

CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal  
de Campina Grande

POLLYANA CAVALCANTE CIRINO

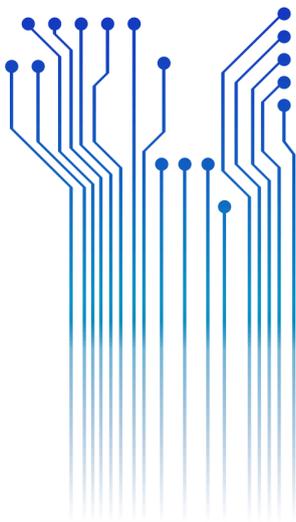


Centro de Engenharia  
Elétrica e Informática

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO  
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO



Departamento de  
Engenharia Elétrica



Campina Grande  
2018

POLLYANA CAVALCANTE CIRINO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em 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: Eletrotécnica

Professor Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.

Orientador

Campina Grande  
2018

POLLYANA CAVALCANTE CIRINO

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação do Curso de Graduação em 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: Eletrotécnica

Aprovado em        /        /

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

**Professor Ronimack Trajano de Souza, D.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho aos meus pais, a minha irmã e a minha avó que sempre acreditaram no meu esforço durante toda essa trajetória.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por me dar o dom da sabedoria e perseverança que me ajudou a concluir este trabalho.

Agradeço à minha mãe, Marilene Cavalcante, e ao meu pai, Severino Vieira, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, sempre me dando apoio e conselhos, os quais foram essenciais para superação de todos os obstáculos ao longo desta caminhada. A minha irmã Allana, que com todo carinho e apoio, sempre me incentivou durante todo o meu curso, fazendo com que eu acreditasse mais em mim.

Não posso esquecer de agradecer também ao meu orientador, Ronimack Trajano de Souza, pela orientação e pela confiança em mim depositada.

Ao aluno da pós graduação Lenilson Barbosa, por me transmitir um pouco do seu conhecimento e me ajudar a executar as tarefas do estágio.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, contribuíram positivamente durante o meu estágio.

“Reaja com inteligência mesmo quando for tratado com ignorância”  
Lao-Tsé

## RESUMO

Neste relatório serão descritas as atividades desenvolvidas pela aluna Pollyana Cavalcante Cirino desenvolvidas durante o Estágio Curricular Supervisionado, com carga horária de 210 horas e sem vínculo financeiro, realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG. Serão abordadas atividades relativas a ensaios e medição de transformadores de potencial indutivo, acompanhamento de ensaio em isoladores poliméricos e levantamento de material para futuras instalações elétricas do próprio laboratório.

**Palavras-chave:** Ensaios, Isoladores Poliméricos, Relação de Transformação.

# ABSTRACT

This report will describe the activities developed by the student Pollyana Cavalcante Cirino developed during the Supervised Curricular Internship, with an hourly workload of 210 hours and with no financial bond, performed at the UFCG High Voltage Laboratory (LAT). Activities related to testing and inductive power transformers measurement, follow-up tests in polymeric insulators and material survey for future electrical installations in the laboratory will be approached.

**Keywords:** Tests, Polymeric Insulators, Transformation ratio,

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Salão de alta tensão .....	17
Figura 2: Transformadores de potencial indutivo .....	21
Figura 3: Representação de uma fonte de alimentação programável da CALIFORNIA INSTRUMENTS™. ....	25
Figura 4: Osciloscópio de 4 canais .....	26
Figura 5: Ponta de prova para alta tensão .....	27
Figura 6: Montagem inicial .....	27
Figura 7: TP de medição 13.800/110 V .....	28
Figura 8: TP de proteção 13.800/115 V .....	28
Figura 9: Arranjo experimental dos equipamentos utilizados .....	29
Figura 10: Montagem do ensaio 1 com o TP de medição alimentado com 100V .....	30
Figura 11: Montagem do ensaio 2 com o TP de medição alimentado com 300V .....	32
Figura 12: Montagem do ensaio 3 com o TP de proteção alimentado com 100V .....	33
Figura 13: Montagem do ensaio 4 com o TP de proteção alimentado com 300V .....	34
Figura 14: Relação de transformação entre o ensaio 1 e 2, no TP de medição .....	35
Figura 15: Relação de transformação entre o ensaio 3 e 4, no TP de proteção .....	36
Figura 16: Isolador polimérico .....	37
Figura 17: Ensaio com névoa .....	39
Figura 18: Materiais para o quadro de distribuição .....	40
Figura 19: Quantidade de condutos a serem utilizados .....	40
Figura 20: Quantidade de condutores em metros a serem utilizados .....	41
Figura 21: Quantidade de interruptores e tomadas a serem utilizados .....	41
Figura 22: Materiais a serem utilizados no circuito de iluminação .....	42
Figura 23: Materiais a serem utilizados no circuito de comunicação .....	42

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Especificações do TP de Proteção .....	22
Tabela 2: Especificações do TP de Medição .....	23
Tabela 3: Especificações da fonte de alimentação programável .....	25
Tabela 4: Software intermediador de controle da fonte.....	26

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIDA	Canadian International Development Agency
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro
DICLA	Divisão de Acreditação de Laboratórios e de Provedores de Ensaio de Proficiência
GAT	Grupo de Alta Tensão
GTZ	German Technical Cooperation Agency
LAT	Laboratório de Alta Tensão
LABIS	Laboratório de Isolamento Elétricos
LEASE	Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos
LDP	Laboratório de Descargas Parciais
LGIC	Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente
LMEE	Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos
LQE	Laboratório de Qualidade da Energia
LSM	Laboratório de Simulações Multifísicas
NBR	Norma Brasileira
PVO	Pequeno Volume de Óleo
SAT	Salão de Alta Tensão
SKAT	Sala do Kit de Alta Tensão
TI	Transformador de instrumento
TP	Transformador de potencial
TPI	Transformador de potencial indutivo

# SUMÁRIO

Agradecimentos .....	vi
Resumo .....	viii
Abstract .....	ix
Lista de Ilustrações .....	x
Lista de Tabelas .....	xi
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	xii
Sumário .....	xiii
1 Apresentação .....	14
2 Introdução .....	15
3 O Laboratório de Alta Tensão .....	16
4 Fundamentação Teórica .....	20
4.1 Transformador de potencial .....	20
4.1.1 Transformador de potencial indutivo .....	21
4.2 Isoladores poliméricos .....	23
5 Atividades Desenvolvidas .....	24
5.1 Ensaio em transformador de potencial indutivo .....	24
5.2 Ensaio de envelhecimento acelerado de um isolador polimérico .....	37
5.3 Ensaio em névoa .....	38
6 Conclusão .....	43
Referências .....	44

# 1 APRESENTAÇÃO

O presente relatório refere-se ao estágio supervisionado realizado pela aluna do curso de graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), Pollyana Cavalcante Cirino, no Laboratório de Alta Tensão (LAT), da mesma instituição. O estágio teve vigência durante o período de 16/10/2017 a 29/12/2017, sob orientação do Professor Ronimack Trajano de Souza e supervisão do Professor George Rossany Soares de Lira.

O estágio supervisionado teve carga horária de 210 horas, e é uma disciplina integrante da grade curricular do curso de Engenharia Elétrica, indispensável para obtenção do diploma de Engenheiro Eletricista.

## 2 INTRODUÇÃO

Com o desenvolvimento tecnológico das últimas décadas na nossa sociedade, se faz necessário grandes avanços e mudanças no setor elétrico, mudanças estas que vão desde a etapa de geração da energia até o momento em que ela é entregue ao consumidor. Com esses avanços, requisitos como confiabilidade, qualidade, continuidade e segurança no serviço oferecido estão sendo cobrados das empresas fornecedoras de energia em um nível cada vez mal elevado, fazendo com que essas empresas vão em busca de profissionais cada vez mais capacitados para esses serviços.

Como consequência dessa evolução, faz-se necessário a formação de funcionários cada vez mais atentos e capazes de enfrentar todos os desafios e exigências dados pelo mercado de trabalho. Portanto, após sua formação, o engenheiro deve sempre ir em busca de conhecimentos atuais, inovação, modernização e otimização.

Aplicar os conhecimentos adquiridos durante os anos de graduação é o início de tudo, pois realizar a conexão entre o que foi visto em sala de aula e um problema real é a principal habilidade buscada por qualquer profissional. Uma vez que essa conexão esteja bem estabelecida, a prática estimulará e aperfeiçoará o processo de solução de problemas.

Nesse contexto, esse relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado relatando as experiências adquiridas.

### 3 O LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) localizado no Bloco CF do Campus Sede da UFCG, atua prioritariamente no apoio às atividades de ensino, pesquisa e extensão da UFCG. Adicionalmente, o LAT disponibiliza sua infraestrutura ao atendimento de demandas de usuários externos, tais como, outras universidades, indústrias locais, peritos judiciais e órgãos da administração pública que necessitem de seus serviços.

O LAT entrou em operação em 1975 e passou a ser utilizado por pesquisadores do Grupo de Alta Tensão (GAT) da UFCG (então Universidade Federal da Paraíba) no desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa. O Grupo era formado na época por professores e pesquisadores brasileiros, europeus, indianos e canadenses. Os pesquisadores estrangeiros tiveram suporte financeiro do governo brasileiro e de agências de fomento estrangeiras. O LAT obteve por meio de convênios com a Canadian International Development Agency (CIDA) e a German Technical Cooperation Agency (GTZ) diversos equipamentos de alto custo e complexidade, que o permitiram caracterizar-se como o Laboratório mais bem equipado e estruturado do Norte/Nordeste/Centro-Oeste do Brasil, na época. Atualmente, o LAT é reconhecido como um dos Laboratórios mais bem estruturados do Brasil, em especial, com relação às Universidades e Instituições de Pesquisa.

Desde sua implantação, o LAT vem interagindo com outros grupos de pesquisa da UFCG e de instituições parceiras, além de empresas e entidades do setor produtivo. A partir dessas interações/cooperações foram produzidas (no Brasil) as primeiras dissertações de mestrado e teses de doutorado na área de Sistemas Elétricos/Alta Tensão, além de uma miríade de trabalhos/materiais técnico-científicos e instrucionais, que viabilizaram a formação e qualificação de centenas de engenheiros ao longo dos anos. Têm sido fruto, também, dessas cooperações, a participação em dezenas de Projetos de Pesquisa & Desenvolvimento com empresas do Setor Elétrico, além da solução de diversas demandas técnicas oriundas de empresas.

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. Sua área total construída é cerca de 1.050 m<sup>2</sup>.

Nos últimos 25 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 (LAT, 2016):

- **Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos (LMEE):** No LMEE são realizados testes elétricos e magnéticos em materiais e equipamentos empregados no setor elétrico. O LMEE possui fontes de alta tensão, medidores de tangentes de perdas e fator de potência, medidor de rigidez dielétrica, termovisor, entre outros.
- **Salão de Alta Tensão (SAT):** No SAT são realizados testes elétricos de aplicações de tensões até 600 kV AC e 750 kV impulsiva em materiais e equipamentos elétricos. O SAT é composto por uma fonte de tensão em cascata de 600 kV AC, por um gerador de impulso de tensão de 750 kV, além de equipamentos acessórios como divisores de tensão e capacitores padrão. O SAT ocupa cerca de 40% do LAT, devido às dimensões dos equipamentos existentes.

FIGURA 1: SALÃO DE ALTA TENSÃO



FONTE: GOOGLE IMAGENS

- **Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente (LGIC):** No LGIC são realizados ensaios elétricos em equipamentos e sistemas elétricos envolvendo à

aplicação de impulsos de corrente de até 100 kA. O LGIC é composto por gerador de impulsos de corrente capaz de gerar correntes impulsivas de até 100 kA e correntes com forma de onda quadrada de até 500 A. Além do gerador, o LGIC possui diversos equipamentos acessórios utilizados na customização e medição dos sinais de corrente.

- **Sala do Kit de Alta Tensão (SKAT):** Na SKAT são realizados ensaios com tensões alternadas, contínuas e impulsivas até 100 kV. Este laboratório é comumente utilizado nas atividades de ensino e pesquisa, quando se está interessado em analisar/obter o comportamento de amostras de materiais e equipamentos elétricos. O principal equipamento do laboratório é o kit de alta tensão, com ele é possível realizar vários tipos de testes com tensões de carregamento de até 100 kV.
- **Laboratório de Descargas Parciais (LDP):** No LDP são realizados ensaios em materiais e equipamentos com o intuito de avaliar a existência de Descargas Parciais, as quais com o tempo danificam permanentemente os isolamentos. O LDP é composto por uma fonte alta tensão e um sistema de medição e detecção de Descargas Parciais.
- **Laboratório de Isolamento Elétricos (LABIS):** No LABIS são realizados ensaios em isolamentos elétricos com a finalidade de detectar falhas nos mesmos que venham a colapsar o sistema elétrico. Além disso, são realizados testes de novos materiais isolantes. O LABIS é composto por fonte de alta tensão, sistemas digitais de aquisição de dados, detector de descarga de corona, entre outros.
- **Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos (LEASE):** No LEASE são desenvolvidos sistemas de sensoriamento, medição, aquisição, transmissão e processamento de dados aplicados aos sistemas elétricos de potência. O LEASE é composto por bancadas, fontes de tensão e corrente, simuladores, fonte arbitrária de tensão e corrente, qualímetros, componentes eletrônicos diversos, computadores, entre outros.
- **Laboratório de Simulações Multifísicas (LSM):** No LSM são realizadas simulações multifísicas com objetivo de estimar o comportamento térmico, elétrico e magnético de componentes/equipamentos/estruturas físicas, em especial no caso do LAT, dos equipamentos elétricos de potência. Para viabilizar a realização das simulações, o LAT adquiriu a licença do software COMSOL (um dos mais utilizados no mundo para simulações multifísicas) e um computador de médio porte.

- **Laboratório de Qualidade da Energia (LQE):** No LSM são realizados experimentos relacionados com a Qualidade da Energia Elétrica, seus distúrbios e o impacto dos mesmos nos equipamentos e sistemas elétricos.

O LAT também possui várias salas para alunos de graduação (bolsistas de iniciação científica e de projetos de pesquisa; estagiários e concluintes que estejam elaborando monografias), pós-graduação (existem salas para mestrandos e doutorandos); professores (todos os professores com atividades permanentes no LAT possuem sala própria); pesquisadores visitantes (reservadas para receber professores, pesquisadores e alunos de pós-doutorado de outras instituições). Além disso, conta com dois mini-auditórios para realização de aulas, cursos, treinamentos, defesas de dissertações, teses, monografia de final de curso, estágio, entre outras. Cada auditório comporta cerca de 25 pessoas e dispõe de quadro, datashow e computador (LAT, 2016).

## 4 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Apresenta-se a seguir um resumo dos fundamentos teóricos requeridos para o desenvolvimento deste estágio supervisionado.

### 4.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL

O transformador de potencial (TP) é um equipamento monofásico que possui dois circuitos, um denominado primário e outro denominado secundário, isolados eletricamente um do outro, porém, acoplados magneticamente. São usados para reduzir a tensão a valores baixos com a finalidade de promover a segurança do pessoal, isolar eletricamente o circuito de potência dos instrumentos e reproduzir fielmente a tensão do circuito primário no lado secundário. (Mardegan Cláudio, **Revista o Setor Elétrico**, Fevereiro de 2010.)

Na sua forma mais simples, os transformadores de potencial possuem um enrolamento primário de muitas espiras e um enrolamento secundário através do qual se obtém a tensão desejada, normalmente padronizada em 115 V ou  $115/\sqrt{3}$  V Logo, os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolação.

Algumas de suas características são:

- Ideal para instalação em pontos de medição por sua alta exatidão;
- Apto para uso em descarga de linhas de alta tensão e bancos de capacitores;
- Excelente resposta em frequência, ideal para monitoramento da qualidade de onda e medida de harmônicos.

No próximo tópico será apresentado a teoria sobre transformadores de potencial indutivo.

#### 4.1.1 TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO

Os transformadores de potencial indutivos são construídos basicamente para utilização até a tensão de 138 kV, por apresentarem custo de produção inferior ao do tipo capacitivo. Os transformadores de potencial indutivo são dotados de um enrolamento primário envolvendo um núcleo de ferrosilício que é comum ao enrolamento secundário.

Basicamente, todos os TP's para utilização até 138 kV são do tipo indutivo, por apresentarem custo inferior que os do tipo capacitivo, exceto nos casos em que haja necessidade da utilização de “carrier” (PLC – *Power Line Carrier*) nos esquemas de controle, proteção e comunicação (para tensões de 69 kV a 138 kV) (D’AJUZ et al, 1985). Na figura 2 mostra-se TP's indutivos. Na tabela 1 e 2, é mostrado as especificações de cada transformador:

FIGURA 2: TRANSFORMADORES DE POTENCIAL INDUTIVO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Ele tem o mesmo princípio de funcionamento dos transformadores de potência, variando-se a tensão primária haverá uma variação proporcional na tensão secundária, ou seja curva relacionando as duas tensões deve ser linear.

Os transformadores de potencial indutivos são construídos segundo três grupos de ligação previstos pela NBR 6855 - Transformadores de potencial - Especificação:

- Grupo 1 - são aqueles projetados para ligação entre fases. São basicamente os do tipo utilizados nos sistemas de até 34,5 kV. Os transformadores enquadrados nesse grupo devem suportar continuamente 10% de sobrecarga.
- Grupo 2 - são aqueles projetados para ligação entre fase e neutro de sistemas diretamente aterrados, isto é:  $\frac{R_z}{X_p} \leq 1$ , sendo  $R_z$  o valor resistência de *sequência*

zero do sistema e  $X_p$  o valor reatância de *sequência* positiva do sistema.

- Grupo 3 - são aqueles projetados para ligação entre fase e neutro de sistemas onde não se garanta a eficácia do aterramento.

As vantagens do transformador de potencial indutivo são:

- Proteção do enrolamento secundário contra sobretensões transientes da rede de alta tensão através da blindagem;
- Proteção contra ferorresonância através do uso de núcleos com aço de baixa indutância;
- Segurança ampliada, uma vez que não há parte ativa no isolador;
- Volume reduzido de óleo.

TABELA 1: ESPECIFICAÇÕES DO TP DE PROTEÇÃO

Fabricante	SOLTRAN Transformadores LTDA
Modelo	SN12
Grupo	1
Frequência	60Hz
Exatidão	0,3P75
Tensão máxima de operação	15kV
Potência térmica nominal	400VA
Relação nominal	120:1
Uso	Interno
Tensão primária nominal	13,8kV
Nível de Isolamento	34/95 kV

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

TABELA 2: ESPECIFICAÇÕES DO TP DE MEDIÇÃO

<b>Fabricante</b>	ELEQ
<b>Modelo</b>	UZGR
<b>Frequência</b>	60Hz
<b>Tensão máxima de operação</b>	15kV
<b>Potência térmica nominal</b>	400VA
<b>Relação nominal</b>	125:1
<b>Uso</b>	Interno
<b>Tensão primária nominal</b>	13,8kV

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

## 4.2 ISOLADORES POLIMÉRICOS

Isoladores poliméricos são constituídos de um único material isolante (isoladores de resina) ou de dois ou mais materiais isolantes. (NBR 15643/2014) Eles começaram a ser utilizados na década de 1940, em ambientes fechados, quando foi construído o primeiro isolador para alta tensão com material orgânico. Entretanto, apenas no início de 1980, surgiu a primeira versão comercial de isoladores poliméricos para linhas de transmissão (HALL, 1993). Desde então o uso de isoladores poliméricos vem aumentando devido as suas diversas vantagens. A seguir são apresentadas algumas vantagens e desvantagens dos isoladores poliméricos.

- Vantagens

Uma das maiores vantagens dos isoladores poliméricos, é a capacidade de manter a sua hidrofobicidade, mesmo em ambientes poluídos, quando então a hidrofobicidade é transmitida à camada de poluentes depositados na superfície do isolador. Hidrofobicidade é a propriedade que permite a superfície do material repelir a água, evitando a formação de uma película de água, assim, ela reduz as correntes de fuga.

Outras vantagens dos isoladores poliméricos podem ser mencionadas:

- a) são mais leves, assim reduzem o tempo gasto em sua instalação e consequentemente seu custo;
- b) são menos susceptíveis ao vandalismo, que pode causar a queda de uma linha de transmissão, caso os isoladores venham a ser acertados;

c) reduzem os custos com manutenção, pois não precisam ser lavados periodicamente;

d) não emitem tanta interferência eletromagnética (FONTGALLAND et al, 2004).

- Desvantagens

Diferentemente dos isoladores de vidro temperados, que se esfarelam quando quebrados, os isoladores poliméricos muitas vezes não apresentam, aparentemente, indícios de que houve uma falha interna. Assim, uma inspeção feita do solo pode não detectar problemas no isolador. É difícil avaliar a expectativa de vida do isolador e seu comportamento em longo prazo é desconhecido (HACKAM, 1999). Eles estão sujeitos a alterações químicas em seu revestimento devido às condições ambientais ou à formação de arcos voltaicos em sua superfície. A expectativa de vida útil dos isoladores poliméricos é de 30 a 40 anos, enquanto outros isoladores, como os cerâmicos, a expectativa de vida útil é de 60 a 90 anos.

## 5 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

No Laboratório de Alta Tensão, local onde ocorreu o estágio, diversas atividades foram realizadas, a maioria consistindo em participação e acompanhamento de projetos de alunos da pós graduação. Iniciou-se com ensaios de transformadores de potencial indutivo, para visualização do seu erro de relação de transformação.

Em seguida, tem-se o ensaio de envelhecimento de isoladores e com névoa. Por fim, foram realizado um levantamento de material para futuras instalações do LAT. Nos tópicos seguintes, serão apresentados os ensaios realizados no decorrer do estágio.

### 5.1 ENSAIOS EM TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO

No LAT, foi feito inicialmente o estudo da fonte programável para realização dos ensaios (figura 3). O estágio teve por ponto de partida medições em transformadores de potencial indutivo de medição e outro de proteção, como mostra a figura 2 deste trabalho.

Para alimentação dos transformadores, foi utilizada a fonte programável de tensão. Esta fonte permite o controle e o monitoramento dos níveis de tensão.

Na tabela 3, apresentam-se as principais características da fonte.

FIGURA 3: REPRESENTAÇÃO DE UMA FONTE DE ALIMENTAÇÃO AC PROGRAMÁVEL DA CALIFORNIA INSTRUMENTS™.



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

TABELA 3: ESPECIFICAÇÕES DA FONTE DE ALIMENTAÇÃO PROGRAMÁVEL

<b>Fabricante</b>	<b>California Instruments</b>
<b>Modelo</b>	3000Lx
<b>Faixa de freqüência</b>	45 – 5000 Hz
<b>Potência máxima monofásica</b>	3 KVA
<b>Potência máxima trifásica</b>	1 KVA por fase
<b>Faixa de tensão RMS AC</b>	0 – 150 / 0 – 300 v
<b>Faixa de corrente RMS AC</b>	0 – 2,50 / 0 – 5,00 A

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

A configuração dos sinais de saída da fonte é definida conforme às especificações apresentadas na tabela 3 de acordo com a necessidade do usuário. Na tabela 4, por sua vez, são apresentadas as especificações do *software* adotado pela fonte para programação dos parâmetros dos sinais de saída da fonte.

TABELA 4: SOFTWARE INTERMEDIADOR DE CONTROLE DA FONTE.

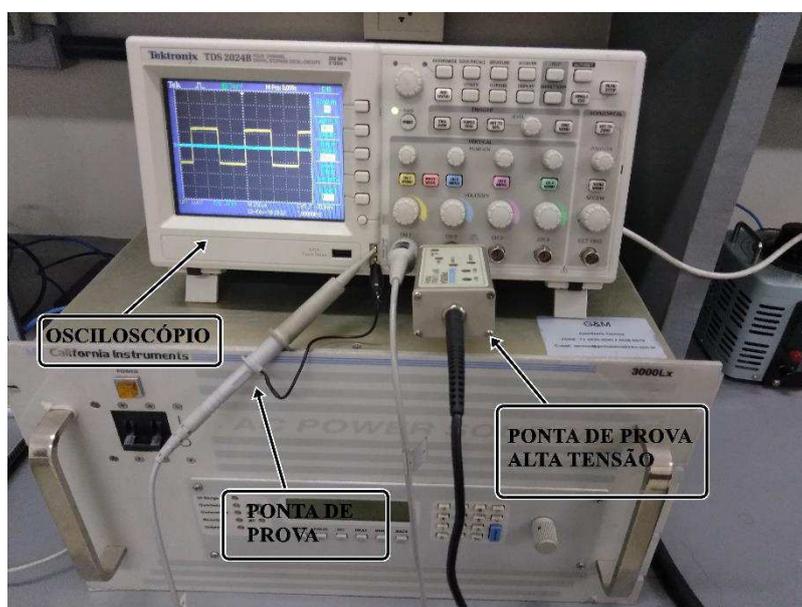
<b>Programa</b>	<b>LxGUI</b>
<b>Versão</b>	1.6.0
<b>Desenvolvedor</b>	California Instruments
<b>Driver</b>	TUSB3410
<b>Sistema operacional compatível</b>	Windows Vista/2000/XP/7

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Os equipamentos necessários para esses ensaios foram:

- Fonte de alimentação AC programável 3000 Lx da California Instruments™ mostrada na figura 3 para gerar o sinal senoidal.
- Osciloscópio de 4 canais, mostrado na Figura 4.

FIGURA 4: OSCILOSCÓPIO DE QUATRO CANAIS



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ponta de prova do osciloscópio, mostrada na figura 4.
- Ponta de prova para alta tensão Tektronix P6015A, mostrado na figura 5.

FIGURA 5: PONTA DE PROVA PARA ALTA TENSÃO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Microcomputador para automatização das medições através do programa *Lx GUI 1.6.0*, mostrado na figura 6.

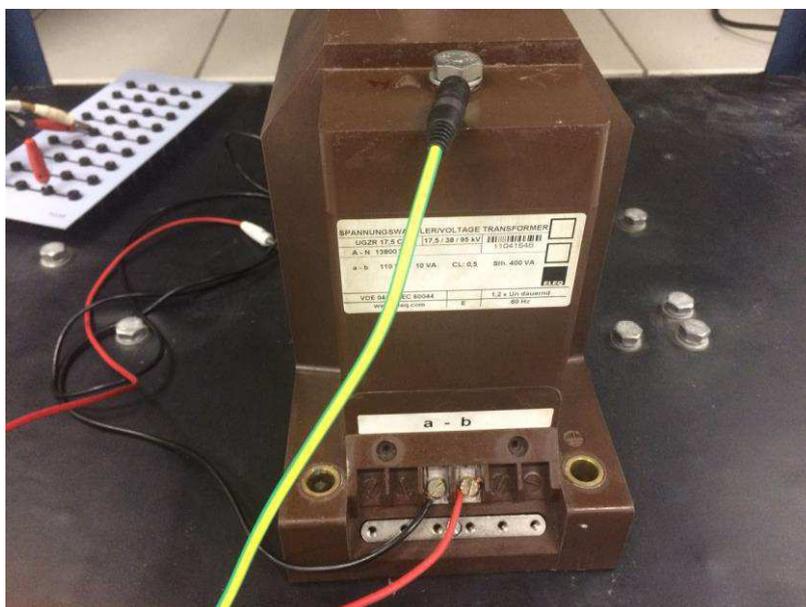
FIGURA 6: MONTAGEM INICIAL



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- TP 13.800/110 V, mostrado na figura 7.

FIGURA 7: TP DE MEDIÇÃO 13.800/110 V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- TP de proteção 13.800/115 V mostrado na figura 8.

FIGURA 8: TP DE PROTEÇÃO 13.800/115 V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Em seguida foram feitos os arranjos experimentais das montagens para alimentação, controle de frequência e medição da tensão dos transformadores em teste. O objetivo deste arranjo é possibilitar, desde a alimentação ao transformador, até a medição de suas tensões. O monitoramento destas grandezas permitirá avaliar o comportamento do transformador, visto da sua relação de transformação com frequências variáveis. Na figura 9, é apresentado o arranjo experimental adotado nesta pesquisa, o computador com sistema operacional compatível com o *software* LxGUI, a fonte 3000Lx, em seguida ligados aos transformadores a serem testados.

FIGURA 9: ARRANJO EXPERIMENTAL DOS EQUIPAMENTOS UTILIZADOS



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Depois de todo o estudo da fonte programável foi possível dar início aos ensaios, onde é aplicada uma tensão nos terminais dos transformadores, em uma faixa de frequência de 60-3000 Hz. Para isso, tem-se que o osciloscópio estar devidamente calibrado, e conectar a fonte geradora de tensão ao microcomputador como é mostrado na figura 6, e daí com a ajuda do *software* LxGUI, são iniciados os ensaios variando a frequência e aplicando a tensão fixa para cada ensaio. Os ensaios foram feitos com 100V, porque esse foi o valor da tensão mais próxima alimentada, que fez o transformador de potencial indutivo chegar a sua tensão nominal ao ser medido. Já o de 300V, foi a tensão máxima que a fonte conseguiu alimentar o transformador de potencial indutivo.

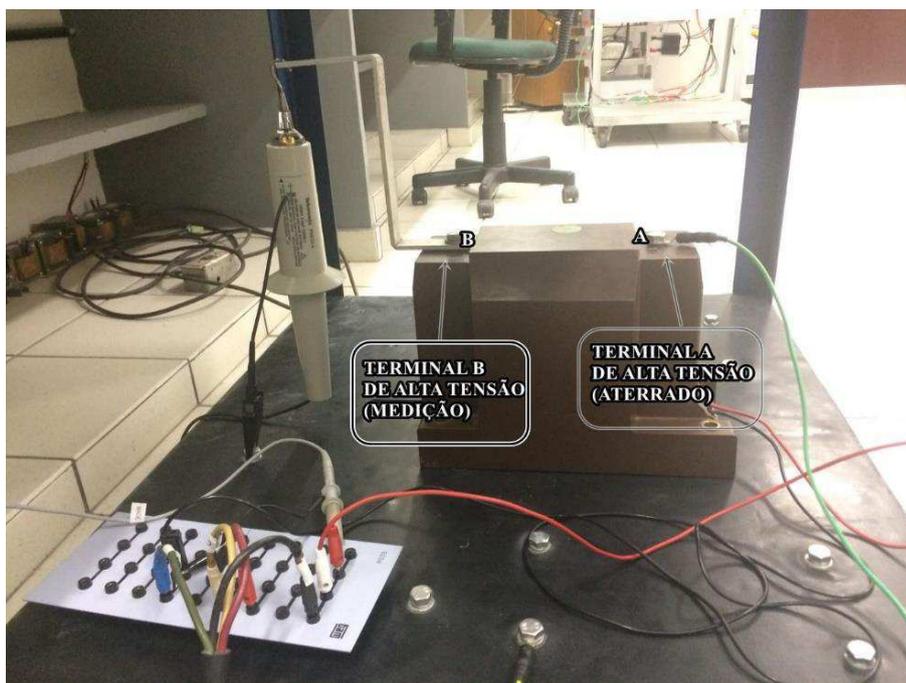
A seguir, é mostrado o decorrer dos passos, realizados nos ensaios.

- Ensaio 1 com alimentação de 100V no lado de baixa no TP de medição

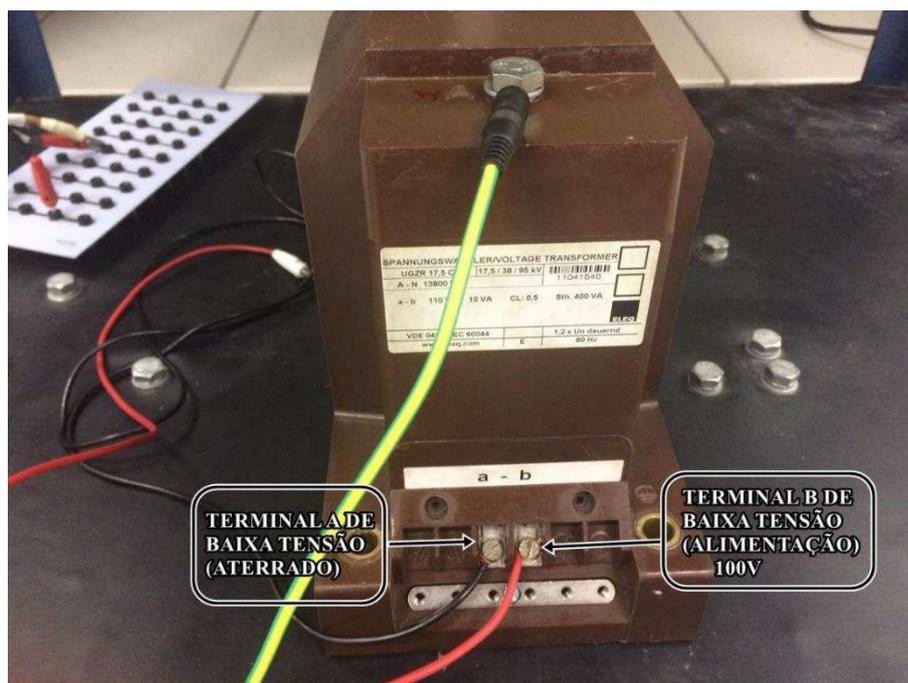
- 1) Conecta-se a fase da fonte geradora no *terminal B* de baixa tensão do transformador;
- 2) Aterra-se o terminal A de alta e de baixa do mesmo;
- 3) Mede-se a tensão no terminal B de alta tensão, com a ponta de prova usada para isso;
- 4) Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 100V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
- 5) Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
- 6) E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 10 (a), (b) e (c).

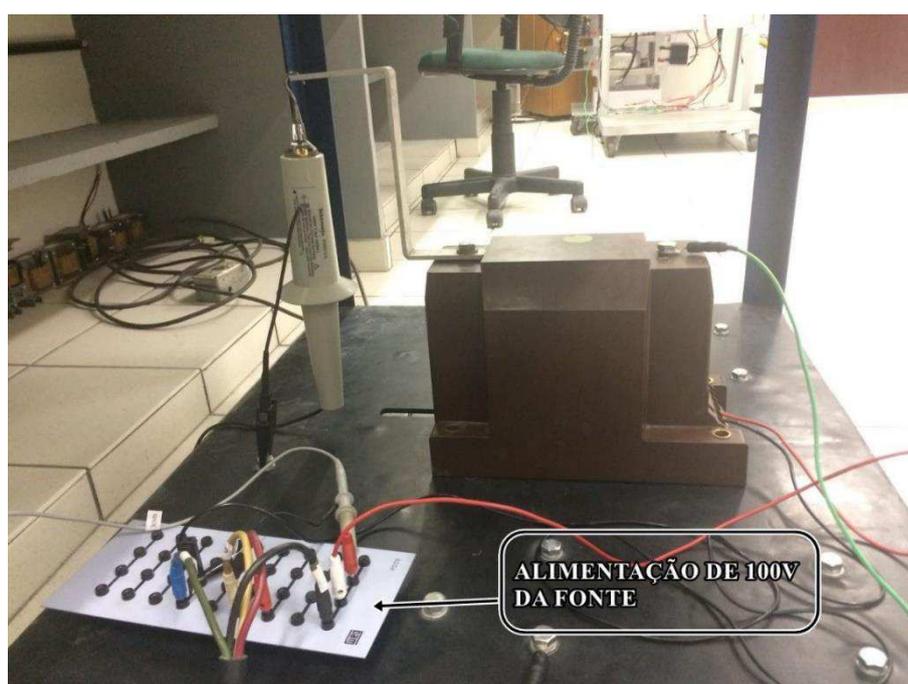
FIGURA 10: MONTAGEM DO ENSAIO 1 COM O TP DE MEDIÇÃO ALIMENTADO COM 100V



(a)



(b)



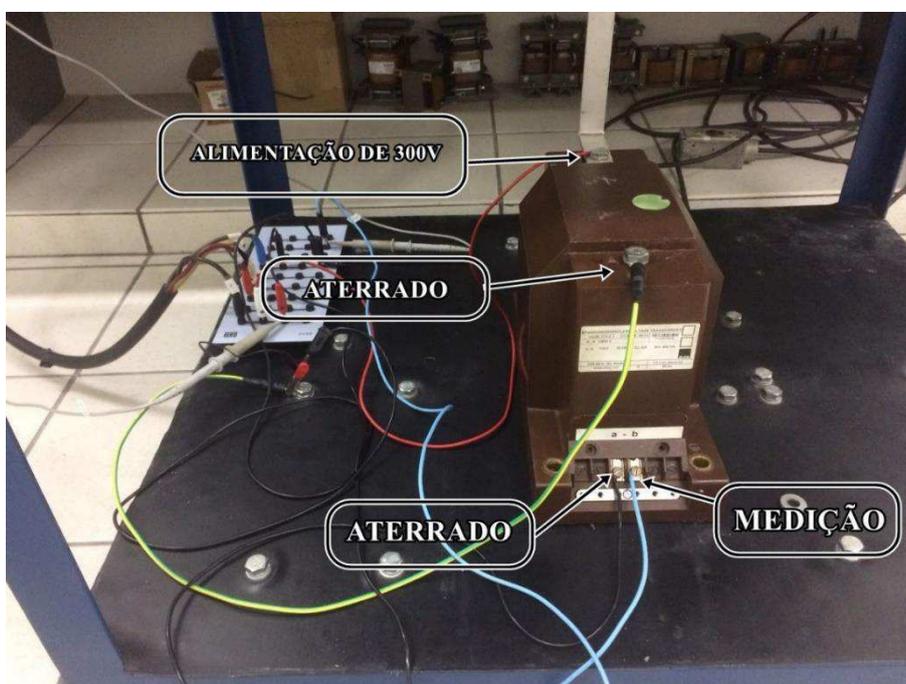
(c)

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ensaio 2 com alimentação de 300V no lado de alta no TP de medição
  - 1) Conecta-se a fase da fonte geradora no terminal B de alta tensão do transformador;
  - 2) Aterra-se o terminal A de alta e de baixa do mesmo;
  - 3) Mede-se a tensão no terminal B de baixa tensão, com a ponta de prova usada para isso;
  - 4) Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 300V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
  - 5) Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000Hz;
  - 6) E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 11.

FIGURA 11: MONTAGEM DO ENSAIO 2 COM O TP DE MEDIÇÃO ALIMENTADO COM 300V

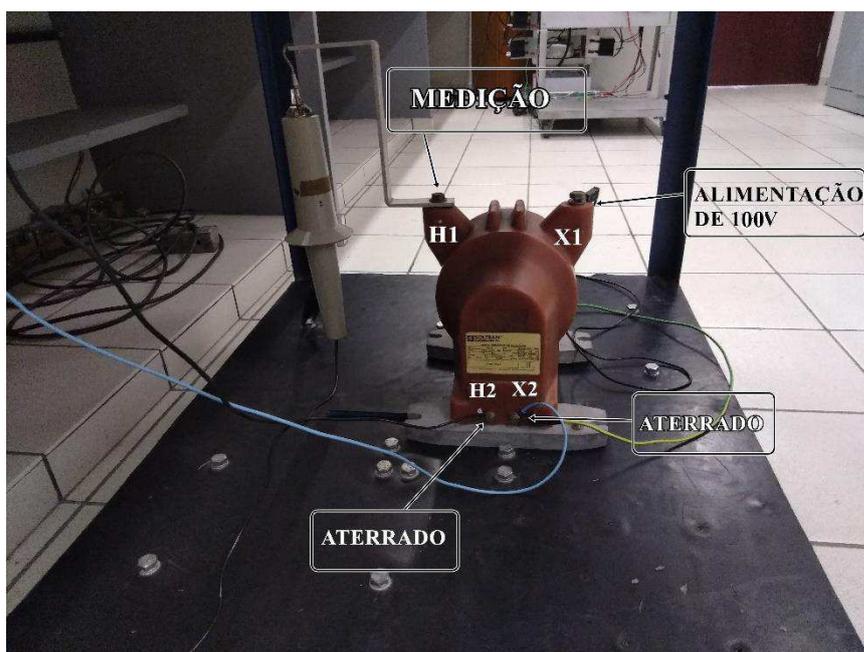


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ensaio 3 com alimentação de 100V no lado de baixa no TP de proteção
  - 1) Conectamos a fase da fonte geradora no terminal X1 do transformador;
  - 2) Aterramos o terminal X2 e H2 do mesmo;
  - 3) Medimos a tensão no terminal *H1*, com a ponta de prova usada para isso;
  - 4) Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 100V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
  - 5) Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
  - 6) E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 12.

FIGURA 12: MONTAGEM DO ENSAIO 3 COM O TP DE PROTEÇÃO ALIMENTADO COM 100V



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Ensaio 4 com alimentação de 300V no lado de alta TP de proteção
- 1) Conecta-se a fase da fonte geradora no *terminal H1* do transformador;
  - 2) Aterra-se o *terminal X2 e H2* do mesmo;
  - 3) Mede-se a tensão no terminal X1, com a ponta de prova usada para isso;
  - 4) Ao abrir o programa *Lx GUI 1.6.0* é aplicado 100V no terminal que está sendo alimentado pela fonte;
  - 5) Em seguida, no mesmo programa, varia-se a frequência de 60 em 60 Hz, até 3000 Hz;
  - 6) E então, são anotados e salvos os dados do osciloscópio, para posteriormente ser usado para construção das curvas a serem estudadas.

A ilustração desse ensaio encontra-se na figura 13.

FIGURA 13: MONTAGEM DO ENSAIO 4 COM O TP DE PROTEÇÃO ALIMENTADO COM 300V

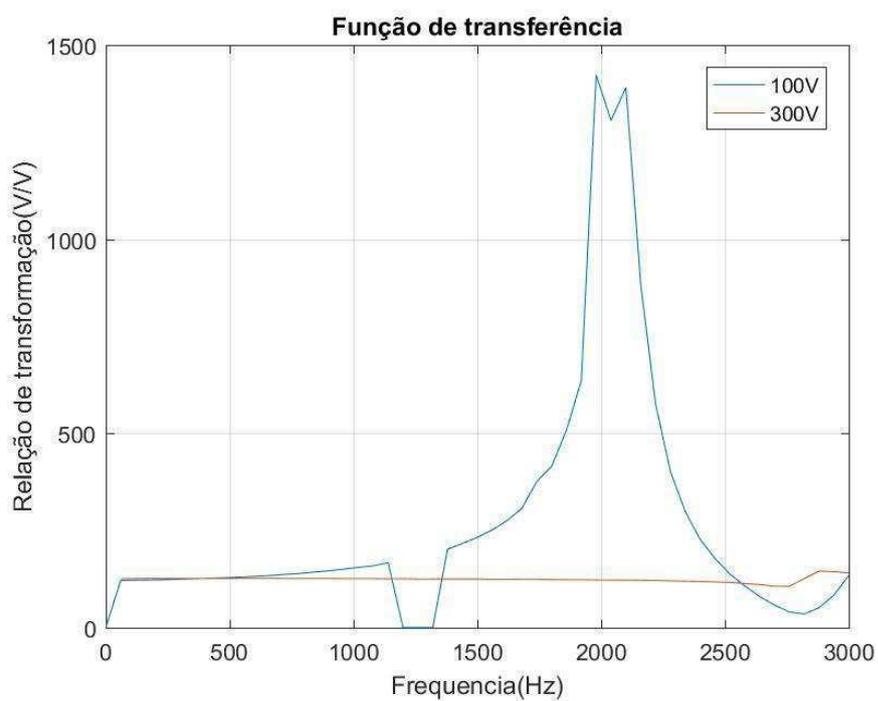


FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Feito os ensaios, são salvos os arquivos *.csv* para ser utilizado no software *MATLAB* e levantar as curvas de relação de transformação a propósito de tirar conclusões.

- Relação de transformação entre o ensaio 1 e 2, no TP de medição mostrado na figura 14;

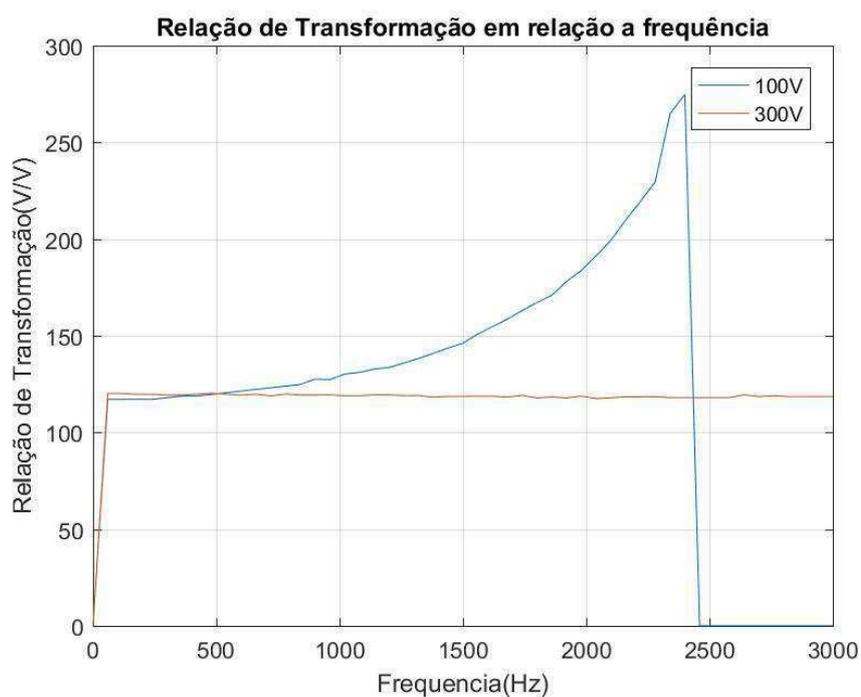
FIGURA 14: RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE O ENSAIO 1 E 2, NO TP DE MEDIÇÃO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

- Relação de transformação entre o ensaio 3 e 4, no TP de proteção mostrado na figura 15;

FIGURA 15: RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO ENTRE O ENSAIO 3 E 4, NO TP DE PROTEÇÃO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

Com a observação dos gráficos, é feita uma análise, e percebe-se que na figura 14, para o ensaio 1, é visto que a partir de 1,4 kHz temos um aumento na relação transformação, portanto no ensaio 2 temos o melhor cenário, visto que os valores da relação de transformação se aproxima mais do esperado, ou seja, de maneira mais linear.

Já na figura 15 para o TP de proteção no ensaio 3, observa-se que a partir de 600Hz, também teve um aumento muito significativo na relação de transformação, logo, a partir dessa frequência a medição começou a ficar comprometida com o aumento exponencial dessa relação, podendo resultar em erros de medição. Já no ensaio 4 a linearidade é mais constante. Portanto, os ensaios mais críticos foram o 1 e 3.

Os ensaios se mostram importantes a fim de conhecer o comportamento de cada transformador.

## 5.2 ENSAIO DE ENVELHECIMENTO ACELERADO DE UM ISOLADOR POLIMÉRICO

Os ensaios acompanhados, foram feitos de acordo com a NBR 15643/2014. Esta Norma é aplicável aos isoladores poliméricos cujo corpo isolante consiste em um ou vários materiais orgânicos. Ela se aplica tanto ao isolador polimérico com núcleo sólido quanto ao isolador polimérico oco. Estes isoladores são previstos para serem utilizados em linhas aéreas e equipamentos, para uso interno ou externo. (NBR 15643/2014).

Neste ensaio, devem ser selecionadas amostras dos materiais da saia e do revestimento para este ensaio (com as marcações incluídas, se aplicável). Mostra-se um exemplo de isolador polimérico na figura 16.

O material do revestimento do isolador deve ser submetido ao ensaio de radiação ultravioleta durante 1000h. Como critério de aceitação, após o ensaio, as marcações no material da saia ou do revestimento devem estar legíveis e as degradações da superfície, como rachaduras e áreas com protuberâncias, não são permitidas.

Como a conclusão do estágio foi antes que viesse a ser explorado as 1000h de observação, e não tivemos uma conclusão para o isolador que ainda está a ser ensaiado, apenas foi apresentado uma breve explicação da norma a ser seguida pra este ensaio.

FIGURA 16: ISOLADOR POLIMÉRICO



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

### 5.3 ENSAIO EM NÉVOA

Também é importante conhecer o comportamento dos isoladores quando submetidos a uma condição de alta umidade, para isso foi utilizada uma câmara de névoa limpa, localizada no salão de alta tensão, com um objetivo de realizar estes ensaios. Mostra-se o tipo do ensaio com névoa na figura 17. O ensaio consiste em um ensaio contínuo, de tempo limitado, em névoa, sob uma tensão de frequência industrial constante. As análises dos dados não foram realizadas pela estagiária, dessa forma, só serão descritos a apresentação da norma utilizada neste ensaio.

- O ensaio tem como finalidade observar trilhamento e/ou erosão no isolador em teste;
- A duração do ensaio deve ser de 1000h;
- São permitidas interrupções semanais do ensaio para fins de inspeção, cada uma delas não ultrapassando 1 h.;
- Os períodos de interrupção não podem ser levados em conta para a duração do ensaio;
- É permitida uma interrupção mais longa, de até 60 h. Deve ser acrescentado um tempo adicional de ensaio de três vezes a duração do período de interrupção;
- O relatório final do ensaio deve incluir todos os detalhes das interrupções;
- As amostras são consideradas aprovadas se quando ensaiadas:
  - a) não ocorrer trilhamento;
  - b) para isoladores compostos, a profundidade da erosão for inferior a 3 mm e não atingir o núcleo,;
  - c) para isoladores de resina, a profundidade da erosão for inferior a 3 mm;
  - d) não houver perfuração nas saias dos isoladores, ou no revestimento do seu material.

FIGURA 17: ENSAIO COM NÉVOA



FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

## 5.4 OUTRAS ATIVIDADES

Foi feito um levantamento do material a ser utilizado para um futuro projeto elétrico do LAT, através do projeto da planta baixa, disponibilizada pelo laboratório, a fim de fazer a contagem e comparar a quantidade dos materiais presentes no projeto e no laboratório. Foi feita a contagem de materiais de todas as salas do térreo e primeiro andar, desde a quantidade para o circuito de comunicação, circuito de iluminação, interruptores e tomadas, condutores e condutos, além dos materiais do quadro de distribuição, para ter-se uma base do orçamento das compras para as instalações futuras do laboratório. Nas figuras a seguir, mostra-se a quantidade dos materiais.

FIGURA 18: MATERIAIS PARA O QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO

<b>QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO</b>	
Caixa de passagem em PVC com tampa, para embutir. Dim.: 40x40x8 cm	13
Caixa para telefonia em chapa de aço para embutir. Dim.: 40x40x10 cm	8
Centro de distribuição para embutir, em chapa de aço galvanizada, capacidade para 16 disjuntores DIN, kit barramento 60 A	0
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 16 A, 250 V	102
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 20 A, 250 V	5
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 25 A, 250 V	1
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 30 A, 250 V	3
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 32 A, 250 V	2
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 40 A, 250 V	4
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 50 A, 250 V	3
Disjuntor termomagnético monopolar DIN 70 A, 250 V	1
Disjuntor diferencial residual (DR) tripolar 40 A / 30 mA, 380/220 V	10
Disjuntor diferencial residual (DR) tripolar 63 A / 30 mA, 380/220 V	13

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 19: QUANTIDADE DE CONDUTOS A SEREM UTILIZADOS

<b>CONDUTOS</b>	
Canuite Ø25 mm	0
Canuite Ø32 mm	0
Caixa de PVC 4x2	252
Caixa de PVC 4x4	0
Caixa de PVC octogonal	0
Caixa de passagem em PVC. Dim.: 10x10 cm	55
Canaleta 50x20 mm com divisória ou 20x12 mm sem divisória Ø3/4	610
Canaleta 110x120 mm com divisória 32x16 mm sem divisória Ø1"	40
Canaleta 50x20 mm com divisória ou 40x16 mm sem divisória Ø1.1/4"	5
Canaleta 110x20 mm sem divisória Ø2"	15

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 20: QUANTIDADE DE CONDUTORES EM METROS A SEREM UTILIZADOS

<b>CONDUTORES</b>		
Cabo de cobre #1,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERMELHO.	230	m
Cabo de cobre #1,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - PRETO.	710	m
Cabo de cobre #1,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - AZUL.	610	m
Cabo de cobre #2,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERMELHO.	990	m
Cabo de cobre #2,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - AZUL.	960	m
Cabo de cobre #2,5 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERDE.	970	m
Cabo de cobre #4 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERMELHO.	13	m
Cabo de cobre #4 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERDE.	5	m
Cabo de cobre #6 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERMELHO.	210	m
Cabo de cobre #6 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - AZUL.	100	m
Cabo de cobre #6 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERDE.	80	m
Cabo de cobre #10 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERMELHO.	200	m
Cabo de cobre #10 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - AZUL.	70	m
Cabo de cobre #10 mm <sup>2</sup> com isolamento em PVC 750V - 70°C - VERDE.	70	m

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 21: QUANTIDADE DE INTERRUPTORES E TOMADAS A SEREM UTILIZADOS

<b>INTERRUPTORES E TOMADAS</b>		
Interruptor simples 1 seção	10	pç
Interruptor simples 2 seções	18	pç
Interruptor simples 3 seções	11	pç
Interruptor three-way 1 seção	2	pç
Interruptor de 1 tomada 2P+T - 10 A / 250 V	83	pç
Interruptor de 2 tomadas 2P+T - 10 A / 250 V	128	pç

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 22: MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS NO CIRCUITO DE DE ILUMINAÇÃO

<b>ILUMINAÇÃO</b>		
Lâmpada LED compacta 16 W, 220 V	22	pç
Lâmpada LED 18 W, 220 V	198	pç
Lâmpada de descarga 150 W, 220 V	23	pç
Lâmpada de vapor de mercúrio 250 W, 220 V	8	pç
Lâmpada LED tubular 12 W, 220 V	8	pç
Luminária para lâmpada LED compacta 16 W	22	pç
Luminária para lâmpada LED 2x18 W	99	pç
Luminária para lâmpada de descarga 150 W	23	pç
Refletor para lâmpada de vapor de mercúrio 250 W	9	pç
Luminária para lâmpada LED tubular 2x12 W	4	pç
Fotocélula	4	pç
Bloco autônomo para iluminação de emergência 2x55 W	1	pç
Sensor de fumaça eletrônico sem fio - 9 V	27	pç
Sensor de presença	15	pç

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

FIGURA 23: MATERIAIS A SEREM UTILIZADOS NO CIRCUITO DE COMUNICAÇÃO

<b>COMUNICAÇÃO E TV</b>		
Câmera de monitoramento	7	pç
Quadro VDI	1	pç
Eletroduto para telefone/rede	191	m
Eletroduto para TV	5	m
Ponto de rede	8	pç
Ponto de telefone	8	pç
Módulo de controle de acesso	1	pç

FONTE: PRÓPRIA AUTORIA

## 6 CONCLUSÃO

O estágio realizado foi extremamente importante por contribuir com o desenvolvimento de caráter prático e teórico da aluna, que por meio da realização de atividades de acompanhamento se envolveu de maneira mais aprofundada com elaboração de ensaios, estudos sobre transformadores, normas de ensaios para isoladores poliméricos e materiais utilizados nas instalações elétricas.

O acompanhamento das pesquisas proporcionou à estagiária a integração dos conhecimentos adquiridos ao longo da graduação da teoria com a prática, além de fornecer um contato com a pós graduação, algo indispensável para o aumento dessa rede de conhecimento motivando ainda mais para se empenhar em outros trabalhos.

As contribuições técnicas do estágio para a aluna foram: experiência com trabalho em equipe; conhecimento mais aprofundado sobre o funcionamento de dos transformadores de potencial indutivo, conhecimento básico de isoladores poliméricos e suas normas de ensaio.

Conclui-se, portanto, que o objetivo da realização do estágio foi alcançado com sucesso, visto que a aluna conseguiu colocar em prática os conhecimentos teóricos, adquirir experiência e aprimorar sua desenvoltura no âmbito profissional, utilizando as disciplinas vistas durante a graduação, como Materiais Elétricos, Instalações Elétricas, Equipamentos Elétricos entre outras.

## REFERÊNCIAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 6855 Transformador de Potencial Indutivo – Especificação, 1992.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15643 Isoladores poliméricos para uso interno e externo com tensão nominal acima de 1000V – Ensaio de projeto – Especificação, 2014.
- CARDOSO J. R.; GOUVÊA M. R. **Apostila de Eletrotécnica Geral – Transformadores**. EPUSP, São Paulo.
- D’AJUZ, Ary et al. **Equipamentos Elétricos: especificação e aplicação em subestações de alta tensão**. Rio de Janeiro: FURNAS, 1985.
- DELGADO, R.S. "**Estudo dos Requisitos Essenciais a Especificação de Transformadores de Potência em Condições Normais de Operação**", Projeto de Graduação, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, Março de 2010.
- FALCONE, A. G.; EDGAR BLUCHER. **Conversão Eletromecânica de Energia**. Vol I. São Paulo, 1985.
- FITZGERALD, A. E.; CHARLES K. J.; STEPHEN D.U. **Máquinas Elétricas: Com Introdução à Eletrônica de Potência** 6ed. Porto Alegre, Artmed, 2006.
- FRAGOSO, C. M. **Transformadores Teoria e Projeto**. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia, João Pessoa, 2010.
- MAMEDE FILHO, João. Manual de Equipamentos Elétricos. 3ed. Rio de Janeiro: LTC, 2005.
- MARTINS, H. J. **Diagnósticos de Transformadores de Potência Através de Metodologias no Domínio da Frequência**. Tese de D. Sc. COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2007.
- MENDES, J.C. **Redução de Falhas em Grandes Transformadores de Alta Tensão**. Tese de D.Sc. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.
- OLIVEIRA, J.C.; COGO, J.R.; ABREU, J.P.G. **Transformadores: Teoria e Ensaio**. 2ª ed. São Paulo, Edgard Blücher, 1984.