



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JOÃO MARCELO COSTA LEAL DA SILVA

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

**LOCAL DE ESTÁGIO: LAT/DEE/UFCG**

Campina Grande, Paraíba  
Setembro de 2012

JOÃO MARCELO COSTA LEAL DA SILVA

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado 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: Processamento de Energia

Orientador:

Professor George Rossany Soares Lira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Setembro de 2012

JOÃO MARCELO COSTA LEAL DA SILVA

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado 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: Processamento de Energia

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor George Rossany Soares Lira, D. Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à minha mãe, uma mulher de muita fibra e coragem que sempre me transmitiu bons valores e me ensinou a ir à busca de meus sonhos. Sem ela teria sido muito mais difícil terminar este trabalho.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus em primeiro lugar pela oportunidade de viver e assim poder admirar as belezas da natureza e ter o prazer de conhecer e amar pessoas maravilhosas.

Agradeço aos meus pais, Marcelino e Vera, as pessoas mais importantes em minha vida, por todo o amor dedicado durante todos esses anos e por serem os alicerces mais fortes de nossa educação e caráter.

Agradeço ao meu irmão, Juliano, por sempre ter sido um amigo fiel, um exemplo de dedicação, companheirismo, força e por nunca ter me deixado na mão nos momentos mais difíceis.

Agradeço a minha namorada, Dayane, por estar ao meu lado tornando meus dias difíceis mais felizes, por ter me ensinado o que é cumplicidade e por me dar forças para enfrentar os desafios que surgem desde que cheguei a Campina Grande.

Agradeço a todos os meus amigos, por terem tornado inesquecível o tempo vivido em Campina Grande, em especial a Bruno, Roger, Raniere, Luam e Tia Clara, que faziam momentos difíceis se tornarem alegres e divertidos. A Tia Bel, Vovó Berna, Felipe, Gabriel e Breno, familiares que sempre estiveram por perto e nunca deixaram faltar nada. Socorro, Léo, Gê, Roana, Evelyn, Luciana, Bruno, Cláudio, Ravi, Manu e Dri que sempre estavam presentes, em momentos alegres e difíceis transmitindo otimismo e paz.

Agradeço ao coordenador do Laboratório de Alta Tensão, professor Genoilton C. Almeida, pela oportunidade de estágio.

Agradeço ao professor George por ter me aceitado como orientando e ter tido muita paciência e dedicação durante a realização do estágio.

Agradeço em especial ao amigo Valdemir, que, com muita paciência, dedicação e atenção, não mediu esforços para ajudar com os ensaios, materiais e explicações.

Agradeço a todos do Laboratório de Alta Tensão em especial aos professores Edson Guedes por ter tido muita atenção com minha pessoa diante das dificuldades enfrentadas ao longo do curso e Tarso Vilela por ter entendido e dado muito apoio nessa etapa final do curso. Agradeço a todo o pessoal que faz parte do Departamento de Engenharia Elétrica. Em especial a Adail, que sempre esteve prontamente disposta a escutar, procurar soluções diante de empecilhos e muitas vezes ter levantado o ânimo.

*“Há pessoas que amam o poder,  
e outras tem o poder de amar.”*

Bob Marley.

## RESUMO

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) durante o período de 01/03/12 a 30/03/12. O estágio consistiu no acompanhamento das atividades de ensaios em Equipamentos Elétricos de Potência, especificamente, em para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) e isoladores de vidro. Também somou à experiência de estágio o ensaio em caminhão para manutenção de linha viva, acompanhamento de visita técnica à subestação da Termopernambuco S/A. As atividades foram desenvolvidas sob supervisão e orientação do Professor George Rossany Soares Lira.

**Palavras-chave:** Relatório, Estágio Supervisionado, Ensaios, Para-Raios, Isoladores, TERMOPE.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Arranjo experimental para ensaios com os Para-raios .....	16
Figura 2. Fotografia do arranjo experimental montado no Laboratório de Materiais Elétricos .....	16
Figura 3. Câmera termográfica ThermoCAM™ P65 do fabricante FLIR SYSTEMS™ utilizada nos ensaios. ....	17
Figura 4. Termografia do Para-raio PR10 sem defeito inserido, antes de ser aberto .....	18
Figura 5. Termografia do Para-raio PR10 poluído com sal leve, antes de ser aberto .....	18
Figura 6. Termografia do Para-raio PR10 poluído com sal pesado, antes de ser aberto .....	18
Figura 7. Termografia do Para-raio PR9 poluído com sal leve, antes de ser aberto .....	18
Figura 8. Fotografia da medição de condutividade da mistura utilizada para simulação de poluição. ....	20
Figura 9. Poluição sendo borrifada sobre o invólucro. ....	21
Figura 10. Poluição na superfície do invólucro de porcelana do para-raios. ....	21
Figura 11. Coluna de varistores do para-raios PR9. ....	21
Figura 12. Coluna de varistores do para-raios PR10. ....	21
Figura 13. Varistor degradado pelo efeito da umidade. ....	22
Figura 14. Varistor após tratamento. ....	22
Figura 15. Varistores em estufa. ....	22
Figura 16. Curva característica do Para-raios PR10 antes de ser aberto, sem defeito inserido. ....	23
Figura 17. Curva característica do Para-raios PR10 depois de ser aberto, sem defeito inserido. ....	23
Figura 18. Modelo do equipamento de medição de radiação ultravioleta. ....	24
Figura 19. Reservatórios adaptados para funcionarem como câmaras de névoa. ....	25
Figura 20. Isoladores dispostos dentro da câmara de névoa. ....	25
Figura 21. Esquema de medição .....	26
Figura 22. Kit do Sistema de medição de ultrassom .....	26
Figura 23. Imagem da câmara ultravioleta em um isolador antes da névoa. ....	27
Figura 24. Imagem da câmara ultravioleta em um isolador depois da névoa. ....	27
Figura 25. Medição utilizando o DayCor. ....	28
Figura 26. Medição utilizando a pistola de ultrassom. ....	28
Figura 27. Diagrama Unifilar da subestação da TERMOPE. ....	29
Figura 28. Configuração para ensaio de cestas aéreas. ....	31
Figura 29. Fotografia do ensaio em cesta aérea .....	31
Figura 30. Detalhe do aterramento do chasis do caminhão. ....	31
Figura 31. Esquema de ensaio do <i>liner</i> .....	33
Figura 32. Liner sendo preparado para ensaio. ....	33
Figura 33. Detalhe da conexão da parte externa do tanque com a terra. ....	33
Figura 34. <i>Liners</i> sob ensaio. ....	33



# SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Lista de Ilustrações.....	viii
Sumário.....	ix
1 Introdução.....	10
2 Instituições.....	11
2.1 Laboratório de Alta Tensão.....	11
2.2 Termopernambuco S/A.....	12
2.3 Grupo Energisa.....	12
3 Atividades Desenvolvidas.....	14
3.1 Ensaios em Para-Raios de Óxido de Zinco (ZnO).....	14
3.1.1 Metodologia Aplicada.....	15
3.1.2 Caracterização do Para-Raios.....	16
3.1.3 Ensaio à Máxima Tensão de Operação Contínua (MCOV).....	17
3.1.4 Procedimento de Inserção de Defeitos.....	19
3.2 Ensaios em isoladores.....	24
3.2.1 Materiais e Métodos.....	24
3.2.2 Procedimento de medição.....	26
3.2.3 Visita à TERMOPE.....	27
3.3 Ensaio em cesta aérea (Caminhão de linha viva).....	30
3.4 Ensaio em cuba isolante ( <i>Liner</i> ).....	32
4 Conclusões.....	34
5 Bibliografia.....	35

# 1 INTRODUÇÃO

Neste Relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas durante a realização do estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação e supervisão do Professor George Rossany Soares de Lira.

As atividades realizadas durante o período de 01/03/12 a 30/03/12 consistiram no acompanhamento de ensaios realizados no LAT e de medições em campo através de uma visita técnica à subestação da Termopernambuco S/A (TERMOPE).

No LAT foram realizados ensaios elétricos em para-raios de óxido de zinco (ZnO), isoladores de vidro e cestos aéreos bem como a cuba isolante para manutenção de linha viva, sendo os dois últimos solicitados pela empresa Energisa.

Na TERMOPE foram realizadas medições de ruído ultra-sônico e ultravioleta, em isolamentos de equipamentos da subestação. Essas medições estavam previstas dentro do escopo de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) do laboratório, com a TERMOPE com o objetivo de determinar intervalos ótimos de limpeza de isolamentos elétricos submetidos à poluição salina.

No desenvolvimento do trabalho são apresentadas brevemente as entidades envolvidas diretamente na realização do estágio supervisionado (LAT, TERMOPE e Energisa). Posteriormente são descritas as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado e apresentadas as conclusões a respeito da experiência técnica adquirida com as atividades.

## 2 INSTITUIÇÕES

### 2.1 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) começou a ser implantado em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. Hoje, é na sua especialidade, o laboratório melhor equipado do Norte-Nordeste do país, com uma área construída de 1.350 m<sup>2</sup>.

O LAT possui equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes.

Nos últimos 30 anos, foi realizado um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas da região Nordeste, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, CELB, SAELPA, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, entre outras, têm solicitado os serviços do LAT.

Atualmente o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório:

- Sala do Laboratório de Materiais Elétricos;
- Salão de Alta Tensão;
- Sala do Gerador de Impulso de Corrente;
- Sala do Kit de Alta Tensão;
- Sala do Laboratório de Descargas Parciais;
- Sala do Laboratório de Instalações Elétricas e Sistemas Elétricos.

Dentre os equipamentos mais importantes do LAT, estão:

- Transformadores de potência ligados em cascata que permitem a geração de até 600 kV, em corrente alternada;
- Gerador de impulsos de alta tensão, 700 kV e 36 kJ.
- Gerador de impulsos de alta corrente, 160 kA, 100 kV, onda 8/20  $\mu$ s;
- Kit didático para alta tensão, 100 kV;

- Digitalizador de formas de onda;
- Detector de descargas parciais;
- Ponte Schering e capacitores padrão.

## 2.2 TERMOPERNAMBUCO S/A

A Termopernambuco S/A é uma sociedade anônima de capital aberto, 100% controlada pela *holding* Neoenergia, que opera a usina termoelétrica Termopernambuco, localizada no município de Ipojuca, no Complexo Industrial e Portuário de Suape – PE. A usina está conectada ao Sistema Interligado Nacional (SIN) por meio de uma linha de transmissão própria com 27 km de extensão. Os serviços de operação e manutenção são prestados pelas empresas Iberdrola Generación, da Espanha, e Iberdrola Energia do Brasil S/A.

Com capacidade para gerar até 532 MW médios, em seu primeiro ano de operação, a Termopernambuco atendeu a contratos de venda de energia elétrica para duas distribuidoras do Grupo Neoenergia: Celpe, no montante de 390 MW médios, e Coelba, no montante de 65 MW médios.

Em conformidade com a lei nº 9.991, de 24/07/2000, que estabelece a obrigatoriedade das empresas concessionárias, permissionárias e autorizadas de energia a realizarem investimentos anuais em pesquisa e desenvolvimento, a TERMOPE investe parte de sua receita operacional líquida em pesquisa e desenvolvimento do setor elétrico. Dentre esses investimentos se encontra o projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado “Determinação de Intervalos Ótimos de Limpeza de Isolamentos Elétricos Submetidos à Poluição Salina”, em desenvolvimento junto ao LAT-UFCG. O projeto iniciou em 2011, tendo duração de 24 meses.

## 2.3 GRUPO ENERGISA

Grupo Energisa tem na distribuição de energia elétrica a principal base de seu negócio. Com cinco distribuidoras no Brasil, das quais três na região Nordeste (Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de Energipe, no Estado de Sergipe, Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de Saelpa e Energisa Borborema - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de

CELB na Paraíba), uma na Zona da Mata de Minas Gerais (Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CFLCL) e uma em Nova Friburgo, no Estado do Rio de Janeiro (Energisa Nova Friburgo - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CENF), abrange 91.180 km<sup>2</sup> de área coberta. Ao todo, são aproximadamente 2,4 milhões de consumidores e uma população atendida de 6,7 milhões de habitantes em 352 municípios. Atualmente, mais de 5,0 mil colaboradores diretos e indiretos fazem parte das suas empresas.

Fundada em 1905, a Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S/A (nova denominação da Companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina - CFLCL) é a empresa que originou o Grupo Energisa e que, até fevereiro de 2007, era a holding operacional. Com a conclusão do processo de desverticalização, a Energisa passou a ser a nova controladora de todas as empresas do Grupo.

### 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o desenvolvimento deste capítulo, serão apresentadas as principais atividades realizadas pelo estagiário no Laboratório de Alta Tensão (LAT-UFCG). Todas as atividades foram acompanhadas por professores ou alunos de pós-graduação do Grupo de Sistemas elétricos (GSE).

#### 3.1 ENSAIOS EM PARA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO (ZNO)

As principais atividades desenvolvidas no estágio foram relacionadas aos ensaios em para-raios de ZnO. Os para-raios eram foco de estudo com objetivo de melhorar o monitoramento e diagnóstico do estado de conservação dos mesmos.

Em suma, os ensaios consistiam em simular defeitos em para-raios de ZnO de tensão nominal de 72 kV e analisar o perfil térmico bem como medir a corrente de fuga para, assim, se chegar a um perfil de comportamento desses equipamentos. Também foram registrados os valores da umidade relativa do ar e da temperatura ambiente, para que fosse avaliada a influência desses fatores nas medições. Dentre os defeitos a serem analisados, o estagiário participou das medições com dois para-raios, denominados de PR9 e PR10 sendo:

- PR9:
  - Sem defeito inserido antes de ser aberto;
  - Poluído antes de ser aberto;
  - Sem defeito inserido depois de ser aberto;
  - Poluído depois de ser aberto.
- PR10:
  - Sem defeito inserido antes de ser aberto;
  - Poluído antes de ser aberto;
  - Poluído com sal pesado antes de ser aberto.

É importante ressaltar que ao se falar em poluição está-se referindo à poluição na superfície da porcelana que constitui o invólucro do para-raios. Esta poluição superficial

pode ser classificada em poluição seca ou úmida. Seu principal efeito consiste em diminuir a distância de escoamento superficial para a corrente elétrica possibilitando a ocorrência de descargas na superfície da porcelana. Portanto ao se falar em para-raios poluído com “sal pesado”, está-se referenciando à poluição com elevada condutividade (aproximadamente 8 S/m).

### 3.1.1 METODOLOGIA APLICADA

O arranjo utilizado para as medições de corrente de fuga e análise térmica dos para-raios era composto por:

- Transformador regulador de 0-220 V;
- Transformador de alta tensão 0 – 100 kV, potência aparente 5 kVA;
- Osciloscópio;
- Resistor de proteção de 43 k $\Omega$ ;
- Capacitor C<sub>1</sub> de 105,8 pF;
- Capacitor C<sub>2</sub> de 201,4 nF;
- Resistor Shunt de 1 k $\Omega$ ;
- Para-raios à ZnO (objeto de teste).

Na Figura 1 é apresentado o esquema do arranjo experimental utilizado nas medições e na Figura 2 vê-se uma fotografia do arranjo experimental montado no Laboratório de Materiais Elétricos do LAT.

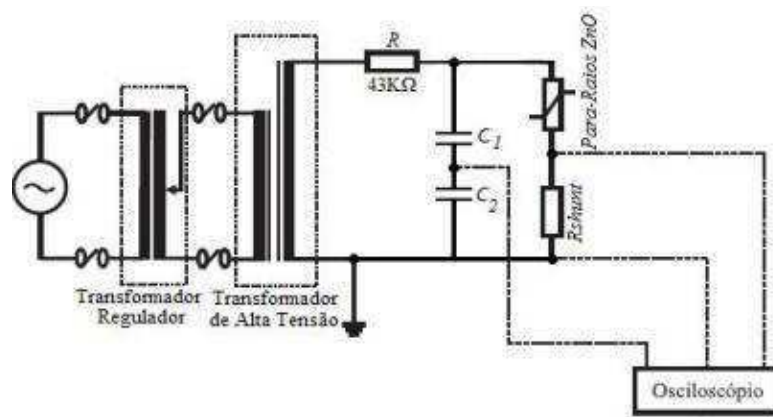


Figura 1. Arranjo experimental para ensaios com os Para-raios



Figura 2. Fotografia do arranjo experimental montado no Laboratório de Materiais Elétricos

Observando a Figura 1 vê-se que o sinal de tensão é obtido através do divisor capacitivo, portanto, colocando-se a ponta de prova do osciloscópio no ponto de menor tensão e conhecendo-se as capacitâncias, consegue-se o valor da tensão aplicada aos para-raios. O valor do sinal de corrente também é obtido de forma indireta conhecendo-se o valor da resistência *shunt*.

### 3.1.2 CARACTERIZAÇÃO DO PARA-RAIOS

A etapa de caracterização dos para-raios é imprescindível para a comparação entre as propriedades elétricas dos mesmos antes e após a inserção dos defeitos. A caracterização do para-raios se dá através da obtenção da curva Tensão x Corrente, comumente chamada de curva característica. Para se obter tal curva, basta capturar valores de tensão e corrente para vários pontos e depois fazer uma interpolação desses valores capturados.

Na prática, conseguiram-se dados para plotar a curva característica aumentando-se gradualmente a tensão aplicada ao para-raios, através da fonte regulável, partindo-se de um valor próximo de zero até valores um pouco maiores que a tensão nominal do



para-raios e registrando-se esses acréscimos bem como os valores da corrente para cada acréscimo.

### 3.1.3 ENSAIO À MÁXIMA TENSÃO DE OPERAÇÃO CONTÍNUA (MCOV)

Defini-se MCOV como o valor máximo de tensão RMS à frequência industrial, que pode ser aplicado continuamente entre os terminais do para-raios. Diferentemente de outros equipamentos elétricos de potência, a tensão nominal do para-raios não é a mesma tensão RMS nominal do sistema no qual o mesmo é aplicado.

Portanto, ensaio à MCOV tem o objetivo de avaliar o para-raios em regime de operação contínua. Para os para-raios ensaiados o valor MCOV RMS é 42 kV, valor esse obtido por norma (IEEE Standard C62.11-2005) para para-raios com tensão nominal RMS de 72 kV.

Para os ensaios à MCOV foram utilizados um termovisor e um termo-higrômetro para verificação da temperatura do para-raios, umidade e temperatura do ambiente, respectivamente. O termovisor utilizado foi a ThermaCAM™ P65 do fabricante FLIR SYSTEMS™ que pode ser visto na fotografia apresentada na Figura 3. Ele é um equipamento capaz de medir a radiação infravermelha emitida por objetos. Para se ter medições confiáveis com o termovisor são necessários ajustes de fatores como:

- Emissividade do objeto;
- Umidade relativa do ar;
- Temperatura ambiente;
- Distância entre o equipamento e o objeto em verificação.



Figura 3. Câmera termográfica ThermaCAM™ P65 do fabricante FLIR SYSTEMS™ utilizada nos ensaios.

Para que o ensaio à MCOV fosse realizado de forma satisfatória e os erros inerentes ao processo experimental fossem minimizados, ajustou-se a fonte de tensão regulada para aproximadamente 42 kV, o ambiente foi deixado o mais escuro possível e esperou-se uma hora do início da aplicação de tensão no para-raios para que houvesse estabilização da temperatura no mesmo.

Para cada ensaio à MCOV foram obtidas imagens termográficas, após a espera de uma hora, em intervalos de cinco minutos, totalizando 280 imagens obtidas para todos os ensaios acompanhados. Nas Figura 4, Figura 5, 6 e 7 são visualizadas quatro das imagens termográficas obtidas.

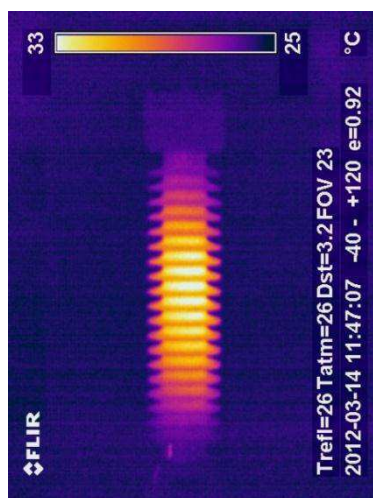


Figura 4. Termografia do Para-raio PR10 sem defeito inserido, antes de ser aberto

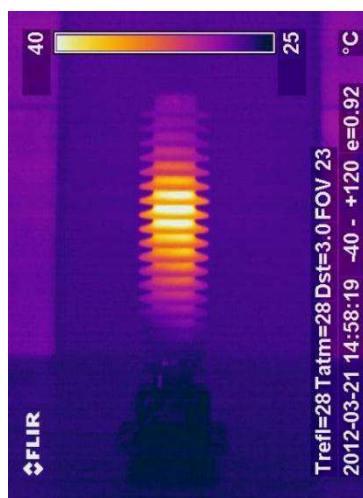


Figura 5. Termografia do Para-raio PR10 poluído com sal leve, antes de ser aberto

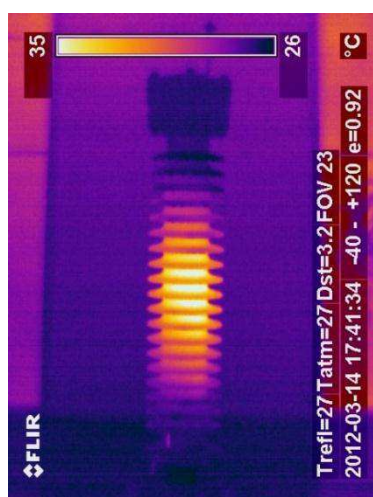


Figura 6. Termografia do Para-raio PR10 poluído com sal pesado, antes de ser aberto.

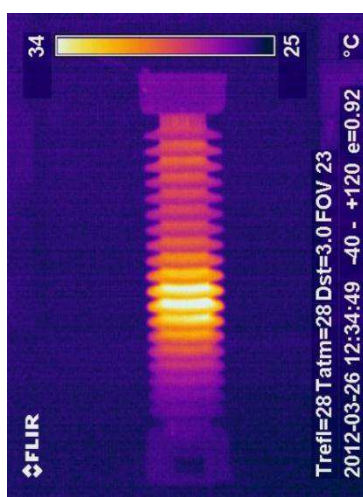


Figura 7. Termografia do Para-raio PR9 poluído com sal leve, antes de ser aberto

Observando apenas as imagens termográficas fica difícil falar sobre resultados, pois a temperatura apresentada depende de fatores como umidade relativa do ar e

temperatura ambiente no momento da medição, como dito anteriormente. Portanto a análise deve ser feita pelos valores da corrente na coluna de varistores. Na Tabela 1 são apresentados alguns valores de corrente medidos.

*Tabela 1. Dados obtidos nas medições.*

	<b>Tensão Aplicada (kV)</b>	<b>Corrente na Coluna de Varistores (mA)</b>	<b>Temperatura Ambiente (°C)</b>	<b>Umidade Local (%)</b>
<b>PR9: Sem defeito inserido antes de ser aberto.</b>	42,12	0,759	26,8	67
<b>PR9: Poluído antes de ser aberto.</b>	41,51	0,672	27,4	62
<b>PR9: Sem defeito inserido depois de ser aberto.</b>	42,17	0,781	27,6	58
<b>PR9: Poluído depois de ser aberto</b>	41,55	0,769	27,6	59
<b>PR10: Sem defeito inserido antes de ser aberto.</b>	42,66	0,707	26,4	66
<b>PR10: Poluído antes de ser aberto.</b>	42,34	0,745	28	60
<b>PR10: Poluído com sal pesado antes de ser aberto;</b>	42,44	0,841	27,6	64

Pelos dados obtidos, vê-se que as diferenças mais expressivas consistiram quando o para-raios foi poluído com sal pesado, pois foi a situação na qual encontrou-se a maior corrente na coluna de varistores. Ao longo dos experimentos, notou-se que a poluição com sal leve exercia pouco efeito sob o aumento da corrente, sendo no final dos ensaios, descartadas essas medições.

#### 3.1.4 PROCEDIMENTO DE INSERÇÃO DE DEFEITOS

Como citado no tópico 3.1, o estagiário acompanhou ensaios com os para-raios PR9 e PR10 antes dos mesmos serem abertos, após eles serem abertos e com sal pesado e poluição no invólucro dos para-raios. Nesta subseção será tratado de procedimentos utilizados na preparação desses ensaios.

Para que a poluição fosse simulada e se fixasse no invólucro dos para-raios, utilizou-se uma mistura, baseada na norma IEC 507, com a seguinte composição:

- Água;
- Bentonita, 5g por litro de água;
- Detergente não iônico e não diluído, consistindo de NONIL FENOL POLIETILENO ÉTER, ou outros similares éter não iônico de cadeia longa, 1g por litro de água;
- Cloreto de sódio (NaCl).

O cloreto de sódio foi adicionado até que se conseguisse uma resistividade de 407  $\Omega$ .cm. Segundo a norma IEC 507, qualquer valor de resistividade entre 400 e 500  $\Omega$ .cm se adequaria as características necessárias à mistura para simular poluição. Para se conseguir chegar ao valor de 407  $\Omega$ .cm, a cada quantidade adicionada de NaCl à mistura media-se a condutividade com um condutivímetro. Foi utilizado um condutivímetro, modelo CD-830 da Instrutherm, que pode ser visualizado na Figura 8.

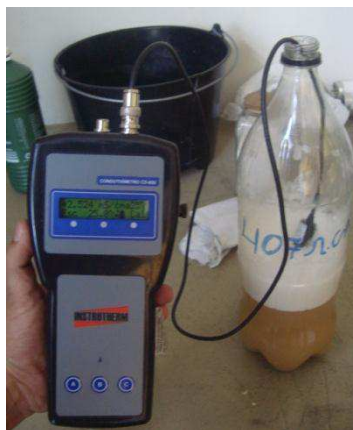


Figura 8. Fotografia da medição de condutividade da mistura utilizada para simulação de poluição.

Para inserção do defeito de poluição com sal pesado, foi preparada uma mistura de água, sal e cal cuja condutividade estimada era de 8 S/m.

As misturas eram borrifadas sobre o invólucro de porcelana um dia antes da realização do ensaio pretendido. Nas Figura 9 e Figura 10 são apresentadas fotografias da poluição sendo borrifada sobre o invólucro e da poluição fixada sobre o mesmo, respectivamente.



Figura 9. Poluição sendo borrifada sobre o invólucro.



Figura 10. Poluição na superfície do invólucro de porcelana do para-raios.

Após serem realizados os ensaios com os para-raios poluídos e sem poluição, eles foram abertos para verificação de suas condições internas. Nas Figura 11 e Figura 12 podem-se visualizar fotografias das colunas de varistores dos para-raios PR9 e PR10, respectivamente.



Figura 11. Coluna de varistores do para-raios PR9.



Figura 12. Coluna de varistores do para-raios PR10.

Nas fotografias apresentadas nas Figuras 11 e 12, pode-se visualizar uma camada branca sobre os varistores. Esta camada branca se formou devido ao elevado índice de salinidade em suas superfícies. Observando-se as mesmas fotografias, também se percebe varistores mais escuros (com a coloração próxima à apresentada no varistor mostrado na Figura 13), isso se deve ao fato deles apresentarem-se oxidados.

Foi feito um tratamento nos varistores lixando-se suas superfícies e depois os colocando em uma estufa para retirar sua umidade. Nas Figura 13, Figura 14 e Figura 15 são apresentadas, respectivamente, fotografias dos varistores antes e depois de serem lixados e na estufa para perderem a umidade.



Figura 13. Varistor degradado pelo efeito da umidade.



Figura 14. Varistor após tratamento.



Figura 15. Varistores em estufa.

Antes de abrir o para-raios, o mesmo foi caracterizado, ou seja, obtida a sua curva  $V \times I$  característica. Após o para-raios ter tido seus varistores lixados e colocados na estufa para retirar a umidade, o mesmo foi remontado e novamente caracterizado. Percebeu-se uma melhoria significativa, observada através da comparação das curvas características antes e depois do tratamento. Essa melhoria deve-se a uma diminuição da corrente de fuga para um mesmo nível de tensão.

Nas Figuras 16 e 17 são apresentadas as curvas características do para-raios PR10 antes e depois dele ser aberto, sem defeito inserido.

Após a etapa de caracterização, os para-raios foram novamente ensaiados sem poluição, com poluição e sal pesado nas superfícies de seus invólucros de cerâmica.

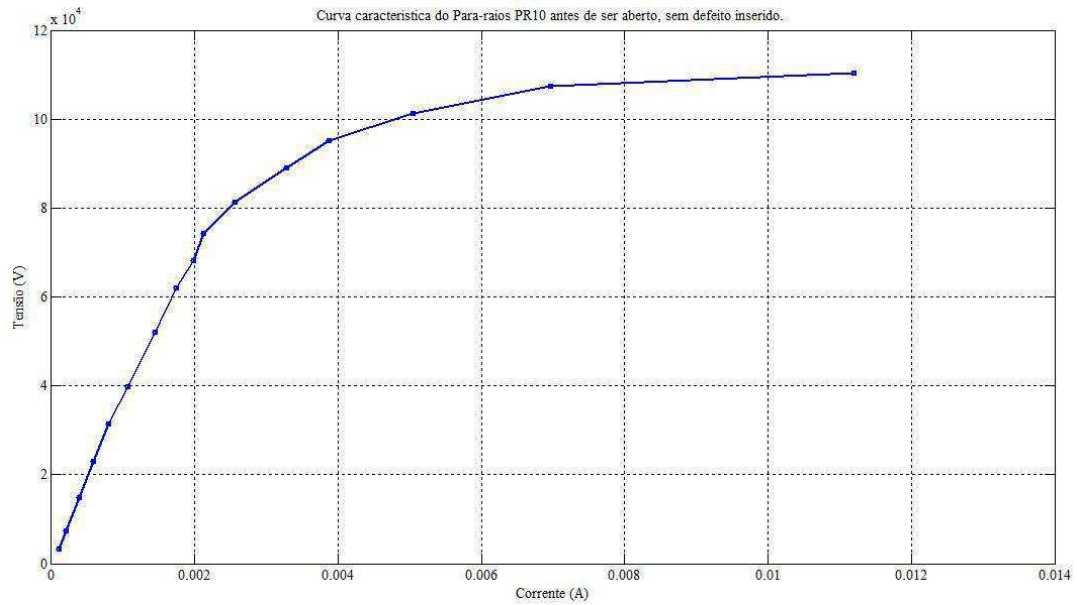


Figura 16. Curva característica do Para-raios PR10 antes de ser aberto, sem defeito inserido.

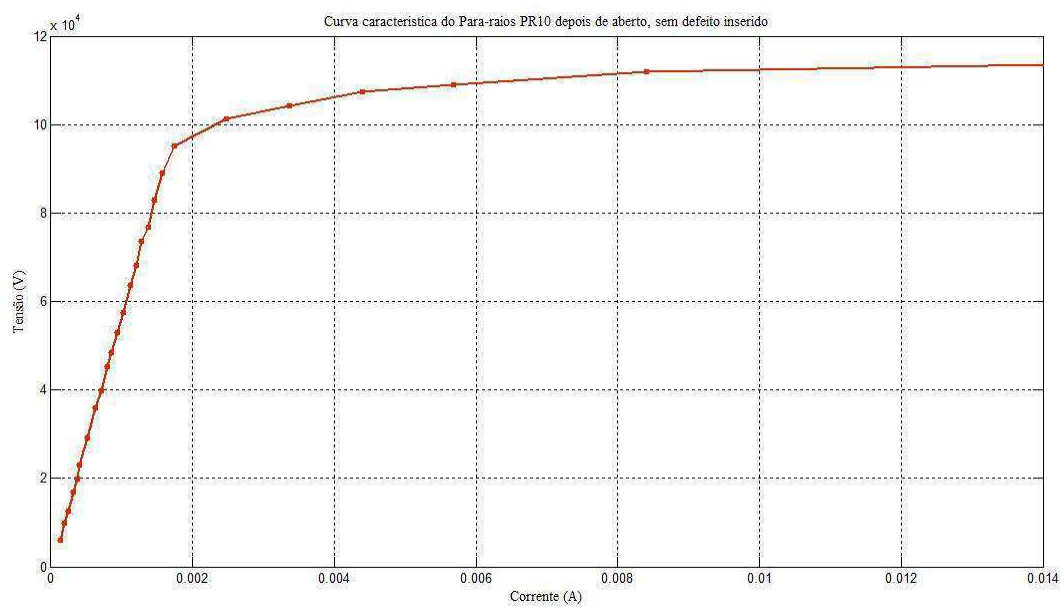


Figura 17. Curva característica do Para-raios PR10 depois de ser aberto, sem defeito inserido.

## 3.2 ENSAIOS EM ISOLADORES

Os ensaios em laboratório dos isoladores tinham como principal objetivo parametrizar e quantificar os sinais de ruídos sonoros advindos de isolamentos utilizados na TERMOPE. Esses ensaios estavam previstos dentro do escopo de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) do laboratório, com a Termopernambuco S/A com o objetivo de determinar intervalos ótimos de limpeza de isolamentos elétricos submetidos à poluição salina, através dos ruídos ultrassônicos emitidos pelos isolamentos.

### 3.2.1 MATERIAIS E MÉTODOS

O instrumento utilizado como referência para a parametrização foi o DayCor II™, equipamento de medição de radiação ultravioleta, modelo observado na Figura 18. Com o DayCor e uma filmadora conectada a ele, pode-se gravar a emissão de radiação ultravioleta, emitida pelas descargas corona nos isoladores.

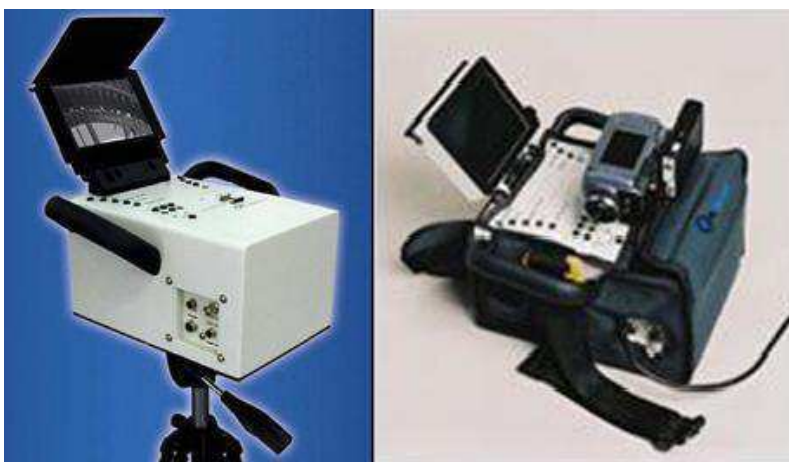


Figura 18. Modelo do equipamento de medição de radiação ultravioleta.

Como o objetivo central dos ensaios é desenvolver um sistema capaz de determinar intervalos ótimos de lavagem de isolamentos, foi construída, no LAT, uma câmara de névoa a partir de reservatórios para líquido de uso geral. Os reservatórios (Figura 19) possuíam dimensões de 1,2 x 1,0 x 1,0 m e foram adaptados para que pudessem submeter isolamentos à névoa salina.





Figura 19. Reservatórios adaptados para funcionarem como câmaras de névoa.

Como pode ser observado na Figura 19, os reservatórios apresentam uma gaiola metálica que é aterrada durante os ensaios.

No interior dos reservatórios foram colocados isoladores de vidro, conforme visto na Figura 20. Esses isoladores serviam de suporte e bloqueio de corrente de fuga para as amostras a serem ensaiadas no interior da câmara de névoa.

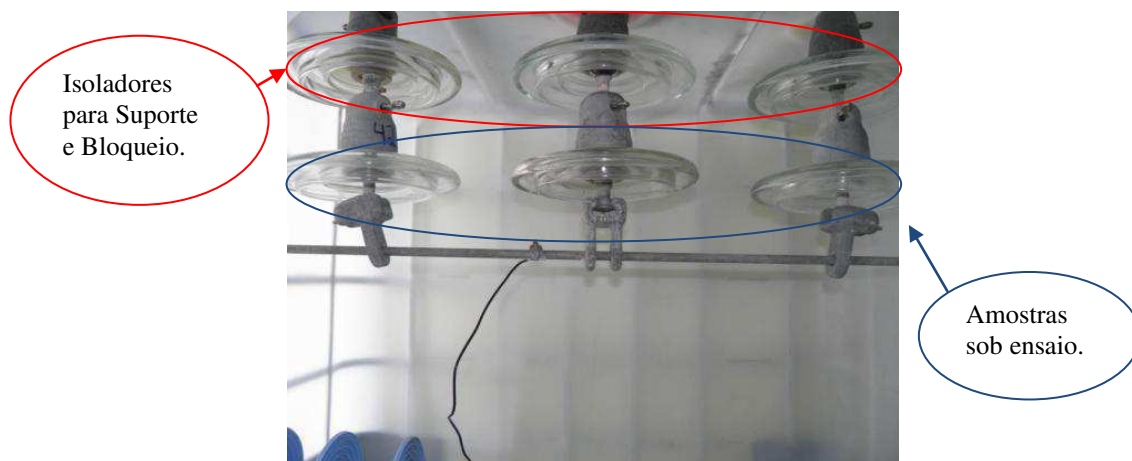


Figura 20. Isoladores dispostos dentro da câmara de névoa.

Os isoladores ensaiados foram trazidos da TERMOPE ao LAT. Esses isoladores estavam em um local coberto, próximos a subestação da TERMOPE, sofrendo, na sua superfície, deposição salina oriunda da praia em sua proximidade. O objetivo de levá-los ao LAT concernia em submetê-los à tensão elétrica e névoa para que a corrente elétrica e o campo elétrico fossem monitorados com a poluição natural do ambiente no qual eles normalmente operam.

O esquema de medição utilizado no ensaio está representado na Figura 21.

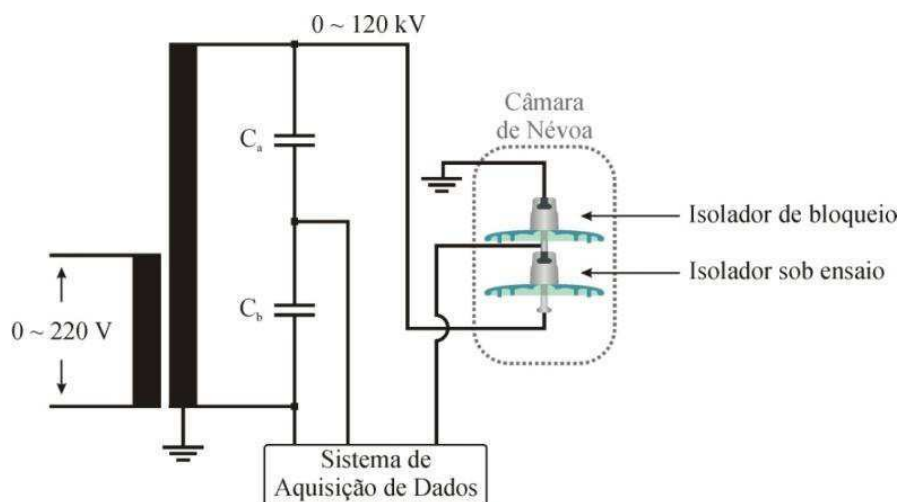


Figura 21. Esquema de medição

Além do ruído ultrassônico, monitorado utilizando-se o ULTRAPROBE® 2000 (Figura 22), o monitoramento dos para-raios se fundamentou na medição da corrente de fuga, medição de temperatura (com o termovisor apresentado na Figura 3) e emissão ultravioleta proveniente das descargas corona.



Figura 22. Kit do Sistema de medição de ultrassom.

### 3.2.2 PROCEDIMENTO DE MEDIÇÃO

Os ensaios foram realizados aplicando-se aos isoladores uma tensão de 11,3 kV. Nesta tensão, eles ficam submetidos a uma condição de maior passagem de corrente de fuga, simulando-se assim o pior caso ao qual eles podem estar sujeitos. Inicialmente, ensaiaram-se os isoladores a seco. Decorridos 30 minutos do início do ensaio, quando a corrente de fuga atingiu o regime e o isolador aqueceu consideravelmente, realizou-se a

medição da emissão ultravioleta, com o DayCor, a medição de temperatura, com o termovisor e a medição de ruído ultrassônico, com a pistola de ultrassom.

A segunda etapa do ensaio iniciou-se logo após o término das inspeções de ruído, temperatura e emissão ultravioleta. Nesta etapa ensaiam-se os isoladores submetidos à névoa limpa. Após 10 minutos do início dessa etapa, desligou-se a névoa e fez-se medição com o termovisor. Nesta etapa foi observado um aumento no valor da corrente de fuga assim que a névoa é ligada, isso ocorre devido à presença de sal depositado na superfície do isolador, entretanto, após determinado período sob névoa, o valor da corrente de fuga diminui devido a tendência da névoa limpar o sal da superfície do isolador.

Aproximadamente 30 minutos após a névoa ser desligada, fez-se novamente as medições com o DayCor e com a pistola de ultrassom, após essas últimas aquisições de dados, desligou-se a tensão encerrando-se os ensaios.

Nas Figuras 23 e 24 são apresentadas imagens da concentração de descargas corona em um isolador antes e depois da aplicação da névoa.



Figura 23. Imagem da câmara ultravioleta em um isolador antes da névoa.



Figura 24. Imagem da câmara ultravioleta em um isolador depois da névoa.

### 3.2.3 VISITA À TERMOPE

O estagiário participou de uma visita técnica à subestação da TERMOPE, onde acompanhou medições de ultravioleta e de ruído ultrassônico em isolamentos da subestação. Essas medições foram realizadas com os mesmos instrumentos apresentados na subseção anterior, o DayCor e o ULTRAPROBE® 2000.

Em todas as visitas técnicas realizadas à subestação da TERMOPE, eram realizadas medições nos mesmos isolamentos, por serem os que representavam os isolamentos dos principais equipamentos da subestação, já que realizar medições em

todos os isoladores demandariam custos e tempo mais elevados. A Tabela 2 mostra os equipamentos que tiveram seus isolamentos inspecionados.

*Tabela 2. Equipamentos inspecionados.*

<b>Equipamentos Inspecionados</b>	<b>Nomenclatura dos Equipamentos</b>
<b>TP</b>	1ADC00 fase B
<b>Cadeia de Ancoragem</b>	0ADR10 1ADP01 geração fase A
<b>Chave</b>	1ADS01 fase A
<b>Disjuntor</b>	1ADD10 fase C
<b>Chave</b>	1ADS12 fase C
<b>Disjuntor</b>	1ADD20 fase C
<b>Disjuntor</b>	1ADD30 fase C
<b>Cadeia de Ancoragem</b>	0ADR30 1ADP01 carga fase C
<b>Disjuntor</b>	2ADD20 fase C
<b>Cadeia de Ancoragem</b>	0ADR 3ADP01 geração fase A
<b>Disjuntor</b>	3ADD20 fase C

Nas Figuras 25 e 26 são mostradas fotografias de medições com o DayCor e com a pistola de ultrassom.



Figura 25. Medição utilizando o DayCor.



Figura 26. Medição utilizando a pistola de ultrassom.

A Figura 27 apresenta o diagrama unifilar da subestação onde se tem a indicação de onde se encontram os equipamentos que tiveram seus isolamentos inspecionados.

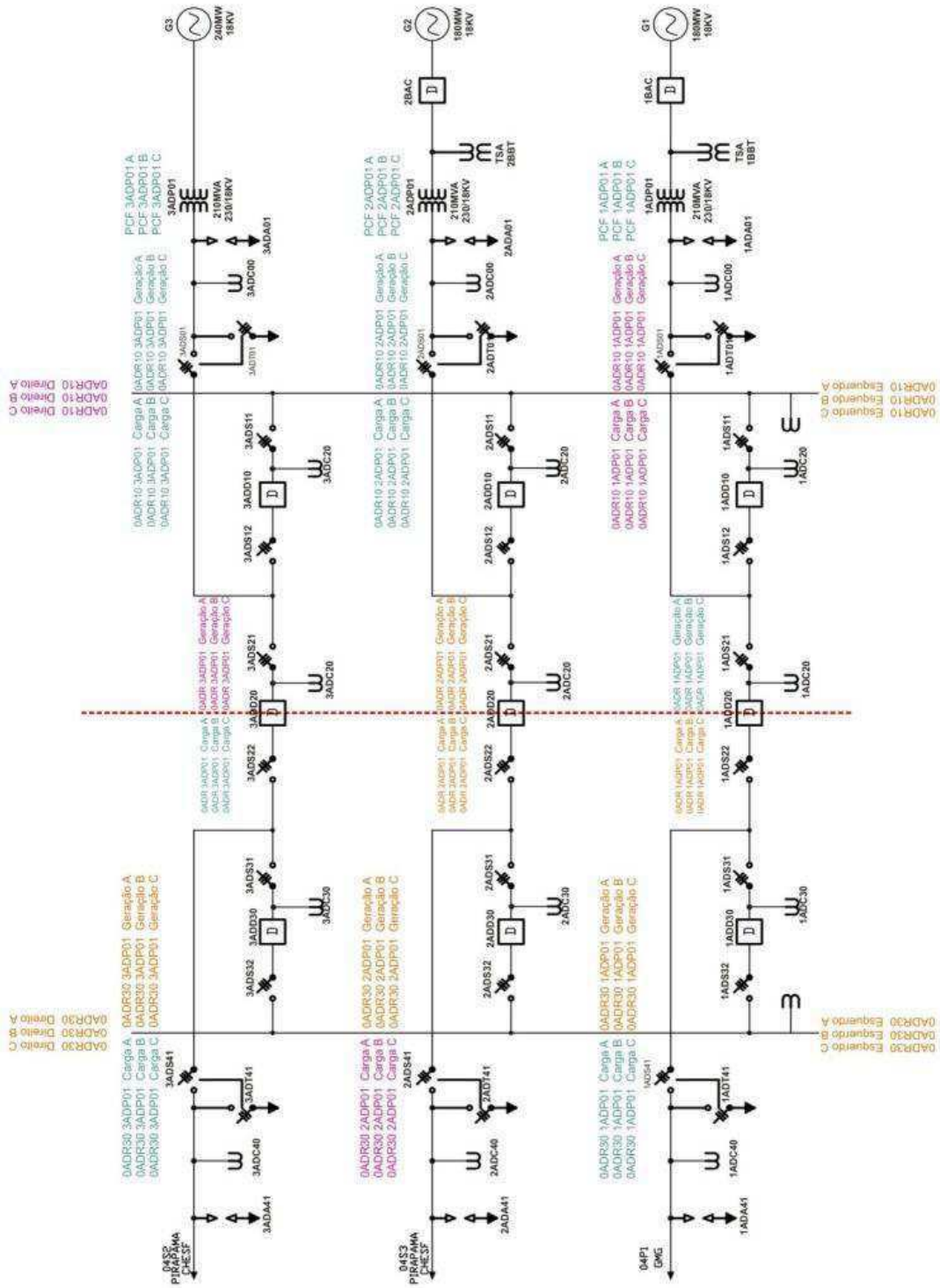


Figura 27. Diagrama Unifilar da subestação da TERMOPE.

### 3.3 ENSAIO EM CESTA AÉREA (CAMINHÃO DE LINHA VIVA)

O serviço em linha energizada tem se tornado cada vez mais importante para empresas do setor energético mundial. Este serviço é executado por trabalhadores que devem estar protegidos por equipamentos, ferramentas e dispositivos isolantes ou equipados com materiais isolantes, destinados ao trabalho em alta tensão. Os equipamentos devem ser submetidos a testes elétricos periódicos, obedecendo-se as especificações do fabricante e a legislação vigente como as normas regulamentadoras NR-10 e NR-6 (Manual de Instruções Técnicas, 2006).

Tendo em vista a necessidade e importância desses ensaios, a Energisa solicitou ao LAT ensaio em um de suas cestas aéreas.

A norma ABNT NBR 14631/00 define Cesta Aérea Isolada como sendo um equipamento veicular dotado de braço móvel, seja extensível, articulado, ou ambos, projetado e usado para posicionar pessoal, com componentes dielétricos, projetado e ensaiado para possuir taxa de isolamento elétrico específico.

Os principais componentes de uma Cesta Aérea Isolada são:

- Chassis (caminhão);
- Torre (estrutura fixada ao veículo e na qual é instalado o braço móvel);
- Braço móvel (componente da cesta que sustenta e movimenta a caçamba);
- Haste isolante (parte isolada do braço móvel);
- Sistema de Isolamento do Chassi;
- Sistema de Eletrodos Inferior;
- Caçamba;
- Cuba isolante (componente da caçamba destinado a aumentar sua isolamento elétrica).

Dentre os componentes citados acima, o estagiário acompanhou os ensaios na haste isolante e na cuba isolante.

No caso do caminhão sob ensaio, seu braço móvel é articulado e deve seguir o esquema para ensaio definido por norma e apresentado na Figura 28.

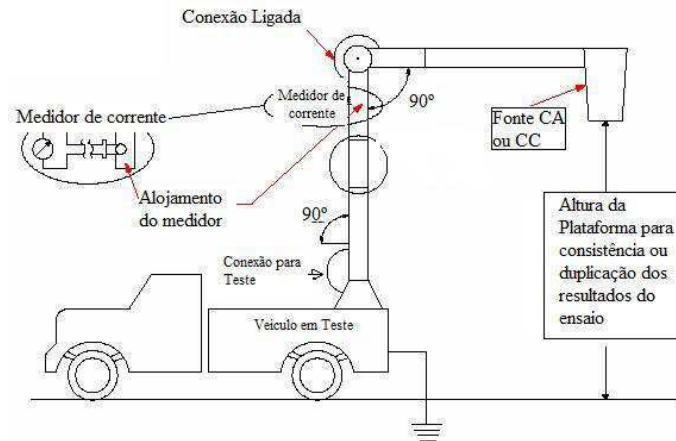


Figura 28. Configuração para ensaio de cestas aéreas.

Para se testar a isolação da haste isolante, aplica-se tensão de 10 a 100 kV, variando-se a tensão de 10 em 10 kV e mede-se a corrente de fuga, não podendo esta ultrapassar 1 mA. Na Figura 29 é mostrado uma fotografia da medição em laboratório e na Figura 30 um detalhe do aterramento do chasis do caminhão.



Figura 29. Fotografia do ensaio em cesta aérea.



Figura 30. Detalhe do aterramento do chasis do caminhão.

Os dados obtidos no ensaio estão apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Dados da medição do ensaio da cesta aérea.

<b>Tensão (kV)</b>	<b>Corrente de Fuga (mA)</b>
<b>10</b>	0,085
<b>20</b>	0,16
<b>30</b>	0,21
<b>40</b>	0,27
<b>50</b>	0,35
<b>60</b>	0,41
<b>70</b>	0,48
<b>80</b>	0,57
<b>90</b>	0,68
<b>100</b>	0,82

Como percebido pelos dados apresentados na Tabela 3, o caminhão de linha viva foi aprovado no teste de isolamento de sua haste isolante, entretanto, é necessário fazer algumas observações em relação ao ensaio.

A primeira delas seria o fato do braço móvel articulado não está em 90° como pede a norma, entretanto percebe-se que o ensaio está sendo realizado em ambiente fechado estando, portanto com uma configuração permitida por norma, devendo apenas ser medido e anotado o ângulo em que se encontra a articulação. Outro ponto está interligação das articulações. Apesar de saber que as partes do braço são conectadas eletricamente, a norma NBR 14631 recomenda que seja feita essa interligação.

No mais, o ensaio mostrou atender à norma assim como a cesta aérea, sendo, portanto aprovado no laudo técnico.

### 3.4 ENSAIO EM CUBA ISOLANTE (*LINER*)

O ensaio em *liner* de caminhão de linha viva deve ser realizado por meio de teste de tensão AC aplicada de 30 kV, 60 Hz, por 1 minuto, sem que ocorra descargas disruptivas ou rompimento do material. O ensaio deve ser realizado com o *liner* imerso em um tanque com água em sua parte externa e interna, sendo o eletrodo de terra a parte externa e o eletrodo de potencial a parte interna, como mostra o esquema da Figura 31.



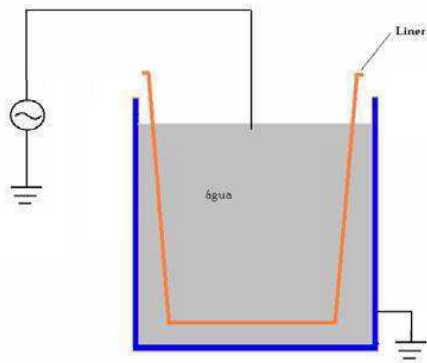


Figura 31. Esquema de ensaio do *liner*.



Figura 32. Liner sendo preparado para ensaio.

Na Figura 32 é mostrado o ensaio sendo preparado, na Figura 33 é mostrado o detalhe da conexão da parte externa do tanque com a terra e, por fim, na Figura 34 é apresentado o ensaio sendo realizado, onde se pode observar o eletrodo de potencial no interior da cuba isolante.



Figura 33. Detalhe da conexão da parte externa do tanque com a terra.



Figura 34. *Liner* sob ensaio.

Como conclusão do laudo técnico do ensaio acompanhado, o *liner* foi aprovado pois suportou os 30 kV aplicados durante 1 minuto sem sofrer danos ou descargas disruptivas.

## 4 CONCLUSÕES

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina, apesar de ter sido realizado em pouco tempo, contribuiu bastante para o desenvolvimento do aluno no que concerne a técnicas e equipamentos de monitoramento. O uso do termovisor, da câmera que captura radiação ultravioleta, da pistola para capturar ruídos ultrassônicos, a medição de corrente de fuga, entre outras técnicas inerentes aos ensaios foram bastante proveitosos para colocar conhecimentos adquiridos na universidade em prática e no amadurecimento prático em relação a técnicas de ensaio e monitoramento.

Estando o autor já inserido no mercado de trabalho, foi percebida, na realidade de sua função, a grande importância da experiência obtida no estágio principalmente quando lhe foi solicitado fazer um monitoramento de temperatura de um transformador. Coincidentemente foi utilizado um termovisor do mesmo modelo do existente no LAT, portanto, saber dos fatores que devem ser configurados pelo usuário e fazer uma rápida leitura das imagens foram pontos muito positivos para o aluno na empresa.

Por fim, apesar de todas as atividades desempenhadas durante o curto tempo de estágio agregar grande valor à formação do engenheiro eletricista, foram percebidas certas deficiências em relação aos conteúdos apresentados nas disciplinas de graduação. Como exemplo pode-se citar o fato do conteúdo apresentado em Técnicas de Medição, não citar os tipos de equipamentos de medição utilizados durante o estágio. Apesar da gama de equipamentos de medição ser imensos, pelo menos o conhecimento de que existem equipamentos para medição de ultravioleta e ultrassom e a aplicabilidade deles na engenharia elétrica poderia ser apresentada. Outro exemplo pode ser dado em relação ao fato de não ser visto AutoCAD na disciplina de Expressão Gráfica. Com o conhecimento de AutoCAD, facilitaria a leitura de projetos de subestações.

## 5 BIBLIOGRAFIA

Grupo de Sistemas Elétricos. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>>.

Acesso em: 20 de ago. 2012.

TermoPE. Disponível em: <<http://www.termope.com.br>>. Acesso em: 20 de ago. 2012.

Energisa Borborema. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/borborema>>.

Acesso em: 10 de set. 2012.

IEEE Standard C62.11-2005, Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (>1 kV), 2005.

LIRA, J. G. A. *Sistema de aquisição de dados para monitoramento e diagnóstico remoto das condições de pára-raios de óxido de zinco*. 2007. 145 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Campina Grande, Campina Grande. 2007.

LIRA, G. R. S.; ALMEIDA, C. W. D.; NETO, E. T. W.; COSTA, E. G. *Técnicas de monitoramento e diagnóstico de pára-raios a ZnO utilizando mapas auto-organizáveis*, SBSE, Belém. 2010.

NBR 14631. *Cestas Aéreas Isoladas: Especificação e Ensaio*. Dez. 2000.

IEC 507. *Artificial pollution tests on high-voltage insulators to be used on a.c. systems*. Segunda edição, 1991.