, J. T. Medição de Descargas Parciais. **Elétrica UFPR**. Disponível em: <<http://www.eletrica.ufpr.br/piazza/ensaios/meddp1.pdf>>. Acesso em: 20 abr. 2013.

MULLER, E. **Desenho e especificação do produto - Isolador pilar de porcelana 25 kV**. Siklowatt. [S.l.], p. 1. 2012.

PAULINO, J. Manutenção em Linhas de Transmissão de Energia Elétrica. **A Engenharia no dia a dia**, 2009. Disponível em: <http://engenharianodiaadia.blogspot.com.br/2009/07/manutencao-das-linhas-de-transmissao-de_29.html>. Acesso em: 15 Abril 2013.

