



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



RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

LOCAL DO ESTÁGIO: LAT/DEE/UFCG

Aluno: Valdemir da Silva Brito

Orientador: George Rossany Soares de Lira

Campina Grande – PB
Fevereiro – 2012

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

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado apresentado ao
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade
Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às
exigências para Obtenção do Grau de Engenheiro Eletricista.*

ALUNO: _____
Valdemir da Silva Brito

ORIENTADOR: _____
George Rossany Soares de Lira

Campina Grande – PB
Fevereiro – 2012

AGRADECIMENTOS

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

Ao professor George Rossany Soares de Lira pela orientação na execução do estágio, e por sempre se colocar a disposição para sanar as dúvidas existentes, zelando pelo efetivo aprendizado.

Ao professor Tarso Vilela pela oportunidade de acompanhar um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D), tão importante para a formação de um engenheiro eletricitista, pois a partir do P&D verificam-se as reais necessidades das empresas do setor energético, agregando valor aos conhecimentos teóricos adquiridos ao longo do curso.

Ao professor Edson Guedes da Costa pelo incentivo a pesquisa, pelos conhecimentos repassados, pelo contágio de sua nítida avidez pelas descobertas, e por fazer acreditar que sempre é possível melhorar, desenvolvendo em mim, a crítica construtiva.

A todos que contribuíram para a execução do estágio: Alice, Filipe, Jalberth, entre outros.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica – DEE por contribuírem para a minha formação acadêmica, e por desempenharem um papel de extrema importância para a sociedade.

Aos meus pais, Manuel Dias de Brito e Marina da Silva Brito, pela minha vida, pelo exemplo de dedicação e perseverança, pela compreensão, carinho e amor, pelo estímulo a educação formal e exemplo de educação familiar.

Aos meus irmãos Vanderlei da Silva Brito e Vanderleya da Silva Brito, pela amizade, pelo apoio e pela confiança.

À minha esposa Samara Gomes Santos pela confiança, pela compreensão da minha ausência em muitos momentos da sua vida, pelo apoio, incentivo, dedicação e amor.

Ao meu filho Gabriel Gomes Brito, que apesar da pouca idade, representa muito em minha vida, posso dizer que é a minha fonte de inspiração.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	4
LISTA DE TABELAS	6
LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS	7
1. INTRODUÇÃO	8
2. APRESENTAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES	9
2.1 Laboratório de Alta Tensão	9
2.2 Termopernambuco S/A.....	10
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	12
3.1 Para-Raios de Óxido de Zinco.....	12
3.1.1 Características Construtivas.....	12
3.1.2 Características Elétricas.....	14
3.1.3 Monitoramento em Para-Raios ZnO.....	15
3.2 Isolamentos Elétricos.....	16
3.2.1 Características Construtivas.....	17
3.2.2 Características Elétricas.....	18
3.2.3 Monitoramento em Isolamentos Elétricos	19
4. ATIVIDADES REALIZADAS	19
4.1 Ensaio em Para-Raios de Óxido de Zinco	20
4.1.1 Metodologia Aplicada	20
4.1.2 Inserção de Defeitos	23
4.1.3 Resultados e Análises	26
4.2 Medições em Isolamentos Elétricos	33
4.2.1 Retirada de dois Isoladores Tipo Disco	33
4.2.2 Medição Ultravioleta	34
4.2.3 Medição de Ruído Ultra-Sônico	39
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	41
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	42

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura de um para-raios de ZnO com invólucro de porcelana [4].....	13
Figura 2 - (a) Operação do dispositivo de alívio de pressão. (b) Atuação correta da válvula de alívio de pressão [5].	13
Figura 3 - Curva característica típica de um de um para-raios de ZnO e de SiC [6].....	14
Figura 4 - Estrutura típica de um isolador tipo disco [18].....	18
Figura 5 - Esquema do arranjo experimental utilizado.	20
Figura 6 - Modelo da câmara termográfica utilizada nos ensaios [20].	22
Figura 7 - Parte da coluna de varistores desalinhadas.	24
Figura 8 - Coluna de varistores com pastilhas envoltas por condutores metálicos.	25
Figura 9 - Coluna ativa com varistores degradados.	25
Figura 10 - Presença de sinais de degradação devido à penetração da umidade.	26
Figura 11 - Imagem termográfica dos para-raios com perda de estanqueidade. (a) PR1, (b) PR2.....	27
Figura 12 - Imagem termográfica dos para-raios com pastilhas degradadas. (a) PR1, (b) PR2.	28
Figura 13 - Imagem termográfica dos para-raios com umidade interna. (a) PR1, (b) PR2.	28
Figura 14 – Perfis de temperatura ao longo do invólucro de porcelana do para-raios PR1.	29
Figura 15 – Perfis de temperatura ao longo do invólucro de porcelana do para-raios PR2.	30
Figura 16 – Curvas característica do para-raios PR1.	30
Figura 17 – Curvas característica do para-raios PR2.	31
Figura 18 - Registro da retirada de duas unidades de isoladores de vidro tipo disco.....	34
Figura 19 - Modelo do medidor ultravioleta utilizado nas medições [21].	34
Figura 20 - Equipamentos inspecionados na subestação da TERMOPE.	36
Figura 21 - Imagens obtidas através da câmara ultravioleta em 19/01/2012. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12.	37
Figura 22 - Imagens obtidas através da câmara ultravioleta em 09/02/2012. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12, (f) Disjuntor 2ADD20.	38

Figura 23 - Sistema de inspeção ultra-sônico. (a) Kit do sistema ultra-sônico, (b) Pistola ultra-sônica [22].....	39
Figura 24 - Medição de ruído ultra-sônico e radio interferência em equipamentos da subestação da TERMOPE.	40
Figura 25 - Gráficos do sinal de ultra-som obtidos em campo no dia 09/02/2012. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Disjuntor 2ADD20, (c) Chave 1ADS01, (d) TP 1ADC00. ...	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Característica dos tipos de isolamento [16].....	17
Tabela 2 - Dados do para-raios PR1.....	28
Tabela 3 - Dados do para-raios PR2.....	29
Tabela 4 - Listagem de equipamentos inspecionados.	35

LISTAS DE ABREVIATURAS E SIGLAS

GSE – Grupo de Sistemas Elétricos.

LAT – Laboratório de Alta Tensão.

MCOV – Máxima Tensão de Operação Contínua.

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande.

SEP – Sistema Elétrico de Potência.

SiC – Carboneto de Silício.

TERMOPE – Termoelétrica Termopernambuco.

ZnO – Óxido de Zinco.

1. INTRODUÇÃO

Este relatório tem como objetivo apresentar as atividades que foram desenvolvidas pelo autor durante a realização do estágio curricular obrigatório, realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) durante o período de **09/01/2012** a **10/02/2012**, sob orientação e supervisão do Professor George Rossany Soares de Lira.

Durante este período o estagiário participou de medições realizadas no LAT, e em campo através de um projeto de pesquisa e desenvolvimento (P&D) do laboratório, com a Termopernambuco S/A, empresa que opera a usina termoeletrica Termopernambuco (TERMOPE).

No LAT foram realizados ensaios elétricos em para-raios à ZnO com o objetivo de analisar a influência dos defeitos mais comuns nesse tipo de para-raios. Para que isso fosse possível, os defeitos foram criados propositadamente em dois para-raios com tensão nominal 96 kV, e as análises foram feitas através do levantamento da curva V-I característica e da análise dos perfis térmico para cada para-raios avaliado.

Na TERMOPE foram realizadas medições de ruído ultra-sônico e ultravioleta, em isoladores de vidro e diversos equipamentos da subestação, com o objetivo de determinar intervalos ótimos de limpeza de isolamentos elétricos submetidos à poluição salina.

Na primeira parte deste trabalho é realizada a apresentação das entidades envolvidas (LAT e TERMOPE) na realização do estágio. Em seguida é apresentada uma revisão bibliografia dos principais equipamentos analisados durante o estágio, para-raios e isoladores de vidro. Posteriormente, são descritas as atividades desenvolvidas durante o estágio. Por fim, é apresentada a conclusão do relatório.

2. APRESENTAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES

2.1 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão é um dos laboratórios do Grupo de Sistemas Elétricos (GSE).

O Grupo de Sistemas Elétricos da Universidade Federal de Campina Grande é o resultado da fusão dos antigos grupos de Sistemas de Potência e Alta Tensão, ocorrida em 1999. A fusão dos dois grupos resultou na incorporação de novas linhas de pesquisa, além da consolidação e fortalecimento das linhas de pesquisa existentes [1].

O GSE tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase eletrotécnica. As atividades de extensão incluem projetos, ensaios, cursos e consultorias para empresas de energia. Abaixo estão algumas linhas de pesquisa do GSE [1]:

- » Análise de Sistemas Elétricos de Potência (SEP) em regime permanente;
- » Dinâmica e controle de SEP;
- » Dinâmica de mercado em SEP;
- » Qualidade da energia;
- » Análise de transitórios eletromagnéticos em SEP;
- » Análise de fluxo de harmônicos em SEP;
- » Equipamentos e técnicas de alta tensão;
- » Cálculo de campos eletromagnéticos;
- » Métodos de otimização aplicados a SEP;
- » Técnicas de inteligência artificial aplicadas a SEP.

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 1.050 m² [1].

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 [1].

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 [1].

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 [1]:

- » 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 μ 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 desenvolve junto ao LAT-UFCG (executor), um projeto de pesquisa e desenvolvimento intitulado “Determinação de Intervalos Ótimos de Limpeza de Isolamentos Elétricos Submetidos à Poluição Salina”. O projeto iniciou em 2011, tendo duração de 24 meses.

Em 2000, tendo sido vencedora do leilão de privatização da Companhia Energética de Pernambuco – Celpe, a *holding* Guaraniã, antigo nome da Neoenergia, assumiu o compromisso de viabilizar a construção de uma usina termoelétrica no Estado de Pernambuco. A usina foi construída a partir de 2001, como parte do Programa Prioritário de Termoeletricidade (PPT) do Governo Federal. Foram destinados cerca de US\$ 400 milhões na construção do empreendimento, localizado no município de

Ipojuca, no Complexo Industrial e Portuário de Suape - PE. O projeto obteve financiamento do Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID) e do Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES). A central geradora utiliza o gás natural como combustível, possuindo três turbinas em sistema de ciclo combinado, sendo duas turbinas a gás e uma a vapor. O terreno ocupado pela Termopernambuco possibilita a duplicação da usina podendo atingir a potência de 1.064 MW [2].

A Termopernambuco S/A é uma sociedade anônima de capital aberto, 100% controlada pela *holding* Neoenergia, que opera a usina termoelétrica Termopernambuco. 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 [2].

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 [2].

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.

3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 PARA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO

Os para-raios de Óxido de Zinco (ZnO) são dispositivos de grande importância na proteção de diversos equipamentos dos sistemas elétricos, principalmente contra sobretensões atmosféricas e de manobra, e descargas de alta intensidade e curta duração. São colocados em derivação com o elemento que se deseja proteger (linhas de transmissão, transformadores, e etc.), funcionando como elemento de alta impedância em condições normais, não afetando o funcionamento do sistema que está protegendo e para situações adversas funcionam como elemento de baixa impedância, absorvendo o excesso de energia.

3.1.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

O principal elemento de um para-raios é o varistor, que apresenta alta não linearidade entre a tensão e a corrente. Ele corresponde a uma estrutura cilíndrica e seu diâmetro é escolhido de acordo com a capacidade de absorção de energia desejada, variando de 30 mm para sistemas de distribuição até 100 mm ou mais para sistemas de alta ou extra-alta tensão [3].

O equipamento tem um invólucro de porcelana ou material polimérico, evitando a penetração de umidade ou de algum tipo de poluição. Esta coluna isolante possui aletas (saias) ao longo de todo o seu comprimento, aumentando assim, a distância entre os terminais para o caso de uma descarga superficial, devido à presença de sujeira ou umidade na superfície do para-raios. Para reduzir o risco de explosão ou minimizar os seus efeitos, os para-raios apresentam um sistema de alívio de pressão. Na Figura 1 é visualizada uma configuração de um para-raios típico.

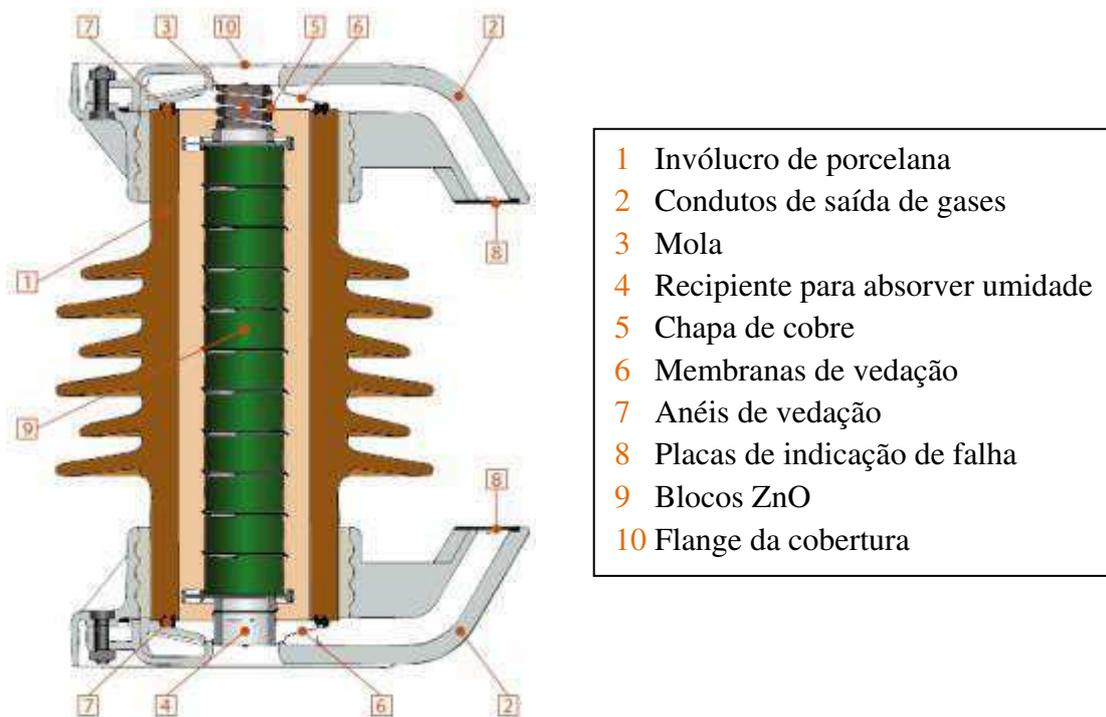


Figura 1 - Estrutura de um para-raios de ZnO com invólucro de porcelana [4].

Em caso de aquecimento interno, com conseqüente aumento da pressão interna, a válvula de alívio de pressão atua, fazendo com que haja o escape dos gases antes que ocorra o rompimento da porcelana e provoque danos à vida e ao patrimônio. Na Figura 2 é ilustrada a operação do dispositivo de alívio de pressão.

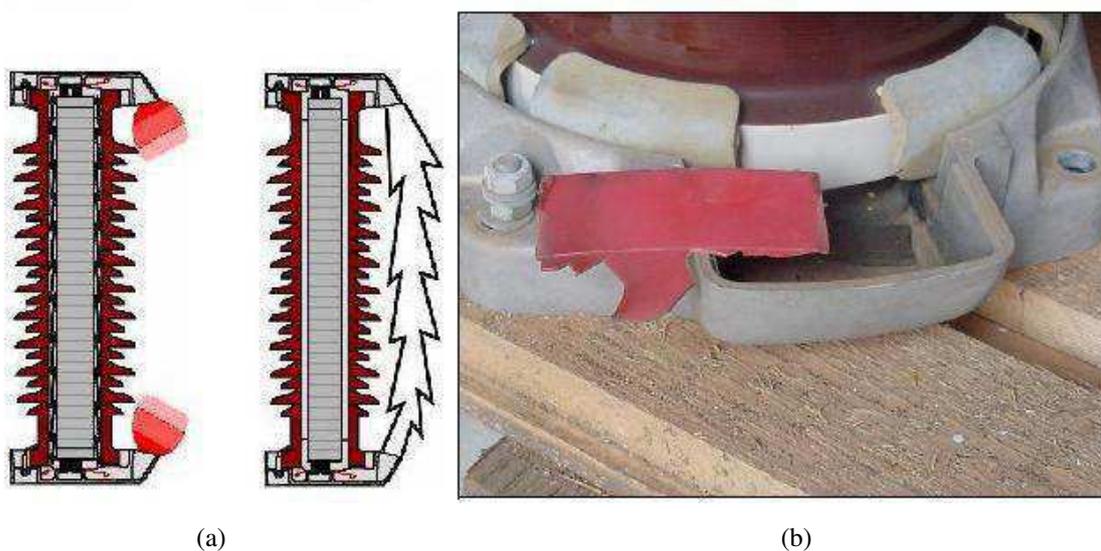


Figura 2 - (a) Operação do dispositivo de alívio de pressão. (b) Atuação correta da válvula de alívio de pressão [5].

3.1.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

A principal característica do para-raios à ZnO é a sua alta não-linearidade entre a tensão e a corrente (curva $V \times I$). Esta característica representou um avanço em relação aos para-raios convencionais a carboneto de silício (SiC), pois diferente do que ocorre com o SiC, essa característica permite sua conexão direta com o sistema elétrico gerando apenas uma corrente de fuga desprezível em condições normais de operação. Dispensou-se então o uso de centelhadores em série com a coluna de elementos varistores. A Figura 3 mostra curvas características típicas de para-raios à ZnO e à SiC.

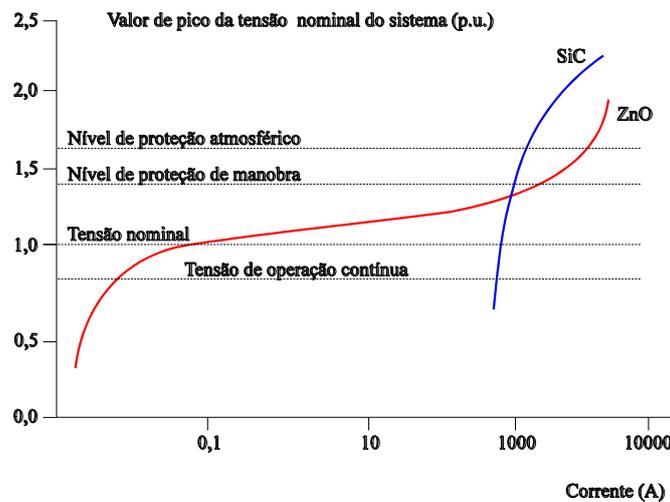


Figura 3 - Curva característica típica de um de um para-raios de ZnO e de SiC [6].

Devido a sua característica (V-I) altamente não linear, no para-raios à ZnO, durante a passagem de uma descarga elétrica, a corrente de fuga que era da ordem de microampères pode atingir quiloampères, e cessada a descarga, o para-raios retorna a sua condição normal de operação.

As terminologias tensão nominal (U_r) e Máxima Tensão de Operação Contínua (MCOV) utilizadas em para-raios ZnO causam muita confusão, por terem conceitos diferentes dos demais equipamentos. De acordo com normas da IEC e IEEE, essas terminologias são definidas como:

- **TENSÃO NOMINAL (U_r).** Maior valor da tensão RMS à frequência industrial admissível entre os terminais do para-raios, para a qual o para-raios é projetado para funcionar adequadamente em condições de sobretensões temporárias, tal como definido no teste de ciclo de operação [7].

- **MÁXIMA TENSÃO DE OPERAÇÃO CONTINUA (MCOV).** Valor máximo de tensão RMS à frequência industrial, que pode ser aplicado continuamente entre os terminais do para-raios [8].

Diferentemente de outros equipamentos elétricos de potência, como por exemplo, o transformador de potência, a tensão nominal do equipamento para-raios não é o valor da tensão RMS nominal do sistema para o qual o equipamento foi projetado. Já a MCOV é similar ao conceito de tensão nominal do transformador, por exemplo, ou seja, máximo valor de tensão RMS à frequência industrial, que pode ser aplicado continuamente entre os terminais do equipamento, que o fabricante garante manter suas características térmicas.

3.1.3 MONITORAMENTO EM PARA-RAIOS ZNO

Para o monitoramento do para-raios várias técnicas são empregadas, tais como: levantamento da curva característica V-I, medição de rádio interferência, monitoramento da potência ativa no para-raios, medição do terceiro harmônico da corrente de fuga, análise de imagem termográfica e obtenção da componente resistiva da corrente de fuga [3], [9].

Atualmente, para medições em campo, duas ferramentas vêm sendo bastante utilizadas no monitoramento de para-raios em sistemas de alta tensão: a análise de imagens termográficas e a medição da componente resistiva da corrente de fuga em para-raios. Para o caso da medição da componente resistiva da corrente fuga vários métodos são empregados, onde cada método realiza aproximações para o cálculo da corrente resistiva [10]-[14].

A inspeção por termovisão consiste no monitoramento dos para-raios através de imagens termográficas. Estas imagens fornecem dados de temperatura ao longo da superfície inspecionada. Através da comparação de termografias podem-se obter algumas informações a respeito do estado do para-raios. Um problema a ser superado é o fato de que não se tem, com exatidão, um valor de temperatura de referência para o qual o para-raios seja considerado defeituoso. Apesar desse problema, esta é uma técnica bastante utilizada, principalmente em manutenção preditiva.

A aplicação da termovisão traz como atrativo a possibilidade de inspecionar uma grande quantidade de equipamentos em um curto período de tempo, e uma das principais vantagens consiste no fato de ser uma técnica não-destrutiva e não-evasiva

realizada a distância, sendo indicado para o monitoramento de equipamentos operando sob altos níveis de tensão ou conduzindo uma corrente elevada [15].

3.2 ISOLAMENTOS ELÉTRICOS

Os isoladores elétricos é um dos principais equipamentos que apresentam falhas devido à poluição. Em geral, eles têm como principais funções: prover isolamento elétrico dos condutores entre si e em relação a terra, e suporte mecânico de sustentação e fixação dos cabos nas linhas de transmissão e distribuição. Os isoladores elétricos podem ser classificados quanto ao material isolante: isoladores de porcelana vitrificada, isoladores de vidro temperado e isoladores poliméricos.

No projeto com a TERMOPE são analisados, além de outros equipamentos, os isoladores de vidro. Eles possuem uma vida útil de 40 anos, mas são os elementos mais vulneráveis de uma linha, pois estão submetidos a cargas de natureza eletromecânica, à ação de intempéries e ao vandalismo.

Os isoladores possuem vários formatos dependendo da sua aplicação, de acordo com a norma NBR 5032 [16] os isoladores são divididos em quatro tipos:

- a) Isoladores de pino;
- b) Isoladores-pilar;
- c) Isoladores para cadeia, dividido em dois subgrupos:
 - Isoladores de disco;
 - Isoladores bastão;
- d) Isoladores para sistema de tração elétrica.

Os tipos de isoladores citados acima são individualizados pelas características apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1 - Característica dos tipos de isolamento [16].

Características	Tipos de isoladores		
	Pino	Pilar	Disco ou Bastão
Dimensões	X	X	X
Diâmetro nominal da rosca	X	X	
Carga de ruptura à tração			X
Carga de ruptura à flexão	X	X	
Carga de ruptura mecânica ou eletromecânica			X
Acoplamento mecânico			X
Ferragens eventuais (vínculos com cruzeta e cabos, outros)		X	
Tensão suportável nominal em frequência industrial sob chuva, durante 1 min	X	X	X
Tensão suportável nominal de impulso atmosférico a seco	X	X	X
Tensão de perfuração sob tensão de frequência industrial (exceto para isoladores-bastão, classe A)	X		X
NOTA Isoladores para sistemas de tração elétrica são, normalmente, isoladores de um dos três primeiros grupos citados anteriormente, com ou sem adaptações especiais das ferragens, projetados para uso nesses sistemas.			

3.2.1 CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS

Os vidros, material utilizado na construção do isolamento do isolador analisado, na sua grande maioria, possuem propriedades físicas semelhantes, tais como:

- Dilatação térmica muito baixa;
- Viscosidade alta;
- Alta durabilidade;
- Baixa condutividade elétrica;
- Ótima resistência à água, líquidos salgados, substâncias orgânicas, álcalis e ácidos, com exceção ao ácido fluorídrico e ao fosfórico.

Em relação às características mecânicas importante nos vidros, pode-se citar: possuem elasticidade ideal, podendo suportar grandes pesos quando a sua superfície não possui falhas ou riscos; suportam mais pressão do que tração e uma maior dureza pode ser obtida por tratamento térmico, denominado têmpera [17].

De acordo com a Figura 4 observa-se que um isolador de vidro no formato em disco, utilizado para sustentação ou ancoragem é formado basicamente por três peças:

- Campânula: de ferro maleável ou galvanizado a fogo, provida com engate tipo concha-bola, complementada com cupilha de bloqueio de bronze ou de aço inoxidável;
- Corpo (saia) de vidro temperado;
- Pino metálico de aço.

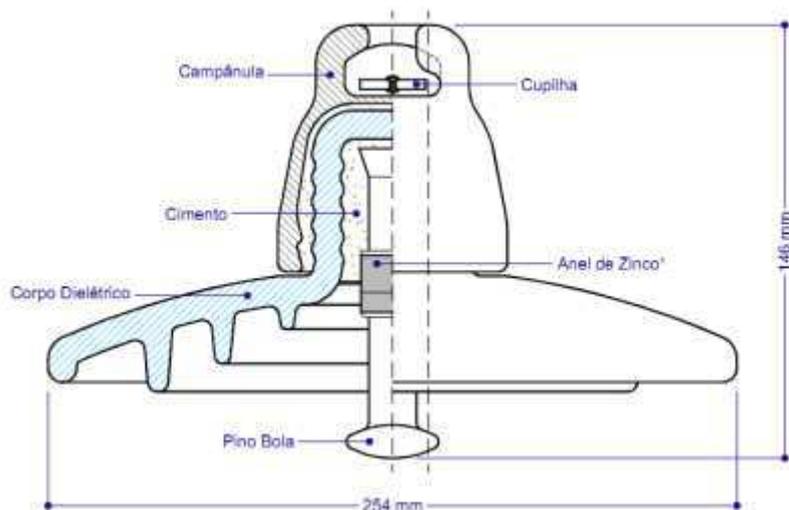


Figura 4 - Estrutura típica de um isolador tipo disco [18].

3.2.2 CARACTERÍSTICAS ELÉTRICAS

Abaixo estão algumas características elétricas dos isoladores, que é comum também aos isolamentos elétricos:

- Distância de escoamento;
- Tensão suportável de impulso atmosférico a seco;
- Tensão suportável de frequência industrial, sob chuva;
- Carga de ruptura eletromecânica;

Conforme a NBR 5032, as definições das características apresentadas acima são:

- **Distância de escoamento:** menor distância, ou a soma das menores distâncias ao longo do contorno da superfície externa do corpo isolante do isolador, entre as partes que normalmente são submetidas à tensão de operação do sistema.
- **Tensão suportável de impulso atmosférico a seco:** valor da tensão de impulso atmosférico que o isolador suporta, a seco, nas condições de ensaio prescritas.
- **Tensão suportável de frequência industrial, sob chuva:** valor da tensão de frequência industrial que o isolador suporta, sob chuva, nas condições prescritas de ensaio.
- **Carga de ruptura eletromecânica:** Carga máxima atingida quando o elemento da cadeia é ensaiado nas condições de ensaio prescritas.

3.2.3 MONITORAMENTO EM ISOLAMENTOS ELÉTRICOS

O monitoramento em isolamentos elétricos é uma forma de manutenção preditiva que visa prever as falhas antes que ocorram, evitando desligamentos não programados, possíveis danos a outros equipamentos, e principalmente danos a seres humanos e animais.

As principais técnicas para monitoramento de isolamentos elétricos são: corrente de fuga; inspeção visual; medição da radiação ultravioleta, emitida pelas descargas de coronas; e da radiação infravermelha, emitida pelos corpos aquecidos. Devido ao seu baixo custo operacional, a inspeção visual é a técnica mais utilizada. No caso de isolamentos de vidro temperado, os quais estilhaçam em caso de agressões mecânicas ou térmicas intensas, a inspeção visual pode ser suficiente para detecção de unidades danificadas. Já nos outros isolamentos, porcelana vitrificada e poliméricos, isso não ocorre, e o diagnóstico torna-se difícil.

Ao longo do tempo outras técnicas de monitoramento, periódicas ou em tempo real, foram propostas, entre elas se pode citar: a medição do acúmulo equivalente de sal, condutividade superficial, corrente de fuga, medição de poluição do ar, medições ópticas e medição de acúmulo de partículas não-solúveis [19].

4. ATIVIDADES REALIZADAS

O estágio iniciou-se no dia 09 de Janeiro de 2012 com duração de 200 h, carga horária de 40 h semanais, tendo sua conclusão no dia 10 de fevereiro de 2012.

A primeira atividade foi a realização de ensaios em dois para-raios de óxido de zinco de tensão nominal 96 kV. O objetivo dos ensaios era obter dados para a realização de um estudo para auxiliar no monitoramento e diagnóstico do estado de conservação do para-raios.

Através do perfil térmico, obtido pela análise da imagem termográfica, e da medição da corrente de fuga, pode-se verificar o comportamento do para-raios na presença de diversos defeitos simulados.

Os defeitos simulados tiveram como base informações de concessionária de energia e pesquisas bibliográficas. Foram simulados os seguintes defeitos: perda de estanqueidade, umidade interna, poluição superficial leve e pesada, pastilhas degradadas, desalinhamento da coluna de varistores e distribuição irregular de tensão.

Para a simulação dos defeitos se fez necessário abrir os para-raios, inserir o defeito, posteriormente fechá-los, e em seguida ensaiá-los. A ordem dos ensaios foi escolhida de modo que não houvesse a sobreposição dos defeitos.

A segunda atividade foi a realização de medições em campo da emissão de radiação ultravioleta, e de ruído ultra-sônico em isolamentos da Termopernambuco (TERMOPE). As medições fazem parte de um Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento da UFCG com a TERMOPE, que está em andamento.

O objetivo central deste projeto é desenvolver um sistema (software e hardware) capaz de emitir recomendações de lavagem ou não lavagem de isolamentos, a partir do ruído ultra-sônico ou de rádio interferência emitido pelos isolamentos.

4.1 ENSAIO EM PARA-RAIOS DE ÓXIDO DE ZINCO

Foram utilizados como objeto de análise dois para-raios de tensão nominal 96 kV, os quais denominaremos de PR1 e PR2, que foram retirados de serviço por estarem fora dos padrões da concessionária de energia que os detinham.

4.1.1 METODOLOGIA APLICADA

Nos ensaios o que se pretende analisar é a corrente de fuga e a imagem termográfica do para-raios, para tanto, montou-se o arranjo experimental observado na Figura 5.

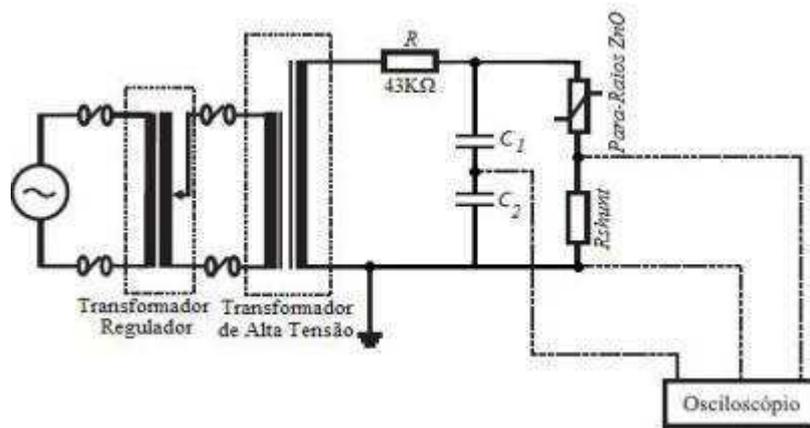


Figura 5 - Esquema do arranjo experimental utilizado.

O circuito é composto por uma fonte de tensão senoidal regulável, um transformador elevador de tensão, uma resistência de proteção, um divisor capacitivo, e o para-raios à ZnO (objeto de teste) em série com uma resistência *shunt* (R_{shunt}).

De acordo com o arranjo experimental o sinal de tensão é obtido através do divisor capacitivo. Sendo a ponta de prova colocada no ponto de menor tensão, o valor da tensão aplicada ao para-raios é obtido indiretamente conhecendo-se as capacitâncias. O sinal de corrente é obtido de forma indireta através do resistor *shunt* (resistência conhecida e de baixo valor). Os valores dos elementos do circuito são:

- Transformador regulador de 0-220 V;
- Transformador de alta tensão 0 – 100 kV, potência aparente 5 kVA;
- Resistor de proteção de 43 k Ω ;
- Capacitor C₁ de 105,8 pF;
- Capacitor C₂ de 201,4 nF;
- Resistor Shunt de 1 k Ω .

Além da medição da corrente de fuga e imagem termográfica, foram registradas a umidade relativa do ar e a temperatura ambiente. O motivo desse registro é observar a influência desses fatores, e possibilitar a reprodução do experimento observando as condições do ambiente.

4.1.1.1 ENSAIO DE CARACTERIZAÇÃO DO PARA-RAIOS

Para que fosse possível comparar o para-raios em termo de propriedades elétricas antes e após a inserção dos defeitos, foi necessário caracterizá-los. Para isso fez-se necessário obter sua curva característica (Tensão x Corrente). O procedimento experimental para obtenção da curva baseia-se na captura de valores de tensão e seus respectivos valores de corrente para vários pontos, onde o resultado da interpolação destes pontos é a curva característica. Para isso a tensão foi acrescida gradualmente, através da fonte de tensão regulável, partindo de um valor próximo de zero até valores além da tensão nominal, tendo também o valor da corrente registrada para cada acréscimo no valor da tensão. Dessa forma a curva característica não se limitou somente à região linear.

4.1.1.2 ENSAIO DE MCOV

Alguns fabricantes de para-raios já definem o valor MCOV nos seus catálogos ou em dados de placa. Quando o valor não é definido pelo fabricante ou não se tem essa informação, a consulta de normas técnicas é recomendável. Conforme IEEE Standard C62.11-2005 [8] para o para-raios com tensão nominal RMS de 96 kV, o valor MCOV RMS é 76 kV.

O ensaio do para-raios submetido à MCOV tem o objetivo de avaliá-lo quando em regime de operação contínua. O valor dessa tensão geralmente situa-se entre 5% a 10% acima da tensão de operação do sistema para a qual o para-raios foi projetado.

Para os ensaios aplicando MCOV foram utilizados, além do arranjo experimental, um termovisor e um termo-higrômetro. O termovisor é um equipamento que mede a radiação infravermelha emitida pelos objetos e reproduz imagens (termografias) correspondentes. A temperatura medida não depende somente da temperatura do objeto, mas também de diversos fatores como: emissividade do objeto, umidade relativa, temperatura ambiente, distância entre o termovisor e o objeto, fatores estes que devem ser ajustados pelo operador. Para que não houvesse interferência da radiação solar, e possível erro de temperatura, o ensaio foi realizado em ambiente fechado e escuro. Um termo-higrômetro foi utilizado para medir a temperatura ambiente e a umidade relativa no local do ensaio no momento da medição.

A fonte de tensão regulada foi ajustada de forma a ser aplicada a MCOV sobre o para-raios. Decorrido uma hora do início do ensaio, para que houvesse a estabilização da temperatura no para-raios e simulação do mesmo em operação, as imagens térmicas foram obtidas. Com o objetivo de obter uma grande quantidade de dados, para cada defeito foram registradas 40 imagens termográficas, obtidas em intervalos de 5 minutos. A câmera termográfica utilizada nos ensaios foi a ThermaCAM™ P65 do fabricante FLIR SYSTEMS™, igual à imagem ilustrativa observada na Figura 6.



Figura 6 - Modelo da câmera termográfica utilizada nos ensaios [20].

4.1.2 INSERÇÃO DE DEFEITOS

Como já comentado anteriormente, os defeitos foram inseridos de forma que não houvesse sobreposição. Ao término dos ensaios, o defeito inserido é retirado. A seguir serão descritos como foram inseridos os defeitos.

a) PERDA DE ESTANQUEIDADE

A perda de estanqueidade é caracterizada pela perda do isolamento físico entre o meio ambiente e o meio interno do para-raios, possibilitando a troca de gases entre eles.

Este problema geralmente é causado por desgaste da borracha de vedação ou por oxidação das partes metálicas que compõem o sistema de alívio de pressão, ou ainda, em casos mais raros, pela deterioração do cimento ou enxofre, responsáveis pela fixação dos terminais e vedação do para-raios.

Para a simulação da perda de estanqueidade os para-raios foram abertos, com o objetivo de verificar se havia algum dano grave (pastilhas degradadas ou isolante dos varistores muito deteriorados); constatando que não havia, os mesmos foram fechados. Pelo fato dos para-raios terem sido abertos para inspeção, foi considerado que houve a troca de gases entre o meio interno e externo ao para-raios, o que caracteriza a perda de estanqueidade.

b) POLUIÇÃO SUPERFICIAL LEVE (BAIXA SALINIDADE)

A poluição superficial é classificada em poluição seca ou poluição úmida, sendo a última a mais prejudicial. Seu principal efeito é diminuir a distância de escoamento superficial para a corrente elétrica possibilitando a ocorrência de descargas na superfície da porcelana ou polímero que constitui o invólucro do para-raios.

Para a inserção do defeito da poluição superficial leve foi preparada uma mistura salina (água com sal), cuja condutividade estimada era de 1,5 S/m. A mistura foi borrifada sobre o invólucro dos para-raios.

c) POLUIÇÃO SUPERFICIAL PESADA (ALTA SALINIDADE)

O efeito esperado é semelhante ao da poluição superficial leve, com o agravante de ser mais intensa.

Para a inserção do defeito foi preparada uma mistura salina, cuja condutividade estimada era de 8 S/m. A mistura foi borrifada sobre o invólucro de porcelana que já continha o sal de baixa salinidade, intensificando ainda mais o efeito desejado.

d) DESALINHAMENTO DA COLUNA DE VARISTORES

O desalinhamento dos varistores ao longo da coluna é um defeito pouco comum, embora seja observado em alguns equipamentos após sua abertura. Geralmente é resultado do transporte e armazenamento inadequado do equipamento, mas pode também ser decorrente de falhas durante sua montagem.

Para a inserção do defeito, os para-raios foram abertos e a coluna de varistores foi desalinhada, conforme observado na Figura 7. Em seguida os para-raios foram fechados.



Figura 7 - Parte da coluna de varistores desalinhadas.

e) DISTRIBUIÇÃO IRREGULAR DE TENSÃO

A distribuição irregular de tensão é característica de equipamentos elétricos que apresentam um maior comprimento, havendo um maior distanciamento entre os terminais de alta e baixa tensão, tais como colunas de TP e TC e buchas de isolamento. Nos para-raios, ela se caracteriza pela ocorrência de níveis mais altos de tensão para os varistores próximos ao terminal de alta tensão, enquanto que os varistores mais próximos do terminal aterrado são submetidos a níveis menores de tensão.

Para simular o defeito de distribuição irregular de tensão foram utilizados condutores metálicos para curto-circuitar algumas pastilhas, a fim de provocar uma alteração no campo elétrico que envolve o para-raios, observar Figura 8.



Figura 8 - Coluna de varistores com pastilhas envoltas por condutores metálicos.

f) PASTILHAS DEGRADADAS

A degradação dos varistores pode ser resultado do seu envelhecimento natural, do seu envelhecimento precoce ou mesmo da sua fratura.

Para a inserção do defeito houve a substituição de pastilhas em bom estado por pastilhas degradadas, retiradas de outros para-raios existentes. Na Figura 9 é observado parte da coluna ativa do para-raios com algumas pastilhas degradadas.



Figura 9 - Coluna ativa com varistores degradados.

g) UMIDADE INTERNA

A umidade interna em um para-raios à ZnO pode decorrer de duas causas principais. A primeira seria um problema de fabricação, resultado de alguma falha ocorrida durante o fechamento do mesmo. A segunda causa seria a perda de estanqueidade ou falha na vedação do equipamento, formando uma passagem de ar, e consequente penetração de umidade no interior do para-raios.

Para a inserção do defeito os para-raios foram abertos, borrifou-se água limpa na coluna de varistores, e posteriormente fechados.



Figura 10 - Presença de sinais de degradação devido à penetração da umidade.

4.1.3 RESULTADOS E ANÁLISES

Para cada defeito inserido o para-raios foi caracterizado, e em seguida iniciaram-se as 40 medições, em intervalos de 5 minutos, registrando a corrente de fuga e a imagem termográfica. Concomitantemente as medições foram registrados os valores de temperatura ambiente e umidade relativa do ar.

Para uma melhor visualização, os dados da curva de caracterização e perfil térmico estão exibidos em forma de gráfico.

Em virtude da quantidade de dados, são analisados neste relatório três defeitos: perda de estanqueidade, pastilhas degradadas e umidade interna.

Através das termografias obtidas, e com auxílio do software da câmera termográfica utilizada, pôde-se obter um conjunto de pontos que representam a

temperatura na superfície da porcelana ao longo do comprimento do para-raios. De posse desse dado, utilizou-se o software Matlab® para plotar os perfis de temperaturas antes e depois da inserção do defeito.

Para a obtenção dos gráficos foi considerada uma temperatura normalizada, ou seja, os valores mostrados nos gráficos correspondem aos valores de temperaturas reais obtidos, divididos pelo valor da temperatura ambiente obtida com o auxílio do termohigrômetro.

A normalização se tornou necessária para criar uma padronização entre os valores dos gráficos, facilitando a comparação dos mesmos, pois durante a realização dos ensaios, não era possível ter o controle completo sobre a entrada de energia térmica no para-raios. Sem a normalização, os valores de temperatura obtidos em cada ensaio seriam muito discrepantes, impossibilitando uma comparação adequada.

Nas Figuras 11, 12 e 13 são visualizadas as imagens termográficas dos para-raios, inserido os defeitos: perda de estanqueidade, pastilhas degradadas e umidade interna, respectivamente.

Nas tabelas 2 e 3 são observados os valores da tensão RMS, da corrente de fuga, da temperatura ambiente e da umidade relativa do ar, nos para-raios PR1 e PR2 com os defeitos analisados nas imagens termográficas obtidas, respectivamente.

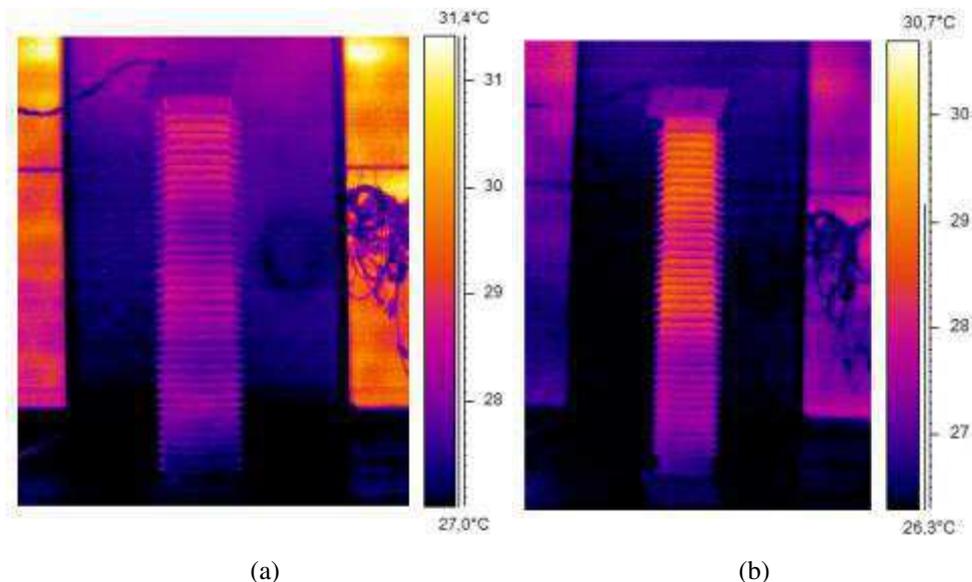


Figura 11 - Imagem termográfica dos para-raios com perda de estanqueidade. (a) PR1, (b) PR2.

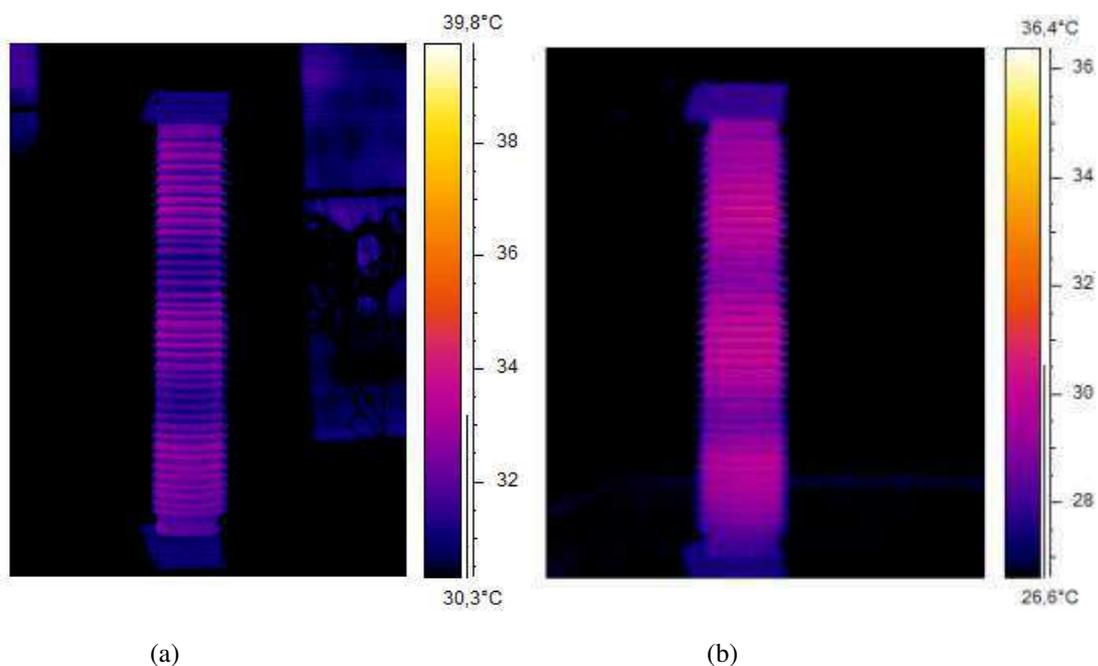


Figura 12 - Imagem termográfica dos para-raios com pastilhas degradadas. (a) PR1, (b) PR2.

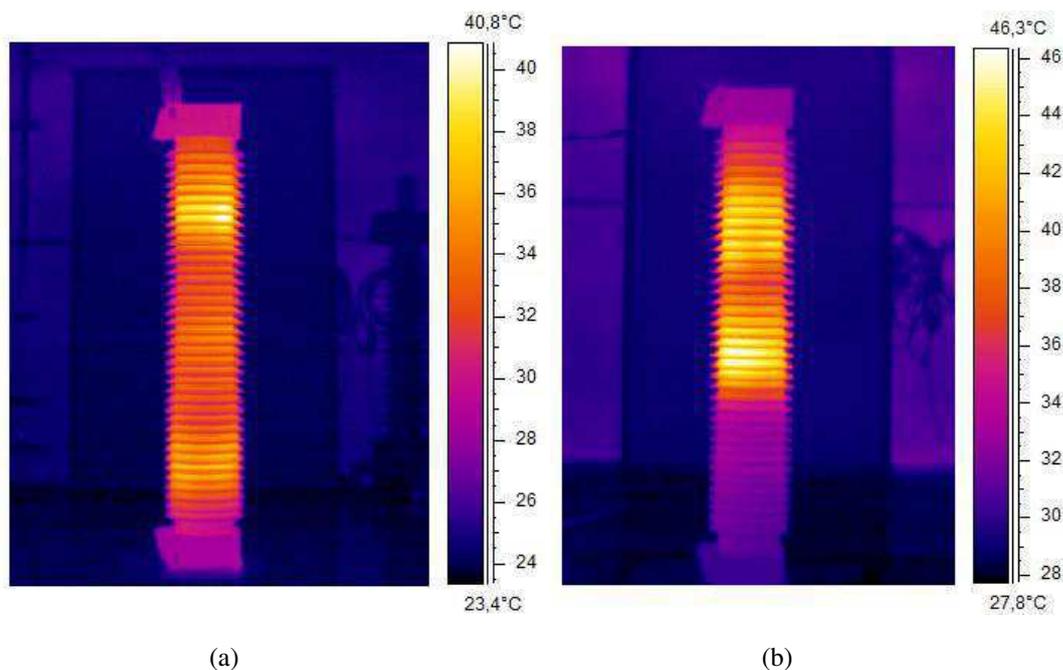


Figura 13 - Imagem termográfica dos para-raios com umidade interna. (a) PR1, (b) PR2.

Tabela 2 - Dados do para-raios PR1.

Defeitos	Tensão RMS (kV)	Corrente RMS (mA)	Temperatura Ambiente (C°)	Umidade Relativa do Ar (%)
Perda de Estanqueidade	76,4	1,48	27,9	70,0
Pastilhas Degradadas	77,2	1,43	28,9	57,0
Umidade Interna	77,3	2,58	24,9	84,0

Tabela 3 - Dados do para-raios PR2.

Defeitos	Tensão RMS (kV)	Corrente RMS (mA)	Temperatura Ambiente (C°)	Umidade Relativa do Ar (%)
Perda de Estanqueidade	78,9	1,49	27,3	71,0
Pastilhas Degradadas	76,8	1,86	28,6	56,0
Umidade Interna	77,7	1,96	28,9	60,0

Nas Figuras 14 e 15 são ilustrados os perfis de temperatura ao longo do invólucro de porcelana dos para-raios PR1 e PR2, com os defeitos analisados, respectivamente.

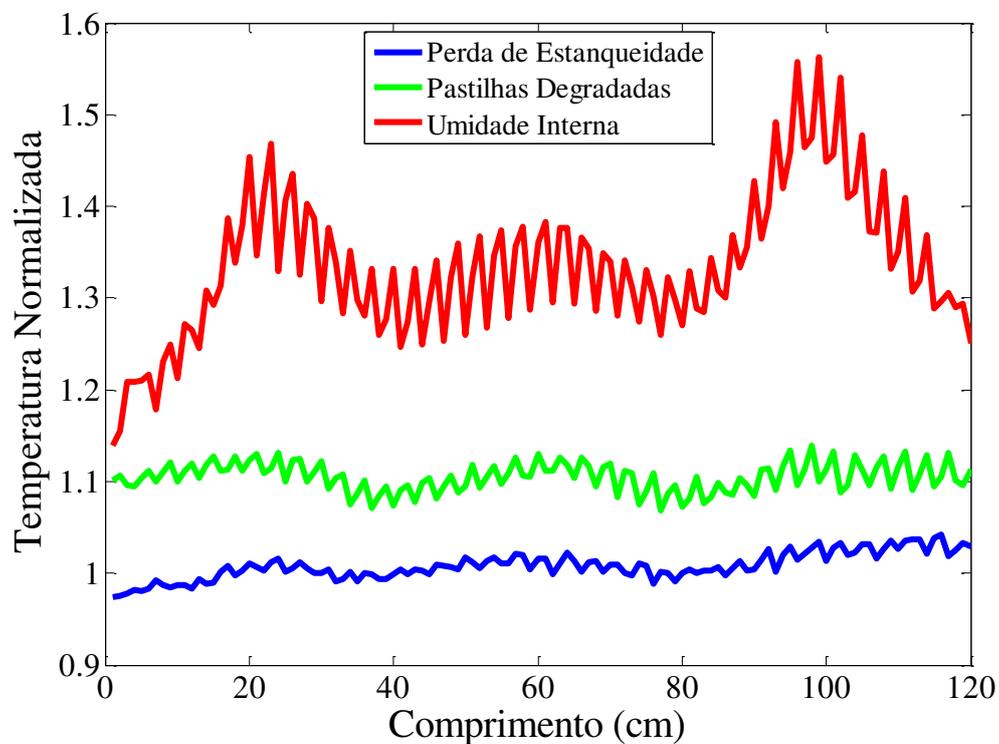


Figura 14 – Perfis de temperatura ao longo do invólucro de porcelana do para-raios PR1.

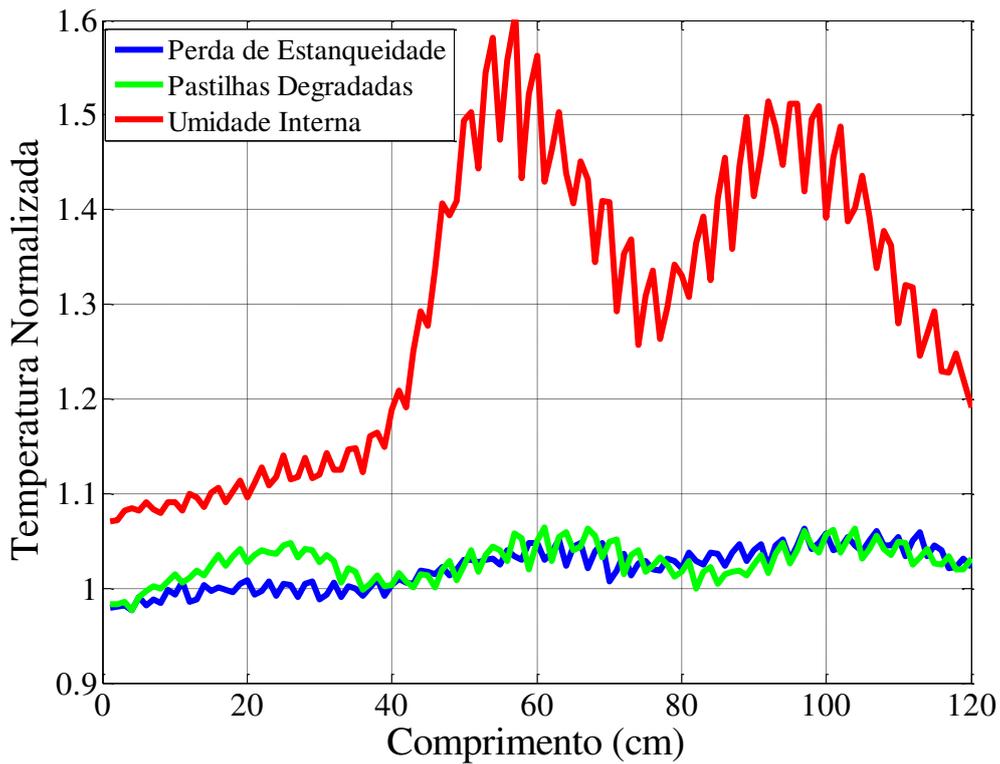


Figura 15 – Perfis de temperatura ao longo do invólucro de porcelana do para-raios PR2.

Nas Figuras 16 e 17 estão plotadas as curvas características dos para-raios PR1 e PR2, respectivamente. As curvas referem-se aos para-raios com perda de estanqueidade, pastilhas degradadas e umidade interna.

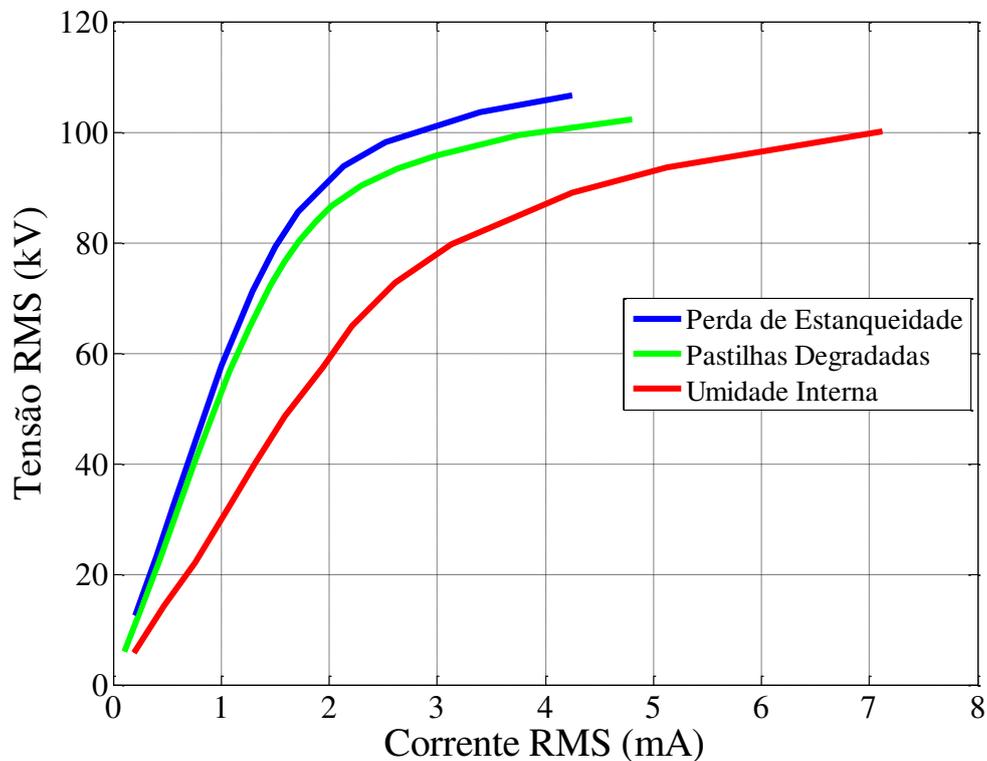


Figura 16 – Curvas característica do para-raios PR1.

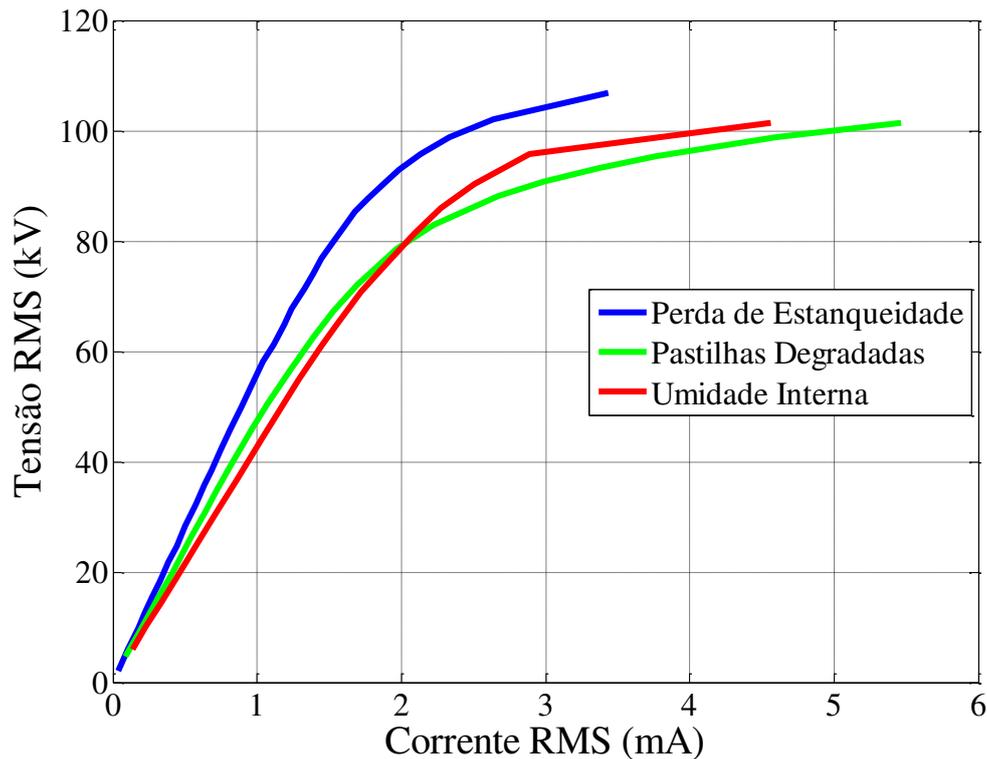


Figura 17 – Curvas característica do para-raios PR2.

Os para-raios ensaiados foram doados ao LAT por não apresentarem um bom desempenho em serviço. Sendo assim, as medições realizadas não têm uma referência confiável.

Para permitir a comparação dos dados obtidos foi utilizado como referência os sinais extraídos do ensaio do para-raios com perda de estanqueidade, uma vez que, para o início dos ensaios foi necessário a abertura do para-raios para averiguar possíveis avarias.

Os perfis de temperatura do para-raios PR1 com os defeitos inseridos foram distintos, sendo observada na umidade interna a diferença mais acentuada. Já no para-raios PR2 a umidade interna também apresentou diferenças significativas no seu perfil, mas os defeitos de perda de estanqueidade e pastilhas degradadas apresentaram perfis de temperatura semelhantes.

Ao comparar o comportamento térmico e elétrico dos para-raios com perda de estanqueidade, constata-se que os resultados estão muito próximos. Além disso, as condições ambientais (temperatura ambiente e umidade relativa do ar, Tabelas 2 e 3) no momento dos ensaios foram bem parecidas.

Em relação ao defeito de pastilhas degradadas, os para-raios PR1 e PR2 tiveram perfis de temperatura distintos, tendo o primeiro apresentado um maior aquecimento

relativo. Ao comparar com a perda de estanqueidade, só o para-raios PR1 apresentou diferenças significantes.

As curvas características dos dois para-raios com pastilhas degradadas não tiveram notórias diferenças quando comparadas entre si, mas ao comparar com os para-raios com defeito de perda de estanqueidade, percebe-se uma grande diferença na parte não linear da curva do para-raios PR2. A corrente de fuga aplicada a tensão RMS de 100 kV era de aproximadamente 2,3 para perda de estanqueidade e 4,8 para pastilhas degradadas.

As condições ambientais no momento dos ensaios dos dois para-raios com pastilhas degradadas foram próximas, mas as correntes de fuga medidas tiveram diferenças relativamente altas, em torno de 30 %.

Os dois para-raios com umidade interna tiveram perfis de temperatura distintos, mas apresentaram valores de pico próximos, entre 55 % a 60 % maior que a temperatura ambiente. O para-raios PR1 apresentou os pontos mais quentes na base e no topo do para-raios. Já o para-raios PR2, não apresentou aquecimento elevado nos seus primeiros 40 cm, a contar da base. Ao comparar com a perda de estanqueidade, os dois para-raios apresentaram aquecimento excessivo.

As curvas características dos dois para-raios com umidade interna apresentaram diferenças acentuadas, quando comparados entre si, principalmente na região não-linear, onde nota-se que no para-raios PR1 a corrente de fuga está em torno de 7 mA quando submetido a tensão de 100 kV. Já no para-raios PR2, nota-se que a corrente situa-se em torno de 4 mA quando submetido a mesma tensão. Quando comparados aos para-raios com defeito de perda de estanqueidade, a diferença torna-se ainda maior, cerca de duas a três vezes.

As condições ambientais no momento dos ensaios dos para-raios com umidade interna foram muito diferentes, embora os para-raios tenham sido ensaiados no mesmo turno, pela tarde. As correntes de fuga medidas tiveram diferenças relativamente altas, em torno de 31 %.

4.2 MEDIÇÕES EM ISOLAMENTOS ELÉTRICOS

As medições descritas a seguir são fruto de duas visitas técnicas a subestação da TERMOPE, nas datas: 19/01/2012 e 09/02/2012. As atividades desenvolvidas na subestação, localizada no município de Ipojuca, no Complexo Industrial e Portuário de Suape - PE foram:

- Retirada de dois isoladores tipo disco, que estavam expostos a brisa marítima, para ensaio no Laboratório de Alta Tensão com o objetivo de quantificar a poluição salina do local. Os isoladores estavam desenergizados e pendurados em um local próximo a subestação.
- Medição de ultravioleta em isolamentos da subestação.
- Medição de ruído ultra-sônico em isolamentos da subestação.

4.2.1 RETIRADA DE DOIS ISOLADORES TIPO DISCO

Próximo à subestação da TERMOPE foi construído um cobertura para alojar cadeias de isoladores de vidro limpos, suspensos pela estrutura construída. O objetivo é monitorar a ação da poluição salina, oriunda da praia que está muito próxima a subestação da TERMOPE.

Nas visitas técnicas realizadas à subestação foram retiradas quatro unidades de isoladores, duas em cada visita, para análise da corrente de fuga e medição ultravioleta. Outras unidades foram retiradas ao longo do projeto.

Na Figura 18 é observada a área construída e a retirada dos isoladores. Os isoladores foram retirados cuidadosamente para que não fosse removida acidentalmente a poluição salina (objeto de estudo).



Figura 18 - Registro da retirada de duas unidades de isoladores de vidro tipo disco.

4.2.2 MEDIÇÃO ULTRAVIOLETA

A tecnologia de detecção de ultravioleta é utilizada para detectar o corona, descargas parciais e formação de arcos em equipamentos e acessórios da rede elétrica.

Com o auxílio do DayCor II™, equipamento de medição de radiação ultravioleta, modelo observado na Figura 19, e uma filmadora conectada ao equipamento, foi realizada medições de emissão de radiação ultravioleta em isoladores de vidro, chaves, disjuntores e TP.

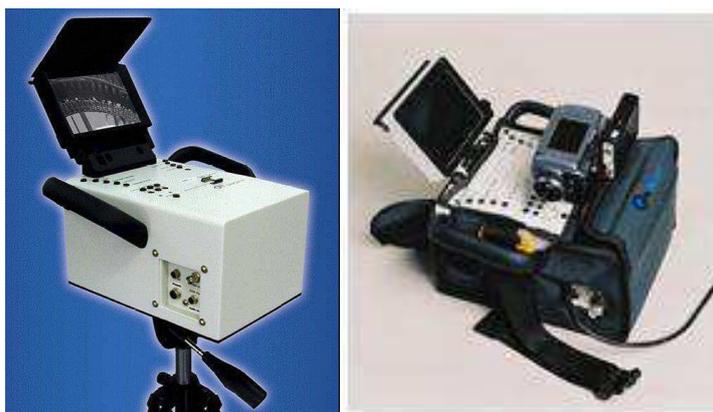


Figura 19 - Modelo do medidor ultravioleta utilizado nas medições [21].

Durante as visitas técnicas, os mesmos equipamentos vêm sendo inspecionados. A Tabela 4 apresenta a relação desses equipamentos.

A Figura 20 apresenta o diagrama da subestação com os equipamentos inspecionados destacados. Esses equipamentos foram escolhidos por que costumam apresentar maiores evidências de descargas corona durante as inspeções.

Tabela 4 - Listagem de equipamentos inspecionados.

Equipamentos Inspeccionados	Nomenclatura Utilizada
TP	1ADC00 fase B
Cadeia de Ancoragem	0ADR10 1ADP01 geração fase A
Chave	1ADS01 fase A
Disjuntor	1ADD10 fase C
Chave	1ADS12 fase C
Disjuntor	1ADD20 fase C
Disjuntor	1ADD30 fase C
Cadeia de Ancoragem	0ADR30 1ADP01 carga fase C
Disjuntor	2ADD20 fase C
Cadeia de Ancoragem	0ADR 3ADP01 geração fase A
Disjuntor	3ADD20 fase C

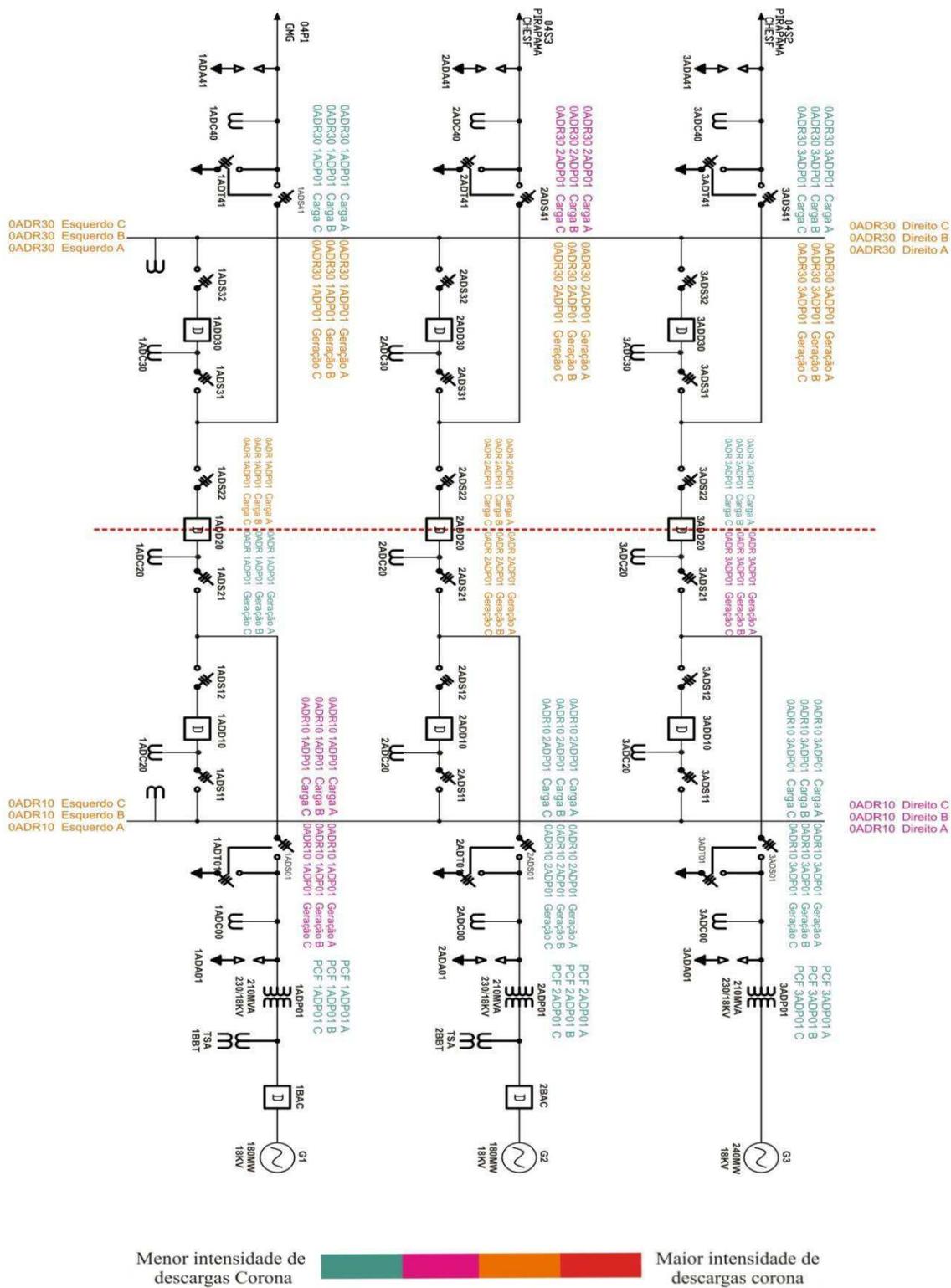


Figura 20 - Equipamentos inspecionados na subestação da TERMOPE.

Durante a medição realizada no dia 19/01/12, verificou-se que os referidos equipamentos inspecionados estavam limpos. Os únicos equipamentos que apresentaram algum traço de descargas corona na análise da câmera ultravioleta foram as chaves 1ADS01 e 1ADS12 e as cadeias de ancoragem 0ADR10 e 0ADR20. Ainda

assim, pouca evidência de corona foi observada nas chaves. Fotografias obtidas através da câmera ultravioleta DayCorII™ são apresentadas na Figura 21.

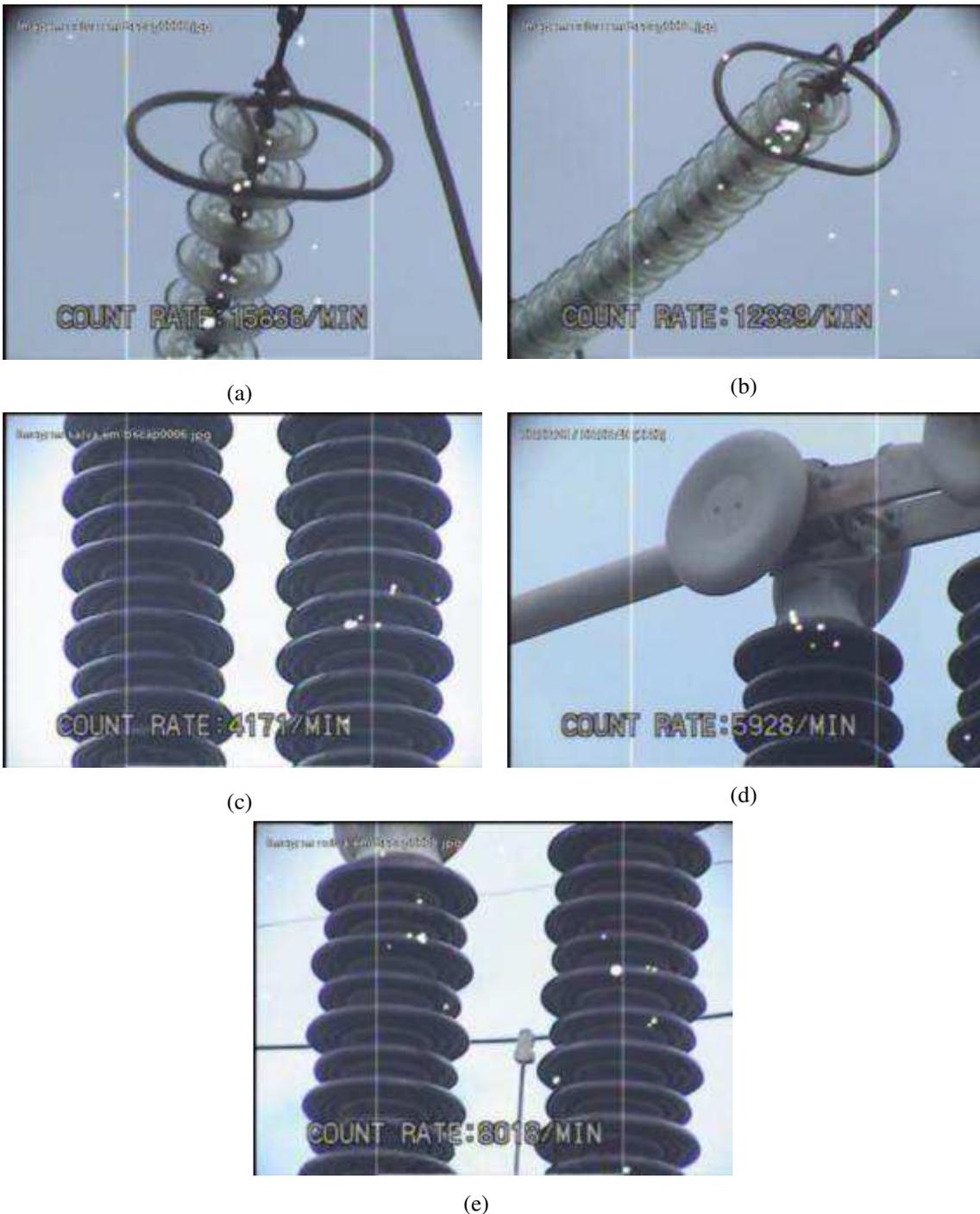


Figura 21 - Imagens obtidas através da câmera ultravioleta em 19/01/2012. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12.

Na medição realizada no dia 09/02/2012 foi percebido em relação à última medição um grau maior de corona.

Na Figura 22 são observadas algumas medições de ultravioleta em equipamentos da subestação da TERMOPE realizadas no dia 09/02/2012.

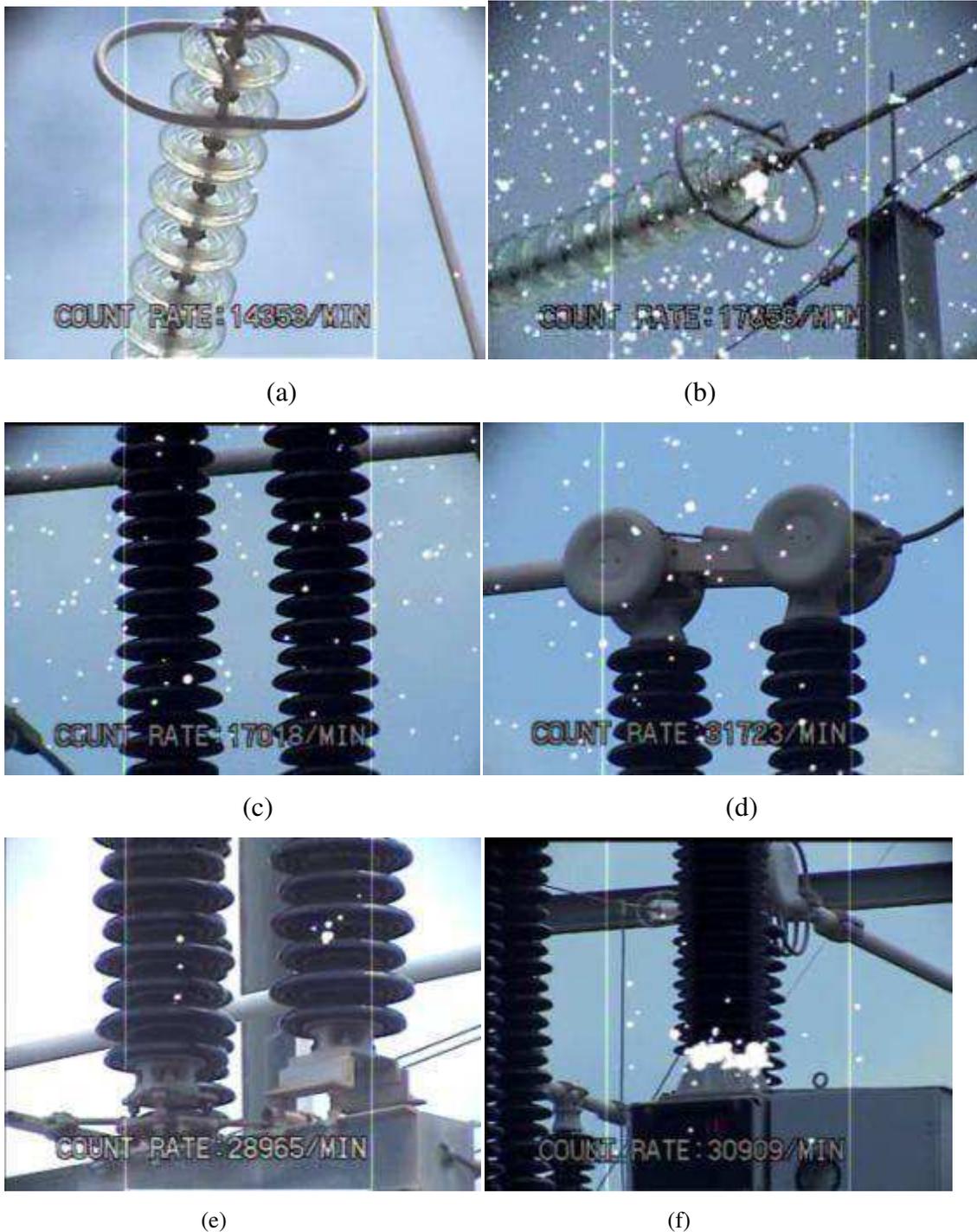


Figura 22 - Imagens obtidas através da câmera ultravioleta em 09/02/2012. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Ancoragem 0ADR20, (c) e (d) Chave 1ADS01, (e) Chave 1ADS12, (f) Disjuntor 2ADD20.

A Figura 22b teve sua medição invalidada, pois no momento da realização da medição, havia o uso de máquina de solda elétrica próximo ao local de medição, o que causou interferência, provavelmente pela emissão de raios ultravioleta que se propagaram pelo ar, interferindo no equipamento de medição.

O disjuntor 2ADD20, Figura 22f, apresentou uma grande concentração de corona em sua base.

4.2.3 MEDIÇÃO DE RUÍDO ULTRA-SÔNICO

As inspeções de ultra-som detectam ruídos ultra-sônicos inaudíveis ao ser humano. Estas inspeções podem detectar falhas ou predisposições a falhas em equipamentos elétricos (como isolamentos, buchas, transformadores) e mecânicos (motores) [1].

Na subestação da TERMOPE foram realizadas medições de ruído ultra-sônico, utilizando o sistema de inspeção ultra-sônico ULTRAPROBE® 2000 visualizado na Figura 23.

As medições foram realizadas nos mesmos equipamentos inspecionados pelo DayCor II™. O objetivo desta medição é analisar o grau de poluição dos equipamentos inspecionados, juntamente com o DayCor II™.

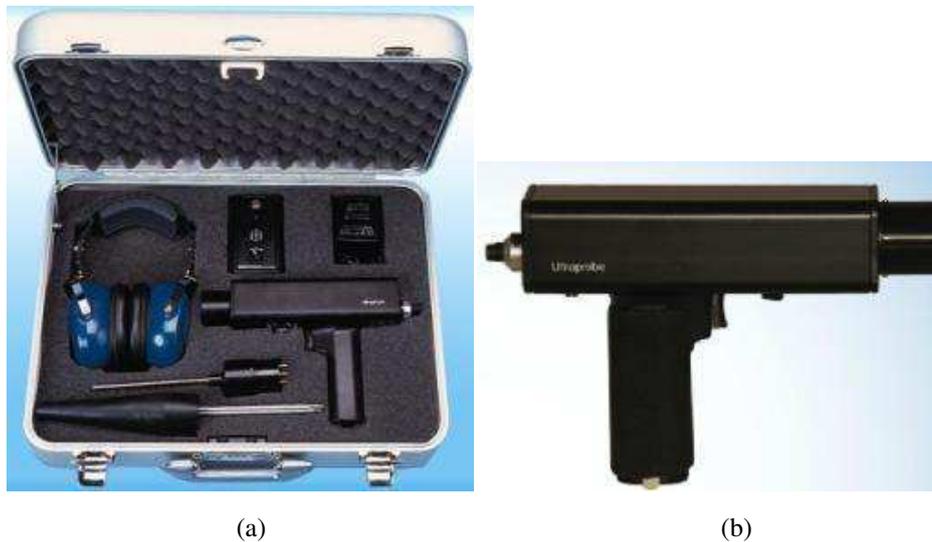


Figura 23 - Sistema de inspeção ultra-sônico. (a) Kit do sistema ultra-sônico, (b) Pistola ultra-sônica [22].

Na Figura 24 é mostrado parte do procedimento utilizado na medição de ultra-som, onde o operador direciona o sensor de ultra-som na direção do equipamento a ser monitorado. Os sons capturados pelo sensor são enviados para um computador portátil para armazenagem e tratamento.

Na Figura 25 são observados alguns gráficos do sinal de ultra-som, normalizado pelo seu valor máximo, obtido no dia 09/12/2012 na subestação da TERMOPE. Nota-se que a Figura 25d foi a que obteve maiores magnitudes. Entretanto, vale salientar que vários fatores, tais como o posicionamento do operador e as condições ambientais no momento da medição, influencia nos resultados. Todavia, O diagnóstico é baseado no conteúdo espectral do áudio normalizado.



Figura 24 - Medição de ruído ultra-sônico e radio interferência em equipamentos da subestação da TERMOPE.

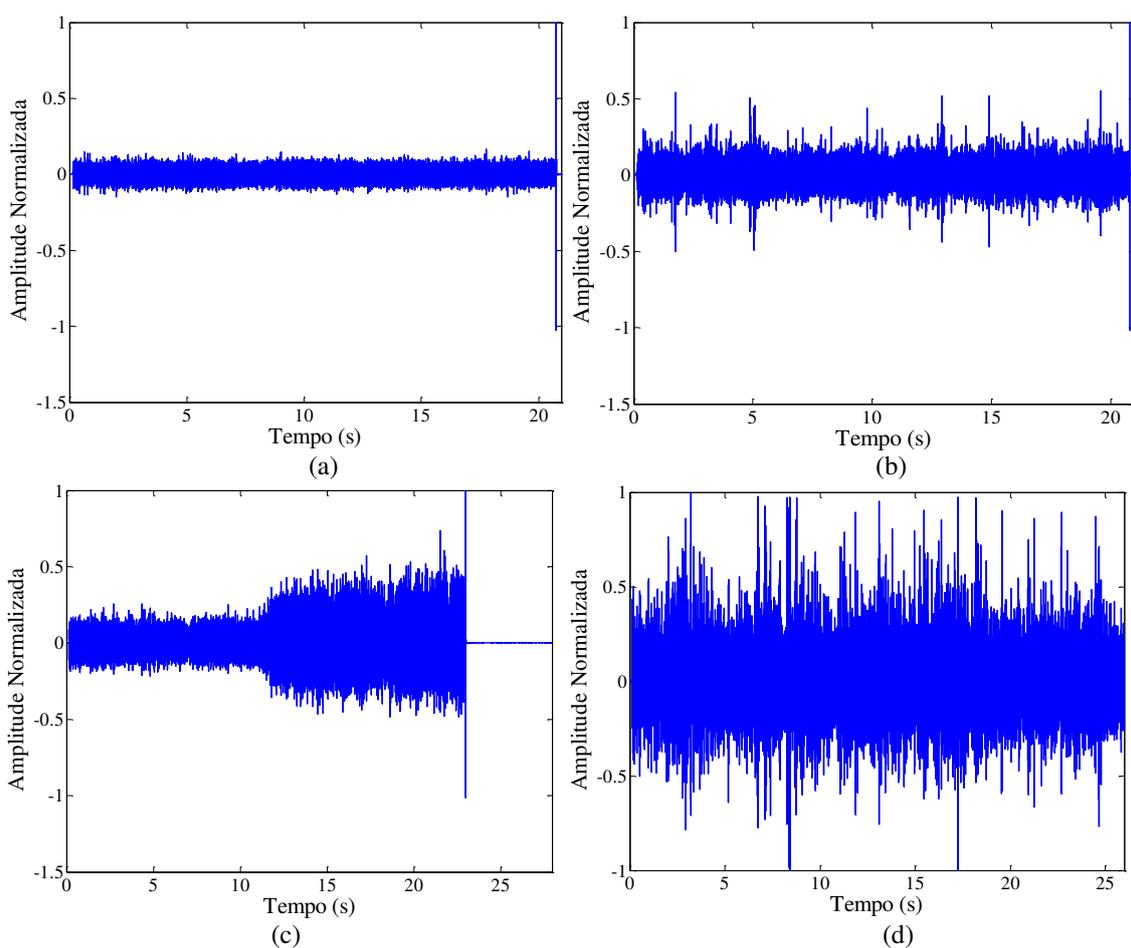


Figura 25 - Gráficos do sinal de ultra-som obtidos em campo no dia 09/02/2012. (a) Ancoragem 0ADR10, (b) Disjuntor 2ADD20, (c) Chave 1ADS01, (d) TP 1ADC00.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande superou as expectativas. Além de consolidar o conhecimento adquirido ao longo do curso de graduação, permitiu o aprendizado de técnicas de monitoramento, com o uso do termovisor para análise termográfica, e a medição de corrente de fuga. Essas técnicas são aplicadas não somente a para-raios, mas a diversos outros equipamentos do sistema elétrico de potência, o que valoriza ainda mais o estágio.

As medições realizadas na TERMOPE possibilitaram o conhecimento de dois equipamentos de medição, importantes para o monitoramento de equipamentos elétricos em sistemas elétricos de potência: o detector de ultravioleta (DayCor II™), e o medidor de ruído ultra-sônico (ULTRAPROBE® 2000).

Além disso, o conhecimento adquirido de técnicas de monitoramento, e o fato dessas técnicas terem sido empregadas em campo, em um sistema de potência real, agregaram valor, de forma substancial, à formação do engenheiro eletricitista.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Grupo de Sistemas Elétrico. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>>. Acesso em: 19 de fev. 2012.
- [2] Termope. Disponível em: <<http://www.termope.com.br/>>. Acesso em: 19 de fev. 2012.
- [3] HINRICHSEN, V. Metal-Oxide Surge Arresters Fundamentals. in Siemens – Power Transmission and Distribution Power Voltage Division, Berlin, 2001.
- [4] ABB, Surge Arresters - Buyer's Guide, Edition 8, 2010-12, Ludvika, Sweden, 2009.
- [5] GONTIJO, G. M.; ROCHA, A. C. O.; FRANCO, E. M.; 2003. Falha com Pára-raios de ZnO de 500 kV no Sistema CEMIG. In: XVII SNPTEE - Seminário Nacional de Produção e Transmissão de Energia Elétrica, Uberlândia – Minas Gerais.
- [6] ABB, Product Guide/ High Voltage Surge Arresters. 1995.
- [7] IEC 60099-4, Second Edition, 2004-05 Surge arresters – Part 4: Metal-oxide surge arresters without gaps for a.c. systems.
- [8] IEEE Standard C62.11-2005, Metal-Oxide Surge Arresters for AC Power Circuits (>1 kV), 2005.
- [9] Surge arresters – Part 5: Selection and application recommendations, IEC 60099-5 Ed. 1.1, Mar. 2000.
- [10] LUNDQUIST, J. S.; SCHEI, L. A.; HANSEN, B. New method for measurement of the resistive leakage currents of metal-oxide surge arresters in service. IEEE Trans. Power Delivery, v. 5, p. 1811-1822, Nov. 1990.
- [11] HINRICHSEN, V. Monitoring of high voltage metal oxide surge arrester. Presented at the VI Jornadas Internacionales de Aislamiento Electrico, Bilbao, Spain, 1997.
- [12] SOUZA, R. T. *Medição e análise harmônica da corrente de fuga resistiva em varistores de ZnO*. 2004. 74 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Campina Grande, Campina Grande. 2004.
- [13] 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.
- [14] ABDUL-MALEK, Z.; AULIA, N. A New Method to Extract the Resistive Component of the Metal Oxide Surge Arrester Leakage Current. Presented at the 2nd IEEE Int. Conf. Power and Energy, Johor Baharu, Malaysia, 2008.

- [15] 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.
- [16] NBR 5032:2004 – Isoladores para linhas aéreas com tensão acima de 1000 V – Isoladores de porcelana ou vidro para sistemas de corrente alternada.
- [17] UNIVERSIDADE ESTADUAL DO OESTE DO PARANÁ. Materiais Elétricos: Compêndio de Trabalhos. Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downcompendio/compendiov1.pdf>>. Acesso em: 20 de fev. 2012.
- [18] CPFL ENERGIA. *Especificação Técnica: Isoladores de Disco – vidro e porcelana*, 2005.
- [19] CIGRE *Insulator Pollution Monitoring*. CIGRE Task Force 33.04.03, *Electra* N° 152, February 1994, pp. 79-90.
- [20] FLIR SYSTEMS. Disponível em: <http://www2.flirthermography.com/news/press_room.asp>. Acesso em: 22 de fev. 2012.
- [21] TRANSAM RADING CO. Disponível em: <<http://www.transam.gr/default.asp?pid=58&la=1>>. Acesso em: 22 de fev. 2012.
- [22] UE SYSTEMS INC. Disponível em: < <http://www.uesystems.com/products/cost-effective-ultrasonic-detectors/up-2000/complete-kit.aspx>>. Acesso em: 23 de fev. 2012.