



Universidade Federal de Campina Grande  
Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Departamento de Engenharia Elétrica  
Grupo de Sistemas Elétricos



Pablo Vinícius Brandão Araújo

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO  
Local de Estágio: Laboratório de Alta Tensão (LAT)/DEE/UFCG

Campina Grande/PB  
Fevereiro de 2013

Pablo Vinícius Brandão Araújo

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado  
apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

*Orientador: Prof. Dr. Edson Guedes da Costa*

Campina Grande/PB  
Fevereiro de 2013

Pablo Vinícius Brandão Araújo

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado  
apresentado ao Curso de Engenharia Elétrica  
da Universidade Federal de Campina Grande,  
como requisito parcial para obtenção do título  
de Bacharel em Engenharia Elétrica.*

---

**Tarso Vilela Ferreira**

Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

---

**Pablo Vinícius Brandão Araújo**

Universidade Federal de Campina Grande  
Aluno

---

**Prof. Dr. Edson Guedes da Costa**

Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador

Campina Grande/PB  
Fevereiro de 2013

*Dedico este trabalho a toda minha família, pelo incentivo e suporte, em todos os sentidos das palavras, bem como para meus amigos que, apesar dos percalços, também foram de fundamental importância para a pessoa que sou hoje e o profissional que serei.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me dado a chance de cursar e chegar ao final de um tão bem conceituado curso de graduação.

Agradeço a minha família, por todo o apoio, incentivo, orientação e broncas dadas a mim durante todo o curso, bem como em tudo que faço durante minha vida, e com a qual espero poder sempre contar.

Agradeço a meus amigos e colegas, encontrados durante a graduação, por tudo que pude aprender com eles e todo apoio com qual pude contar. Espero, também, levar a amizade de alguns por toda a vida.

Agradeço ao professor Edson Guedes, pela chance de estágio a mim concedida. Agradeço por todo o conhecimento a mim repassado, que se mostrou bem maior que o esperado, e também por todos os incentivos a pesquisa e buscas ao conhecimento.

Finalmente, queria também agradecer, em especial, aos funcionários do LAT, mais especificamente a Eduardo, Adriano e Chico, por toda a ajuda que me deram, pois sem ela este trabalho se tornaria impossível.

## **RESUMO**

Este relatório descreve as atividades realizadas no Laboratório de Alta Tensão, da Universidade Federal de Campina Grande, referentes ao estágio supervisionado. O estágio é requisito parcial para formação no curso de graduação em Engenharia Elétrica. Também serão descritas algumas dependências do Laboratório e as atividades desenvolvidas, bem como os equipamentos presentes. As atividades foram realizadas entre junho e julho de 2012. As atividades consistiram no acompanhamento de experimentos; realização de medições; realização de ensaios; montagem, desmontagem e manutenção de equipamentos, entre outras.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1–Fotografia do Laboratório de Alta Tensão. ....	11
Figura 2–Fotografia do gerador de impulso de corrente. ....	12
Figura 3– Fotografia dos Laboratórios de Sistemas Elétricos e Instalações Elétricas. ..	13
Figura 4– (a) Circuito utilizado para medição das descargas parciais; (b) Esquema de ligação do transformador ensaiado. ....	15
Figura 5 – Fotografia do circuito para medição das descargas parciais: (a) Circuito elétrico; (b) Detalhe para sistema de aquisição dos dados. ....	15
Figura 6 – Fotografia do ensaio para verificação da corrente de fuga na lança do caminhão.....	16
Figura 7 – Circuito do Gerador de Impulso de Corrente. ....	17
Figura 8 – (a) Fotografia da área cercada e demarcada para ensaios nas hastes de aterramento. (b) Fotografia da placa de sinalização de perigo. ....	18
Figura 9 – Formas de onda da tensão sobre as hastes (com tensão de carregamento de 10 e 60 kV): (a) Haste nua; (b) Haste concretada.....	19
Figura 10 – Fotografia do transformador do gerador de impulso de corrente: (a) Acoplado ao gerador; (b) Sem a tampa. ....	20
Figura 11 – (a) Fotografia do tanque inclinado, para saída de óleo. (b) Fotografia da estufa utilizada.....	20
Figura 12 – (a) Fotografia do Transformador e divisor de tensão utilizados; (b) Fotografia do material ensaiado; (c) Fotografia da bancada de medição da corrente de fuga. ....	21
Figura 13 – Esquema para realização de ensaios em luvas isolantes. (Fonte: Manual de Instruções Técnicas, 2006). ....	22
Figura 14 – Montagem para ensaio de luvas isolantes. ....	23
Figura 15 – Lençóis isolantes: (a) Inteiro (b) Bipartido. (Fonte: COPEL, 2006).....	24
Figura 16 – Fotografia do ensaio elétrico em lençol isolante.....	24
Figura 17 – (a) Arranjo para ensaio elétrico de mangas isolantes (Fonte: COPEL, 2006); (b) Fotografia do arranjo utilizado.....	25
Figura 18 – Fotografia da manga isolante reprovada no ensaio elétrico. ....	26
Figura 19 – Ensaio em cuba isolante: (a) Esquema de montagem (Fonte: MIT, 2006) (b) Fotografia do ensaio realizado.....	27
Figura 20 – Esquema de montagem para ensaio em cobertura rígida (Fonte: COPEL, 2006). ....	29
Figura 21 – Fotografia do ensaio em coberturas rígidas. ....	29
Figura 22 – Fotografia do ensaio em coberturas flexíveis.....	30
Figura 23 – (a) Cobertura para cruzeta (Fonte: Catálogo RITZ) – (b) Esquema de montagem para ensaio de cobertura para cruzeta (Fonte: MIT, 2006).....	31
Figura 24 – Fotografia do ensaio em coberturas protetoras circulares.....	32
Figura 25 – Coberturas reprovadas no ensaio elétrico, com detalhe na perfuração ocorrida: (a) $\varnothing = 300$ mm e L = 1800 mm; (b) $\varnothing = 150$ mm e L = 600 mm .....	33
Figura 26 – Modelo de anel de guarda (Fonte: MIT, 2006). ....	34

Figura 27 – (a) Circuito para ensaio em bastões e hastes de fibra (Fonte: MIT, 2006). (b)	
Fotografia do ensaio realizado.....	34
Figura 28 – Ensaio elétrico em escada. ....	35

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Corrente de fuga medida para cada valor de tensão aplicada à lança do caminhão.....	16
Tabela 2 – Tensões de ensaio e correntes de fuga para luvas isolantes.....	22
Tabela 3 – Resultados dos ensaios das luvas isolantes.....	23
Tabela 4 – Resultados dos ensaios dos lençóis isolantes.....	24
Tabela 5 – Tensões de ensaio para mangas isolantes. ....	25
Tabela 6 – Resultados dos ensaios em mangas isolantes. ....	26
Tabela 7 – Resultado do ensaio elétrico no <i>liner</i> .....	27
Tabela 8 – Classificação das coberturas quanto à tensão de uso. ....	28
Tabela 9 – Tensão e tempo de ensaio em função da classe de isolamento. ....	28
Tabela 10 – Resultados dos ensaios das hastes rígidas. ....	29
Tabela 11 – Resultados dos ensaios em coberturas flexíveis. ....	30
Tabela 12 – Resultado de ensaio elétrico para a banquetta. ....	30
Tabela 13 – Resultado do ensaio em cobertura para cruzeta.....	31
Tabela 14 – Resultado dos ensaios em coberturas circulares.....	32
Tabela 15 – Valor da corrente de fuga para hastes e tubos de fibra para tensão aplicada de 100 kV ou de 50 kV.....	33
Tabela 16 – Resultados dos ensaios para vara de manobra. ....	34
Tabela 17 – Resultado de ensaio em escada extensiva.....	35

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	10
2. AMBIENTE DAS ATIVIDADES .....	11
2.1 Laboratório de Alta Tensão .....	11
2.2 Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente.....	12
2.3 Sala do Kit de Alta Tensão .....	12
2.4 Laboratórios de Sistemas Elétricos e Instalações Elétricas .....	12
2.5 Laboratório de Materiais Elétricos.....	13
3. ATIVIDADES REALIZADAS .....	14
3.1 Ensaio de Descargas Parciais.....	14
3.2 Verificação da Corrente de Fuga em Lança de Caminhão .....	15
3.3 Ensaio em Hastes de Aterramento.....	17
3.4 Manutenção de Transformador .....	19
3.5 Ensaio Elétrico em Ferramentas para Manutenção de Linhas Energizadas .....	21
3.5.1 Ensaio em Luvas Isolantes .....	22
3.5.2 Ensaio em Lençóis Isolantes .....	23
3.5.3 Ensaio em Mangas Isolantes .....	25
3.5.4 Ensaio em Liner (Cuba Isolada).....	26
3.5.5 Ensaio em Coberturas para Condutores .....	27
3.5.6 Ensaio em Banqueta Isolada .....	30
3.5.7 Ensaio em Cobertura para Cruzeta.....	31
3.5.8 Ensaio em Cobertura Protetora Circular .....	31
3.5.9 Ensaio em Bastão de Manobra .....	33
3.5.10 Ensaio em Escada Extensiva.....	35
4. CONCLUSÕES .....	36
5. BIBLIOGRAFIA .....	37

## **1. INTRODUÇÃO**

Em sua formação profissional, é essencial que o engenheiro busque criar o hábito de sempre questionar o motivo de cada fenômeno, bem como suas consequências e também as alterações causadas com a mudança das condições em que o mesmo foi realizado. Assim, um profissional que questiona soluções tradicionais é capaz de criar novas soluções, exercendo sua criatividade e até mesmo otimizando soluções já existentes.

Para que tudo isso ocorra, é necessário o acúmulo de experiências por parte do profissional. A disciplina de estágio, requerida ao final do curso de graduação em Engenharia Elétrica da UFCG, busca justamente aumentar os conhecimentos técnicos e práticos do aluno. O estágio supervisionado busca aplicar os conhecimentos teóricos, adquiridos durante o curso, em aplicações práticas, simulando situações reais, que devem respeitar condições técnicas e prazos de tempo específicos.

Neste relatório apresentam-se atividades realizadas pelo autor, no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), para cumprimento do estágio curricular obrigatório, que foi realizado entre 19 de novembro e 14 de dezembro de 2012.

No decorrer do estágio, foram realizadas atividades de desmontagem, manutenção e montagem de equipamentos do laboratório; acompanhamento de experimentos; medições; ensaios, entre outras.

## **2. AMBIENTE DAS ATIVIDADES**

Como as atividades foram realizadas em diferentes ambientes do Laboratório, primeiramente, será feita uma breve descrição das salas que compõem o LAT. Dentre suas dependências, tem-se: Laboratório de Alta Tensão, Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente, Laboratório de Sistemas Elétricos, Laboratório de Instalações Elétricas, Laboratório de Materiais Elétricos, Sala do Kit de Alta Tensão, além de auditórios, salas de professores e salas para alunos envolvidos em pesquisas.

### **2.1 Laboratório de Alta Tensão**

O Laboratório de Alta Tensão é a maior sala designada à realização de experimentos de grande porte e ensaios, ou testes, em equipamentos proteção individual (EPI) ou coletiva (EPC). Alguns equipamentos desta sala são: transformadores de alta tensão em cascata, geradores de impulso de tensão, câmara de névoa, além de instrumentos e dispositivos auxiliares.

O transformador em cascata pode atingir tensões de até 600 kV, com uma corrente de 1 A. O gerador de impulso de tensão pode atingir até 700 kV. Com isso, podem-se realizar ensaios de tensão suportável e de impulso de tensão em equipamentos como transformadores, isoladores, chaves, disjuntores, etc. Nesta sala também são realizados ensaios em EPI, caminhões e equipamentos (de manobra e segurança) para verificação de suas condições de uso e adequação as normas. Na Câmara de Névoa são simuladas condições atmosféricas que envolvem umidade ou névoa salina, para utilização em ensaios com isoladores. Na Figura 1 observa-se uma fotografia do Laboratório de Alta Tensão.



**Figura 1–Fotografia do Laboratório de Alta Tensão.**

## **2.2 Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente**

Nesta sala, tem-se um gerador de impulso de corrente capaz de atingir uma tensão de carregamento de até 100 kV, com 80 kJ, onde são feitos experimentos vinculados a pesquisa em para-raios.



**Figura 2–Fotografia do gerador de impulso de corrente.**

## **2.3 Sala do Kit de Alta Tensão**

O kit de alta tensão possui um transformador que opera em uma faixa de tensão de 0 a 100 kV. Além do transformador, o kit também conta com resistores, capacitores, diodos, espinterômetros (fixos ou móveis) e tubos para descargas a vácuo, ou em gases. Assim, o kit pode ser utilizado para experimentos com geração de alta tensão alternada ou contínua, tensão suportável, distribuição de tensão em cadeia de isoladores e geração de tensão impulsiva.

## **2.4 Laboratórios de Sistemas Elétricos e Instalações Elétricas**

Nesta sala são realizados os experimentos da disciplina de Laboratório de Sistemas Elétricos e alguns experimentos da disciplina de Laboratório de Instalações Elétricas. O espaço conta com bancadas para realização de experimentos referentes a sistemas de potência, instalações elétricas industriais e fotometria. As bancadas contêm

motores elétricos, capacitores, indutores, resistores e dispositivos utilizados em instalações elétricas industriais.



**Figura 3– Fotografia dos Laboratórios de Sistemas Elétricos e Instalações Elétricas.**

## **2.5 Laboratório de Materiais Elétricos**

Nesta sala são realizados os experimentos da Disciplina de Materiais Elétricos. Para muitos destes experimentos utiliza-se o kit de alta tensão. Alguns dos experimentos realizados são: medição de capacitância, permissividade de dielétricos; distribuição de tensão em cadeias de isoladores; curva de magnetização e ciclo de histerese em núcleos de transformadores; estudo de descargas em gases e caracterização elétrica de varistores.

### **3. ATIVIDADES REALIZADAS**

Algumas das atividades realizadas foram: ensaio para verificação da corrente de fuga em lança e carroceria de caminhão, ensaio de equipamentos de proteção individual e coletiva, medição de descargas parciais, ensaios de desempenho de sistemas de aterramento e manutenção de transformador.

Todas as atividades, experimentos ou ensaios foram realizados com o acompanhamento de técnicos do LAT ou alunos de pós-graduação e com a supervisão de professores.

#### **3.1 Ensaio de Descargas Parciais**

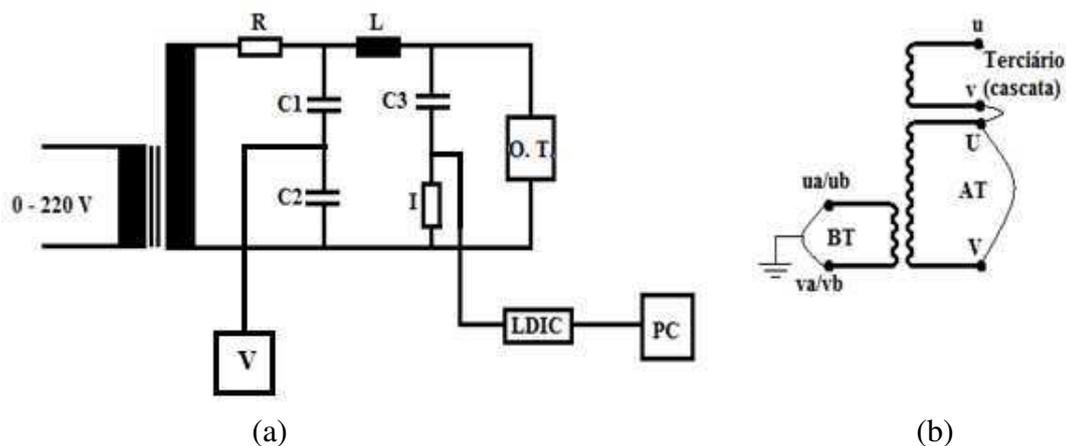
Segundo a Norma IEC 60270, de 2000, descargas parciais são descargas elétricas indesejadas, que ocorrem através de um isolante, e são localizadas entre dois condutores, podendo ou não ocorrer próximo de um deles. Sua ocorrência acaba deteriorando o isolamento e a integridade do equipamento onde ocorre.

O ensaio descrito a seguir fez parte de um conjunto de medições referentes a um trabalho de conclusão de curso.

Utilizando-se o kit de alta tensão para montagem do circuito mostrado na Figura 4(a), fez-se o ensaio de um transformador (objeto de teste), para medição das descargas parciais que poderiam ocorrer entre seus enrolamentos de baixa e alta tensão. Para isso, interligaram-se as extremidades do enrolamento de baixa tensão, submetendo-o a um mesmo potencial (aterrado; 0 V). Da mesma forma, interligaram-se os enrolamentos de alta tensão (como mostra a Figura 4(b)).

Devido à sensibilidade a ruídos e interferências, descargas parciais são difíceis de serem medidas, então, utilizou-se o *software* MATLAB® para filtragem.

A unidade das descargas parciais é o Coulomb (C), comumente na ordem de pico Coulomb (pC).



Legenda: I – Impedor; O.T. – Objeto de Teste (Transformador).

**Figura 4– (a) Circuito utilizado para medição das descargas parciais; (b) Esquema de ligação do transformador ensaiado.**

Na Figura 5 são mostradas fotografias do circuito montado e o sistema de aquisição dos dados.



**Figura 5 – Fotografia do circuito para medição das descargas parciais: (a) Circuito elétrico; (b) Detalhe para sistema de aquisição dos dados.**

### 3.2 Verificação da Corrente de Fuga em Lança de Caminhão

Para serviços em linhas energizadas, é necessário o uso de caminhões dotados de lança e cestas aéreas isoladas; porém, a segurança dos operadores depende da integridade desse isolamento. Como forma de verificação dessa integridade, os equipamentos devem ser submetidos periodicamente a ensaios elétricos seguindo as normas vigentes e especificações do fabricante.

Para verificação da corrente de fuga na lança do caminhão, aplicou-se uma tensão na região condutora a qual a cesta é fixada, de 10 kV, elevando-a de 10 em 10 kV até o limite de 100 kV (sempre anotando-se a corrente correspondente a cada valor de tensão). Após um minuto da aplicação de 100 kV, a corrente de fuga não deve ultrapassar 100  $\mu$ A, do contrário a lança estará reprovada. Na Figura 6, tem-se uma fotografia do ensaio e na Tabela 1 o resultado.



**Figura 6 – Fotografia do ensaio para verificação da corrente de fuga na lança do caminhão.**

**Tabela 1 – Corrente de fuga medida para cada valor de tensão aplicada à lança do caminhão**

Tensão aplicada (kV) (na cesta)	Corrente de fuga ( $\mu$ A) (na lança)
10	4,5
20	8,4
30	12,0
40	15,6
50	19,2
60	23,2
70	27,5
80	31,2
90	35,7
100	40,1
100	39,3*

Legenda: \*Valor medido após 1(um) minuto de aplicação da tensão correspondente.

Como, após um minuto sob a tensão de 100 kV, a corrente de fuga mostrou-se próxima a 39  $\mu$ A, a lança testada foi aprovada no teste de fuga de corrente.

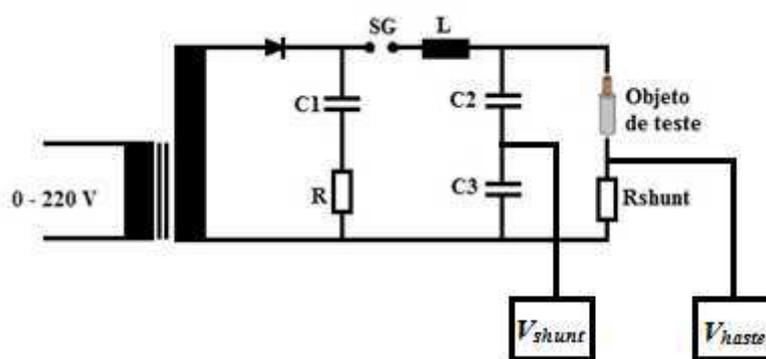
### 3.3 Ensaios em Hastes de Aterramento

Para Rodrigues e outros, "[...] aterramento é, essencialmente, uma conexão elétrica à terra, onde o valor da resistência de aterramento representa a eficácia dessa ligação [...]". Ainda, segundo os autores, o aterramento é importante para o correto funcionamento do sistema de proteção e segurança, garantindo a continuidade do serviço.

No artigo *Avaliação do Desempenho de um Novo Sistema de Aterramento Submetido a Impulsos de Corrente*, de Rodrigues e outros (2012), faz-se uso de hastes concretadas buscando reduzir o valor de suas resistências de aterramento. Baseando-se nesse trabalho, realizaram-se ensaios nas mesmas hastes a fim de aprofundarem-se os resultados.

Como objetivo inicial, os ensaios deveriam ser realizados em todas as hastes utilizadas no trabalho. Dessas, uma é do tipo convencional (haste nua), duas são concretadas convencionalmente e outras duas concretadas com concreto dopado com bentonita. Porém, ao decorrer dos ensaios, o transformador do Gerador de Impulso de Corrente apresentou defeitos, interrompendo as medições. Contudo, os ensaios ainda foram feitos em duas hastes: uma nua e outra concretada.

Na Figura 7 é mostrado o circuito elétrico do gerador de impulso de corrente utilizado.



**Figura 7 – Circuito do Gerador de Impulso de Corrente.**

Para captação das formas de onda, utilizou-se um osciloscópio de dois canais, onde, em um canal captava-se a forma de onda da tensão sobre a haste ( $V_{haste}$ ) e, no outro canal, captava-se a forma de onda da tensão sobre o resistor *shunt* ( $V_{shunt}$ ), que é

um resistor de baixa resistência utilizado apenas para que seja possível o cálculo da corrente. Dividindo-se essa última curva, ponto a ponto, pelo valor do resistor, obtém-se a curva da corrente.

Como a área destinada à aplicação dos impulsos é de livre circulação, houve necessidade de isolá-la. As fotografias a seguir mostram a demarcação feita na área.



(a)

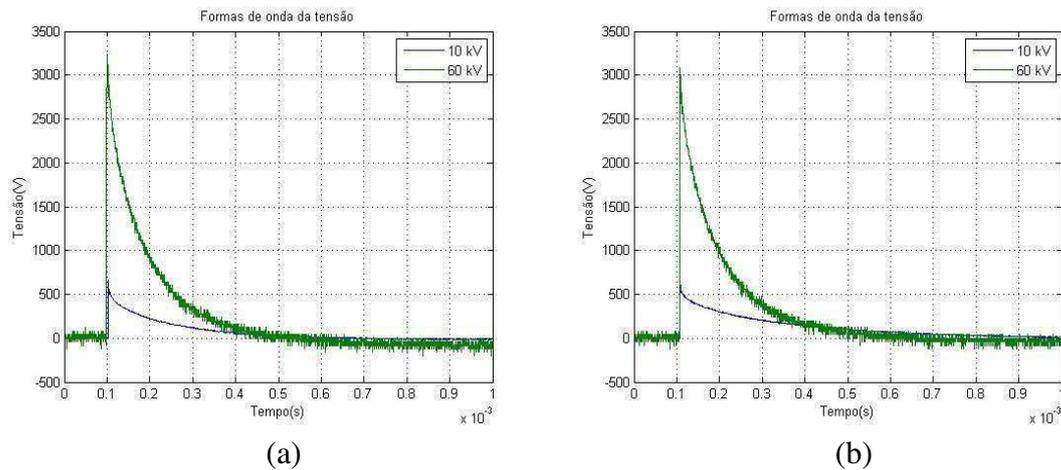


(b)

**Figura 8 – (a) Fotografia da área cercada e demarcada para ensaios nas hastes de aterramento. (b) Fotografia da placa de sinalização de perigo.**

Em cada haste aplicaram-se seis conjuntos de impulsos, onde cada conjunto era gerado com uma tensão de carregamento diferente. Iniciando-se com 10 kV e aumentando-se de 10 em 10 kV, até 60 kV (ou seja, um conjunto era aplicado com tensão de carregamento de 10 kv; o próximo conjunto com tensão de 20 kV; e assim sucessivamente, até 60 kV). Cada um desses conjuntos continham cinco impulsos.

Para cada impulso aplicado, guardavam-se os dados no osciloscópio. A seguir, têm-se as formas de onda da tensão sobre as hastes ensaiadas.



**Figura 9 – Formas de onda da tensão sobre as hastes (com tensão de carregamento de 10 e 60 kV): (a) Haste nua; (b) Haste concretada.**

Como as medições foram interrompidas devido a problemas no transformador, não se chegou a resultados concretos quanto a avaliação do sistema de aterramento.

### 3.4 Manutenção de Transformador

Durante os ensaios com as hastes de aterramento concretadas, o transformador do gerador de impulso de corrente apresentou defeito, de forma que a tensão no secundário não elevava-se a ponto de fazer o circuito chegar a tensão de carregamento desejada. Na tentativa de melhoria do isolamento entre os enrolamentos, concluiu-se que seu óleo deveria ser trocado. Na figura 10, observam-se duas fotografias do transformador do gerador de impulso de corrente. Na primeira, ele ainda acoplado ao gerador e na segunda ele já aberto para a troca do óleo.



(a)

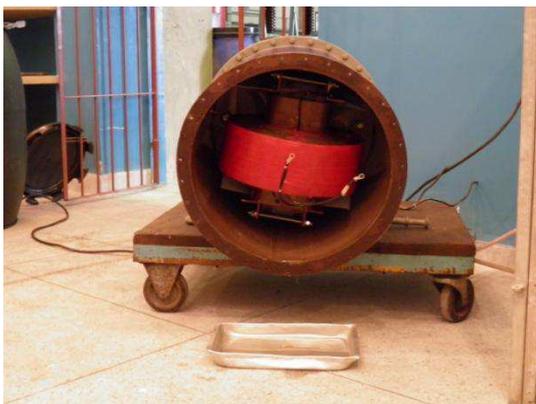


(b)

**Figura 10 – Fotografia do transformador do gerador de impulso de corrente: (a) Acoplado ao gerador; (b) Sem a tampa.**

Para troca do óleo, retirou-se a tampa com cuidado para que não caíssem pedaços da cortiça de vedação, que estava desgastada e quebradiça, dentro do tanque e, com uma mangueira, retirou-se a maior parte do óleo. Depois, inclinando-se o tanque, esperou-se até que o óleo escorresse completamente.

Já sem óleo, fez-se uma raspagem da cortiça e uma limpeza da parte interna do tanque, para retirada de pequenos resíduos. Então, o tanque e a tampa foram colocados em uma estufa (Figura 11(b)) por aproximadamente 72 (setenta e duas) horas, para retirada da umidade.



(a)



(b)

**Figura 11 – (a) Fotografia do tanque inclinado, para saída de óleo. (b) Fotografia da estufa utilizada.**

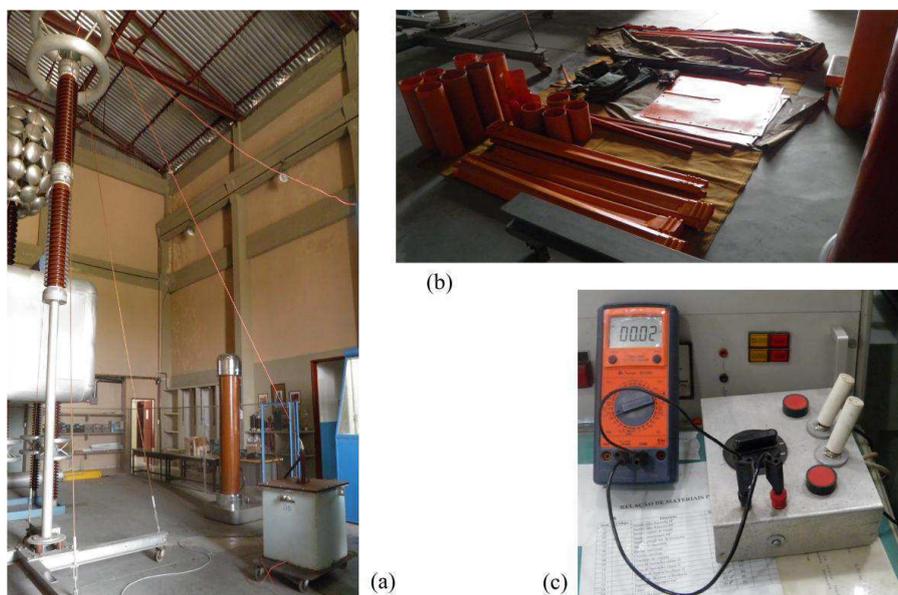
Terminado o processo de limpeza e secagem, colocou-se um novo óleo no tanque e trocou-se a cortiça por borracha sintética, devido sua indisponibilidade no comércio local. Após ser fechado, iniciaram-se os testes e o transformador voltou a apresentar defeitos, havendo descargas elétricas internas. Posteriormente, ele foi reaberto por outras pessoas, e o defeito foi cessado.

### 3.5 Ensaios Elétricos em Ferramentas para Manutenção de Linhas Energizadas

Para manter a segurança de equipes de trabalho de manutenção de linhas energizadas, suas ferramentas e equipamentos de manobra e proteção devem estar com seus isolamentos em perfeito estado. Para isso, eles são submetidos periodicamente a ensaios elétricos para verificação de adequação às normas regulamentadoras e especificações do fabricante.

As atividades descritas a seguir fazem parte de um relatório solicitado pela empresa PRENER Comércio de Materiais Elétricos LTDA (João Pessoa/PB), ao LAT.

Nos ensaios, utilizou-se um gerador de tensão AC de 100 kV, divisor de tensão capacitivo e um multímetro digital.



**Figura 12 – (a) Fotografia do Transformador e divisor de tensão utilizados; (b) Fotografia do material ensaiado; (c) Fotografia da bancada de medição da corrente de fuga.**

### 3.5.1 Ensaio em Luvas Isolantes

De acordo com o Manual de Instruções Técnicas (MIT) da COPEL, para ensaio de luvas isolantes, deve-se seguir a Tabela 02.

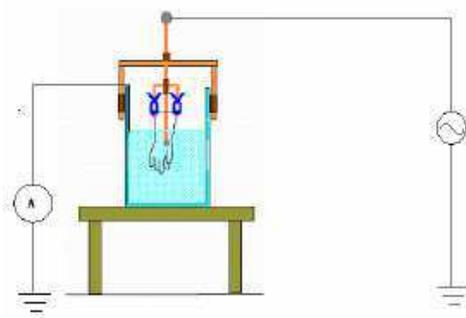
**Tabela 2 – Tensões de ensaio e correntes de fuga para luvas isolantes.**

Fonte: Manual de Instruções Técnicas, 2006.

Classe das luvas	Tensão de ensaio (V)	Tensão máxima de uso (V)	Distância H (mm)	Cor	Corrente máxima de fuga (mA)			
					L = 267	L = 356	L = 406	L = 457
00	2500	500	38	Bege	6	10	12	14
0	5000	1000	38	Vermelha	8	12	14	16
1	10000	7500	38	Branca	-	14	16	18
2	20000	17000	64	Amarela	-	16	18	20
3	30000	26500	89	Verde	-	18	20	22
4	40000	36000	127	Laranja	-	-	22	24

- Notas:
1. Exceto para luvas de classe 0 e 00, a tensão máxima de uso deve ser baseada na fórmula:  
tensão máxima de uso = 0,95 da tensão de ensaio – 2000 V.
  2. Os valores da tensão (V) referem-se a valores eficazes.
  3. L = comprimento da luva em milímetros.
  4. A distância H refere-se a parte emersa da luva (tolerância + ou – 8 mm).

Segundo o Manual, a luva não deve estar do avesso, os níveis de água no recipiente e no interior da luva devem coincidir e o material de fixação da luva deve ser isolante. Na Figura 13, o esquema de montagem física que deve ser implementado.



**Figura 13 – Esquema para realização de ensaios em luvas isolantes. (Fonte: Manual de Instruções Técnicas, 2006).**

Na Figura 14, é mostrada uma fotografia dos ensaios na luva. Para realização desses ensaios, aplicou-se uma tensão de 20 kV (60 Hz) durante um minuto (visto que

as luvas ensaiadas eram classe 2). Passado esse tempo, mediu-se a corrente de fuga e anotou-se na Tabela 03.

Analisando as Tabelas 2 e 3, percebe-se que as luvas foram todas aprovadas.



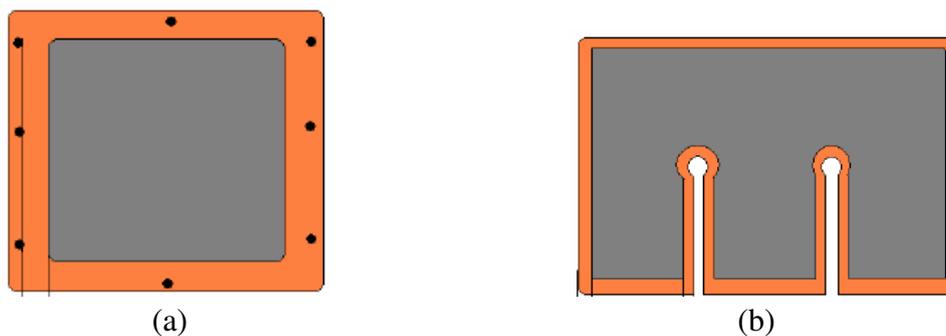
**Figura 14 – Montagem para ensaio de luvas isolantes.**

**Tabela 3 – Resultados dos ensaios das luvas isolantes**

Nº de Série	Fabricante	Lado	Tamanho	Corrente (mA)	Laudo
11063303	ORION	D	10	8,8	Aprovada
11063260	ORION	E	10	9,1	Aprovada
11063297	ORION	D	10	9,0	Aprovada
11063251	ORION	E	10	8,2	Aprovada

### **3.5.2 Ensaio em Lençóis Isolantes**

Os lençóis isolantes são confeccionados de borracha, logo, seguem as mesmas classes de isolamento de luvas e mangas isolantes de borracha. Existem dois tipos de lençóis: inteiriço e bipartido (Figura 15). Apesar de diferirem em alguns detalhes, o ensaio elétrico de ambos é semelhante: coloca-se o lençol sobre um eletrodo inferior (placa metálica) aterrado, e na parte superior, um eletrodo energizado. Então, de acordo com a classe de isolamento, aplica-se uma tensão durante um minuto. Passado esse tempo, caso o lençol não sofra danos, ele estará aprovado. Na figura 16 é mostrada uma fotografia do ensaio.



**Figura 15 – Lençóis isolantes: (a) Inteiro (b) Bipartido. (Fonte: COPEL, 2006)**



**Figura 16 – Fotografia do ensaio elétrico em lençol isolante.**

Aplicou-se uma tensão AC de 20 kV (60 Hz) durante um minuto. Ao final desse tempo, observaram-se as condições do lençol. Na Tabela 04, são apresentados os resultados.

**Tabela 4 – Resultados dos ensaios dos lençóis isolantes.**

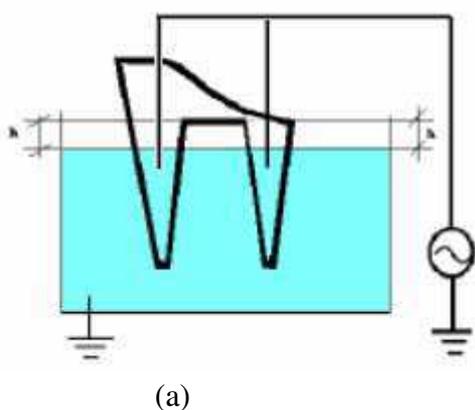
Nº Série	Tipo/Classe	Fabricante	Condições	Laudo
1063*	2/4	RITZ	Usado	Aprovado
1043	2/4	RITZ	Usado	Aprovado

Legenda: \*Lençol bipartido.

Apesar de o ensaio ter sido realizado com tensão de 20 kV, pelo Manual de Instruções Técnicas, que se baseia em algumas Normas Brasileiras, a recomendação é que seja utilizada tensão de 40 kV.

### 3.5.3 Ensaio em Mangas Isolantes

A manga isolante serve para proteger o eletricitista de eventuais toques em partes energizadas. Segundo o Manual de Instruções Técnicas, um dos possíveis arranjos para ensaio elétrico dessas mangas é mostrado na Figura 17(a), e é conhecido como montagem invertida. Deve-se inverter metade da manga, puxando-se o punho através de sua parte interna e mergulhar o arranjo parcialmente em um recipiente com água. A cavidade formada no interior também deve ser preenchida com água até que se iguale ao nível do recipiente. Na Figura 17(b) são mostradas fotografias do arranjo utilizado.



**Figura 17 – (a) Arranjo para ensaio elétrico de mangas isolantes (Fonte: COPEL, 2006); (b) Fotografia do arranjo utilizado.**

Feito o arranjo, o valor da tensão aplicada entre os eletrodos deve seguir a Tabela 5, que leva em conta a classe de isolamento da manga.

**Tabela 5 – Tensões de ensaio para mangas isolantes.**

Fonte: COPEL, 2006.

Classe da manga	Tensão máxima de uso (kV)	Tensão de ensaio AC (kV)	Tensão de Ensaio DC (kV)	Distância entre eletrodos (mm)
0	1	5	20	76
1	7,5	10	40	76
2	17	20	50	127
3	26,5	30	30	178
4	36	40	70	254

Por serem de classe de isolamento 2 (dois), submeteu-se as mangas a uma tensão de 20 kV (60 Hz) durante um minuto. Passado o tempo, caso sofresse danos (como perfuração ou ruptura elétrica) a manga estaria reprovada. Na Tabela 06, estão mostrados os resultado dos ensaios.

**Tabela 6 – Resultados dos ensaios em mangas isolantes.**

Nº de Série	Fabricante	Lado	Tamanho	Laudo
2002255	ORION	E	10	Reprovada
2002296	ORION	D	10	Aprovada
2002302	ORION	D	10	Aprovada
-	ORION	E	10	Aprovada

Na manga reprovada no ensaio, houve perfuração da borracha isolante, como mostra a Figura 18.



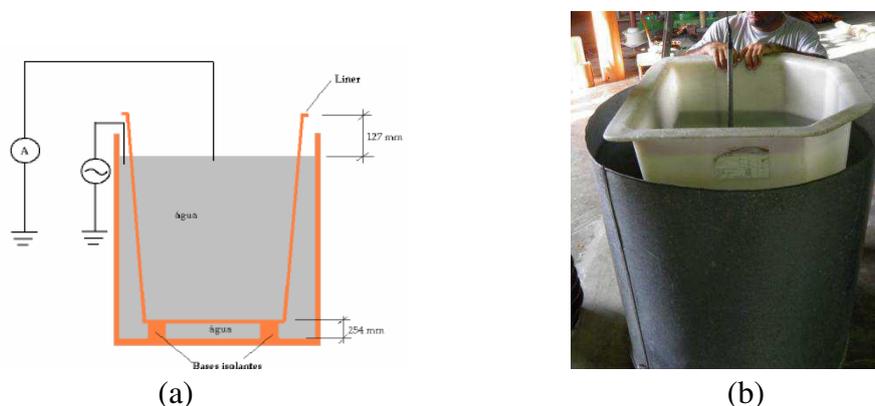
**Figura 18 – Fotografia da manga isolante reprovada no ensaio elétrico.**

#### **3.5.4 Ensaio em Liner (Cuba Isolada)**

Os *liners* são cubas isoladas que ficam acopladas ao extremo da lança do caminhão. Nele o eletricista pode realizar trabalhos em altura e submetido ao potencial da linha, daí a importância de seu isolamento.

Para ensaio elétrico, o *liner* deve ficar parcialmente imerso em um tanque com água (porém, não deve tocar o fundo, mas ser apoiado em bases isolantes), que também deve ser colocada em seu interior até igualar-se ao nível do tanque. O eletrodo aterrado

deve ser colocado no interior da cuba isolada, enquanto o eletrodo energizado exterior a ela, como mostra a Figura 19(a).



**Figura 19 – Ensaio em cuba isolante: (a) Esquema de montagem (Fonte: MIT, 2006) (b) Fotografia do ensaio realizado.**

O *liner* deve ser submetido a uma tensão alternada de 30 kV (60 Hz) durante um minuto. O mesmo estará aprovado se, passado esse tempo, ele não tenha sofrido danos. Na Tabela 7 é mostrado o resultado ensaio.

**Tabela 7 – Resultado do ensaio elétrico no *liner*.**

Nº de série	Fabricante	Tensão aplicada (kV)	Laudo
306796	RITZ	30	Aprovado

### 3.5.5 Ensaio em Coberturas para Condutores

As coberturas para condutores servem para que não haja contato acidental do eletricitista com condutores energizados. Quanto à rigidez, elas podem ser classificadas como rígidas ou flexíveis; quanto a isolamento, são classificadas de acordo com a Tabela 8. Baseado na classe de isolamento, a tensão e tempo de ensaios são dados pela Tabela 9.

**Tabela 8 – Classificação das coberturas quanto à tensão de uso.**

Fonte: COPEL, 2006.

Classe	Tensão de uso (kV)	
	Fase-fase	Fase-terra
2	14,6	8,4
3	26,4	15,3
4	36,6	21,1
5	48,3	27
6	72,5	48,8

**Tabela 9 – Tensão e tempo de ensaio em função da classe de isolamento.**

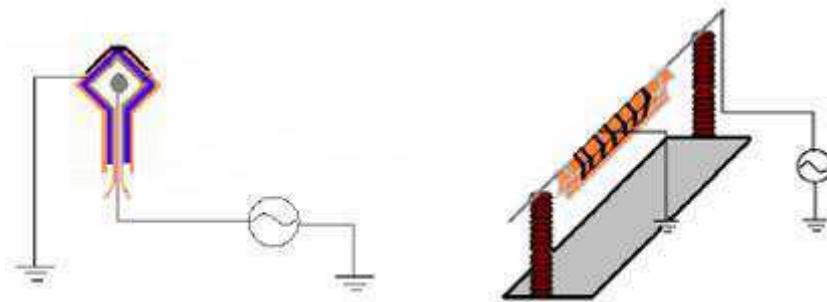
Fonte: MIT, 2006.

Classe	Tensão de ensaio (kV)		Tempo
	Fase-terra (60 Hz)	DC	
2	13	18	60
3	24	34	60
4	32	45	60
5	42	60	30
6	64	91	15

Os ensaios descritos a seguir serão divididos de acordo com a classificação das coberturas quanto à rigidez.

#### **3.5.5.1 Ensaio em coberturas rígidas**

Para realização deste ensaio utilizou-se um esquema de montagem semelhante ao da Figura 20, aplicando-se uma tensão AC de 20 kV (60 Hz) durante um minuto. Em caso de descarga disruptiva ou perfuração, a cobertura estará reprovada. Na Figura 21 observa-se a fotografia do ensaio e na Tabela 10 os resultados.



**Figura 20 – Esquema de montagem para ensaio em cobertura rígida (Fonte: COPEL, 2006).**



**Figura 21 – Fotografia do ensaio em coberturas rígidas.**

**Tabela 10 – Resultados dos ensaios das hastes rígidas.**

<b>Fabricante</b>	<b>N° série</b>	<b>Condições</b>	<b>Laudo</b>
RITZ	09-01131	Usada	Aprovada
RITZ	03335-1	Usada	Aprovada
RITZ	09-01649	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	09-01137	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	12960	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada

### **3.5.5.2 Ensaio em coberturas flexíveis**

Para ensaio em coberturas flexíveis utiliza-se o mesmo procedimento das coberturas rígidas. Suas classificações quanto à isolação, tensão e tempo de ensaio

também seguem as Tabelas 8 e 9. No ensaio utilizaram-se coberturas classe 2, tipo II, de 1400 mm.

Para aprovação do equipamento, ele deve suportar a tensão de ensaio (no caso, 20 kV) durante um minuto, sem descargas disruptivas ou perfurações. Na Figura 22, é mostrada uma fotografia do ensaio realizado nas coberturas flexíveis, e na Tabela 11, os resultados.



**Figura 22 – Fotografia do ensaio em coberturas flexíveis.**

**Tabela 11 – Resultados dos ensaios em coberturas flexíveis.**

Fabricante	Condições	Laudo
Horizon	Usada	Aprovada
Horizon	Usada	Aprovada
Horizon	Usada	Aprovada

### ***3.5.6 Ensaio em Banqueta Isolada***

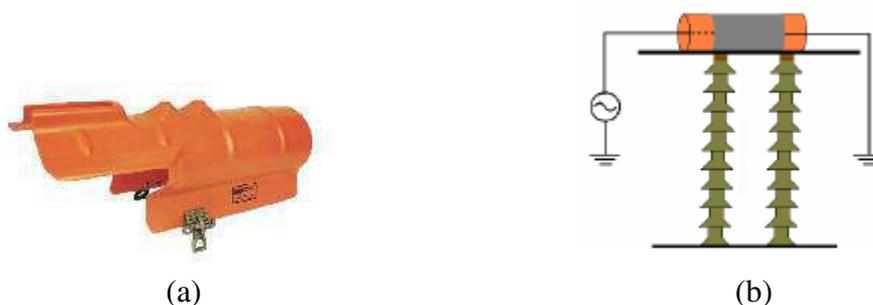
Para ensaio elétrico em banquetta isolada, aplica-se uma tensão alternada de 50 kV (60 Hz) durante um minuto. Se a banquetta suportar a tensão sem danos, estará aprovada. Na Tabela 12, é apresentado o resultado do ensaio.

**Tabela 12 – Resultado de ensaio elétrico para a banquetta.**

Nº de série	Tensão aplicada (kV)	Laudo
-	50	Aprovada

### 3.5.7 Ensaio em Cobertura para Cruzeta

Para ensaio em cobertura para cruzetas, ela deve envolver um dos eletrodos (que será energizado) e ser envolvida por outro eletrodo, que será aterrado. Na Figura 23(b), é mostrado o esquema de montagem. Nesse ensaio, o valor da tensão e o tempo a serem aplicados também se baseiam na Tabela 09.



**Figura 23 – (a) Cobertura para cruzeta (Fonte: Catálogo RITZ) – (b) Esquema de montagem para ensaio de cobertura para cruzeta (Fonte: MIT, 2006).**

Após aplicação da tensão, caso o material não sofra danos, ele estará aprovado. Caso contrário, deverá ser descartado. A Tabela 13 traz o resultado do ensaio realizado.

**Tabela 13 – Resultado do ensaio em cobertura para cruzeta.**

Fabricante	Condições	Laudo
RITZ	Usada	Aprovada

Fonte: Elaborada pelo autor.

### 3.5.8 Ensaio em Cobertura Protetora Circular

Em ensaio elétrico para coberturas protetoras circulares, o procedimento é idêntico ao utilizado em coberturas para cruzetas (mostrado na Figura 23(b)). Foram ensaiadas coberturas com diâmetros de 150 mm e comprimentos de 300, 510, 600 e 1000 mm. Além de coberturas com diâmetro de 300 mm e comprimento de 1800 mm, chamadas coberturas protetoras circulares para postes. Na Figura 24 é mostrada uma fotografia do ensaio realizado e os resultados apresentados na Tabela 14.



**Figura 24 – Fotografia do ensaio em coberturas protetoras circulares.**

**Tabela 14 – Resultado dos ensaios em coberturas circulares**

<b>Diâmetro</b>	<b>Comprimento (mm)</b>	<b>Fabricante</b>	<b>Condições</b>	<b>Laudo</b>
ø = 150 mm	300	RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
	510	RITZ	Usada	Aprovada
	600	RITZ	Usada	Reprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
	1000	RITZ	Usada	Aprovada
RITZ		Usada	Aprovada	
RITZ		Usada	Aprovada	
ø = 300 mm	1800	RITZ	Usada	Reprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada

Na Figura 25 são mostradas fotografias das duas coberturas circulares reprovadas, uma com diâmetro de 150 mm e comprimento de 600 mm e outra com diâmetro de 300 mm e comprimento de 1800 mm.



**Figura 25 – Coberturas reprovadas no ensaio elétrico, com detalhe na perfuração ocorrida: (a)  $\phi = 300$  mm e L = 1800 mm; (b)  $\phi = 150$  mm e L = 600 mm**

### **3.5.9 Ensaio em Bastão de Manobra**

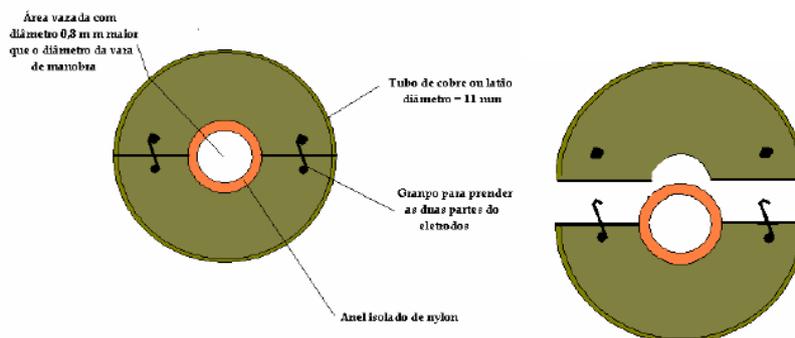
Segundo a NBR 11864, ensaios em hastes e tubos de fibra para tensão aplicada de 100 kV de 300 em 300 mm, ou alternativamente, de 50 kV de 150 em 150 mm, devem ter seus valores máximos de corrente de fuga de acordo com a Tabela 15.

**Tabela 15 – Valor da corrente de fuga para hastes e tubos de fibra para tensão aplicada de 100 kV ou de 50 kV.**

Fonte: COPEL, 2006.

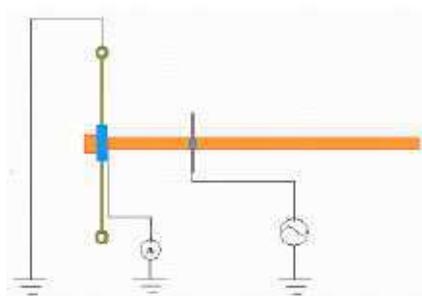
Diâmetro (mm)	Corrente de fuga ( $\mu$ A)	
	Aplicando 100 kV	Aplicando 50 kV
32	10	5
38	12	6
51	15	8
64	20	10

Ainda, segundo a Norma, os eletrodos utilizados devem possuir um anel de guarda para eliminar as correntes de ionização do ar, que podem aumentar em até 200 % o valor real da corrente de fuga. Tais anéis devem possuir um formato idêntico ao mostrado na Figura 26.



**Figura 26 – Modelo de anel de guarda (Fonte: MIT, 2006).**

Na Figura 27(a), é apresentado o modelo de circuito que deve ser utilizado, na Figura 27(b), uma fotografia do ensaio e na Tabela 16, os resultados.



(a)



(b)

**Figura 27 – (a) Circuito para ensaio em bastões e hastes de fibra (Fonte: MIT, 2006). (b) Fotografia do ensaio realizado.**

**Tabela 16 – Resultados dos ensaios para vara de manobra.**

N° série	Seção/ Diâmetro (mm)	Comp. ensaiado (mm)	Corrente de fuga (μA)	Laudo
-	Punho/38	300	7,1	Aprovada
	Intermediária/38	300	7,1	Aprovada
	Intermediária/38	300	7,1	Aprovada
	Intermediária/38	300	7,1	Aprovada
	Ponta/32	300	6,7	Aprovada

### 3.5.10 Ensaio em Escada Extensiva

Para ensaio elétrico em escada extensiva, é utilizado o seguinte procedimento: com a escada totalmente alongada, aplica-se uma tensão de 100 kV na extremidade superior e mede-se a corrente de fuga na metade de seu comprimento e na extremidade inferior. Comparando-se os valores dessas correntes com os valores máximos permitidos pela Norma, determina-se a aprovação, ou não, da escada. Na Figura 28 e na Tabela 17 são mostrados o ensaio e seus resultados, respectivamente.



**Figura 28 – Fotografia do ensaio elétrico em escada.**

**Tabela 17 – Resultado de ensaio em escada extensiva.**

Condição	Seção	Corrente de fuga ( $\mu\text{A}$ )	Laudo
Usada	Inferior	10,6	Aprovada
	Total	0,05	

#### **4. CONCLUSÕES**

Apesar do pouco tempo de duração, o estágio trouxe ao autor de uma forma bem geral algumas das dificuldades que serão enfrentadas no mercado de trabalho, como o cumprimento de prazos e responsabilidade técnica. As atividades realizadas foram capazes de proporcionar ao aluno uma destreza quanto à aplicação dos conhecimentos teóricos, adquiridos durante o curso, em atividades práticas. Também proporcionou o exercício da responsabilidade técnica e a prática do trabalho em grupo, ajudando o autor a melhorar suas relações com companheiros de trabalho, qualidade apreciada no mercado profissional.

O ensaio em EPI para manutenção de linhas energizadas foi de grande interesse ao autor, que tem pretensão de aprofundar seus conhecimentos e sua formação na área de Segurança do Trabalho. E, com os ensaios, teve contato com a questão da manutenção da segurança de pessoas, quanto a trabalhos em linhas energizadas.

## 5. BIBLIOGRAFIA

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14540**: Bastão e escada isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada - Transmissão. Rio de Janeiro: ABNT, 2000.

CUNHA, H. R. Padrão PUC Minas de Normalização: **Normas da ABNT para Apresentação de Teses, Dissertações, Monografias e Trabalhos Acadêmicos**. 9. ed. Belo Horizonte, 2011.

IEC 60270. Partial Discharge Measurements. **12 High-Voltage Test Techniques**, 2000.

MACEDO, E. C. T. et al. Wavelet Transform Processing Applied to Partial Discharge Evaluation, 2012.

Manual de Instruções Técnicas (MIT). Procedimentos de Ensaios de Ferramentas e Equipamentos de Linha Viva. COPEL Distribuição, MIT 161703, 2006.

Norma Técnica Copel. Mangas Isolantes de Borracha. COPEL Distribuição, NTC 817230/35, 2007.

Norma Técnica Copel. Coberturas Isolantes de Borracha. COPEL Distribuição, NTC 817195/203, 2007.

Norma Técnica Copel. Lençol Isolante. COPEL Distribuição, NTC 817100/24, 2007.

RELATÓRIO DE ENSAIOS. Laudo N° LAT 13/2012. Ensaios em Ferramentas para Manutenção de Linhas Energizadas. Associação Técnico-Científica Ernesto Luiz de Oliveira Júnior, 2012.

RITZ DO BRASIL S.A. Catálogo de Produtos: Coberturas Protetoras. Betim, MG.

RODRIGUES, M. A. O. et al. Avaliação do Desempenho de um Novo Sistema de Aterramento Submetido a Impulsos de Corrente. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, 2012.

RODRIGUES, M. A. O. **Avaliação do Desempenho de Novas Concepções de Malhas de Aterramento**. 2012. 81 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Campina Grande, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, Campina Grande.