



Universidade Federal  
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática  
Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAONI DE ARAÚJO PEGADO

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2017

RAONI DE ARAÚJO PEGADO

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração : Processamento de Energia

Orientador: George Rossany Soares de Lira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba

Fevereiro de 2017

RAONI DE ARAÚJO PEGADO

## **Relatório de Estágio Supervisionado**

Relatório de Estágio Supervisionado submetido à Coordenação de Graduação de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências no Domínio da Engenharia Elétrica.

Área de Concentração : Processamento de Energia

Aprovado em:     /     /

---

**Tarso Vilela Ferreira, D. Sc.**  
Avaliador

---

**George Rossany Soares de Lira, D. Sc.**  
Orientador, UFCG

Campina Grande, Paraíba  
Fevereiro de 2017

*Este trabalho é dedicado às crianças adultas que,  
quando pequenas, sonharam em se tornar cientistas.*

# AGRADECIMENTOS

Venho com estas singelas palavras registrar meu eterno agradecimento às pessoas que fizeram parte, de uma forma ou de outra, de minha caminhada.

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, por está comigo em todos os momentos desta minha longa jornada, sempre me dando forças nas horas em que pensei em desistir. Pelo dom da vida e por todas as oportunidades que Ele me deu.

Aos meus pais, Marculina Maria e José Hiresdelmar, pelo apoio permanente e pelo grande exemplo de força, de luta, de fé, de esperança... De vida! Sem eles eu não teria alcançado mais esta vitória. Se cheguei tão alto foi porque subi nos ombros de gigantes.

Agradeço ao meu orientador, professor George R. S. de Lira pela oportunidade de estágio, orientação, paciência e compreensão.

Agradeço a toda a equipe do Laboratório de Alta Tensão pela transmissão do conhecimento e experiência que me foram passados. Sobretudo a Alfredo I. da S. Neto, Cícero Rômulo C. de A. Filho, Filipe Lucena, Ítalo de O. Medeiros, Lenilson A. Barbosa, Vandilson R. do N. Barbosa pela amizade e apoio, por partilhar dos conhecimentos e por tornar o ambiente do LAT mais gratificante. Agradeço também ao professor Edson Guedes da Costa por toda atenção que me foi dada e por contribuir com a execução do estágio.

Aos professores Karcus M. C. Dantas, Montiê A. Vitorino, Saulo O. D. Luiz e Washington Luiz A. Neves que acreditaram no meu potencial e tanto contribuíram para a minha formação intelectual.

Aos meus amigos Felipe A. P. Barbosa, Marina D. A. de Lacerda, Renato L. da Silva e Suelson L. de C. Batista. Agradeço-lhes pela paciência, pelo incentivo constante, pelo apoio e, acima de tudo, pelo carinho que me ofereceram, provando o real valor de uma verdadeira amizade.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“Estrela que nos guia,  
luz divina,  
o seu amor nos conduz  
Essa luz, é claro que é Jesus.”  
Roberto Carlos.

# RESUMO

Neste relatório são apresentadas as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande. O programa do Estágio contou com uma carga horária de 180 horas, tendo seu início em 13 de dezembro de 2016 e término em 17 de fevereiro de 2017. Durante o estágio foram realizados ensaios em laboratório em equipamentos elétricos de potência, especificamente, em transformadores de potencial indutivo, transformadores de corrente e amostras de postes isolantes de fibra de vidro. Outra atividade desenvolvida no estágio foi o acompanhamento de uma inspeção *in loco* de uma linha de distribuição de alta tensão de um cliente.

**Palavras-chave:** Ensaios, transformadores de potencial indutivo, transformadores de corrente, postes de fibra de vidro, estágio, alta tensão, eletrotécnica.

# LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Sala do Kit de Alta Tensão. . . . .	13
Figura 2 – Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos. . . . .	14
Figura 3 – Sala de Ensaios. . . . .	14
Figura 4 – Fotografia das amostras recebidas para o ensaio de trilhamento. . . . .	16
Figura 5 – (a) Superfície da amostra sendo lixada; (b) Amostra sendo pesada. . . . .	16
Figura 6 – Fotografia da pipeta graduada com a solução contaminante. . . . .	17
Figura 7 – Diagrama de circuito do ensaio - Trilhamento. . . . .	17
Figura 8 – Fotografia do arranjo experimental montado para o ensaio. . . . .	18
Figura 9 – (a) Montagem dos eletrodos; (b) Preparação de uma amostra para o ensaio de trilhamento. . . . .	18
Figura 10 – Foto dos corpos de prova após a realização do ensaio de trilhamento. . . . .	19
Figura 11 – Foto das amostras recebidas pelo Laboratório de Alta Tensão. . . . .	20
Figura 12 – Diagrama de circuito do ensaio - Rigidez. . . . .	21
Figura 13 – Medidor de rigidez dielétrica. . . . .	21
Figura 14 – (a) Transformador ensaiado; (b) Dados da placa. . . . .	23
Figura 15 – Circuito de ensaios para a determinação da polaridade pelo método de corrente contínua. . . . .	23
Figura 16 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial entre secundários ou entre seções. . . . .	24
Figura 17 – (a) Transformador ensaiado; (b) Dados da placa. . . . .	26
Figura 18 – Circuito de ensaio para a determinação da polaridade pelo método de corrente contínua. . . . .	26
Figura 19 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial a seco no primário. . . . .	27
Figura 20 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários. . . . .	28
Figura 21 – Aterramento da linha para início da inspeção. . . . .	29
Figura 22 – Fotografias das ferragens de sustentação e fixação da fase C. . . . .	30
Figura 23 – Fotografias do isolador tipo <i>line post</i> . . . . .	30
Figura 24 – Evidências de desgaste com perda de tentos no cabo da fase C. . . . .	30

# SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>Introdução</b>	<b>11</b>
<b>2</b>	<b>O Laboratório de Alta Tensão</b>	<b>12</b>
2.1	Sala do Kit de Alta Tensão	13
2.2	Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos	13
2.3	Sala de Ensaios	14
<b>3</b>	<b>Atividades Desenvolvidas</b>	<b>15</b>
3.1	Ensaios em amostras de postes isolantes	15
3.1.1	Ensaios de resistência ao trilhamento elétrico e erosão	15
3.1.1.1	Preparação das amostras e do líquido contaminante	15
3.1.1.2	Arranjo e Equipamentos Utilizados	17
3.1.1.3	Procedimentos e etapas de ensaio	18
3.1.1.4	Resultados	19
3.1.2	Ensaios de verificação da rigidez dielétrica	20
3.1.2.1	Preparação das amostras	20
3.1.2.2	Procedimentos e etapas de ensaio	20
3.1.2.3	Resultados	21
3.2	Ensaios em Transformadores de potencial indutivo	22
3.2.1	Ensaio de verificação de marcação dos terminais	23
3.2.1.1	Arranjo e metodologia aplicada	23
3.2.1.2	Resultados	24
3.2.2	Ensaios de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções	24
3.2.2.1	Arranjo e metodologia aplicada	24
3.2.2.2	Resultados	25
3.3	Ensaios em transformadores de corrente	25
3.3.1	Ensaio de verificação de marcação de terminais e polaridade	26
3.3.1.1	Arranjo e metodologia utilizada	26
3.3.1.2	Resultados	27
3.3.2	Ensaio de tensão suportável à frequência industrial a seco no primário	27
3.3.2.1	Arranjo e metodologia aplicada	27
3.3.2.2	Resultados	28
3.3.3	Ensaio de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções	28
3.3.3.1	Arranjo e metodologia aplicada	28
3.3.3.2	Resultados	29

3.4	Visita técnica a uma linha de distribuição de Alta Tensão . . . . .	29
<b>4</b>	<b>Conclusão . . . . .</b>	<b>31</b>
	<b>Referências . . . . .</b>	<b>32</b>
	<b>ANEXO A Resumo dos resultados dos ensaios de resistência ao trilhamento e erosão . . . . .</b>	<b>33</b>

# 1 INTRODUÇÃO

Neste relatório, serão apresentadas as atividades desenvolvidas pelo aluno Raoni de Araújo Pegado durante a realização do estágio supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação do Professor George Rossany Soares de Lira e supervisão do Professor Karcus Marcelus Colaço Dantas.

As atividades realizadas durante o estágio consistiram no acompanhamento de ensaios e de uma inspeção *in loco* em uma linha de distribuição de um cliente.

No LAT foram realizados ensaios de rotina em transformadores de potencial indutivo (TPI) e transformadores de corrente (TC), e ensaios de resistência ao trilhamento e verificação da rigidez dielétrica em amostras de postes isolantes constituídos de fibra de vidro.

A visita técnica consistiu em uma inspeção *in loco* com o objetivo de esclarecer a ocorrência de uma falha.

## 2 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 (LAT, 2017).

O LAT entrou em operação em 1975, devido a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. A partir desses convênios, foi adquirido 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 possui equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares, além de um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes. Sua área total construída é cerca de  $1.050 m^2$  (LAT, 2017).

Os ambientes de laboratório que compõem o LAT são:

- Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos (LMEE);
- Salão de Alta Tensão (SAT);
- Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente (LGIC);
- Sala do Kit de Alta Tensão (SKAT);
- Laboratório de Descargas Parciais (LDP);
- Laboratório de Isolamentos Elétricos (LABIS);
- Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos (LEASE);
- Laboratório de Simulações Multifísicas (LSM);
- Laboratório de Qualidade da Energia (LQE).

Os ambientes utilizados durante a realização do estágio foram a SKAT, o LEASE e a sala de ensaios.

## 2.1 Sala do Kit de Alta Tensão

Neste ambiente, ilustrado na Figura 1, são realizados ensaios com tensão alternada, contínuas e impulsivas até 100 kV. O kit conta com resistores e capacitores de alta tensão, espinterômetros, um transformador de 5 kVA 220 V/100 kV, dentre outros equipamentos e acessórios.

O laboratório é utilizado nas atividades de ensino e pesquisa por alunos de graduação e pós-graduação devido à sua ergonomia, facilitando a realização de diversos ensaios. Durante a graduação, os alunos utilizam este laboratório nas disciplinas Laboratório de Materiais Elétricos, Laboratório de Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão.

Figura 1 – Sala do Kit de Alta Tensão.



Fonte: Autoria própria.

Durante o período de estágio, este laboratório foi utilizado para a realização dos ensaios de tipo e rotina do TPI e TC.

## 2.2 Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos

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 (LAT, 2017). Este ambiente pode ser visto na Figura 2.

Figura 2 – Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos.



Fonte: Autoria própria.

## 2.3 Sala de Ensaio

Esta sala funcionava anteriormente como o Laboratório de instalações Elétricas. Atualmente é utilizada para realização de ensaios que exijam tensões de até  $120\text{ kV}$ . Nela se dispõe de um transformador de  $7,5\text{ kVA}$   $220\text{ V}/120\text{ kV}$  e corrente de até  $100\text{ mA}$ .

Durante o período de estágio, esta sala foi utilizada para a realização de ensaios de trilhamento e rigidez dielétrica em postes isolantes de fibra de vidro. Na Figura 3 é apresentada uma fotografia da sala de ensaios.

Figura 3 – Sala de Ensaio.



Fonte: Autoria própria.

## 3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o desenvolvimento deste capítulo, serão apresentadas as principais atividades realizadas pelo estagiário no LAT-UFCG. Todas as atividades foram acompanhadas por professores, técnicos ou engenheiros do laboratório.

Foram realizados ensaios em amostras de postes isolantes, ensaios de rotina em transformadores de instrumentação e uma visita técnica a uma linha de distribuição de alta tensão.

### 3.1 Ensaios em amostras de postes isolantes

Nesta atividade foram realizados dois ensaios em amostras de postes isolantes constituídas de fibra de vidro reforçada. Tais ensaios foram solicitados por um determinado fabricante de postes.

O primeiro ensaio tinha por finalidade avaliar a resistência do material ao trilhamento e à erosão. O segundo tinha o objetivo de verificar a rigidez dielétrica do material.

#### 3.1.1 Ensaios de resistência ao trilhamento elétrico e erosão

Define-se como trilhamento elétrico a degradação irreversível que consiste na formação de caminhos condutivos que se iniciam e se desenvolvem na superfície do material isolante.

Os ensaios de trilhamento foram realizados conforme as prescrições da norma NBR 10296 (2014). Em suma, os ensaios consistiam em introduzir uma solução contaminante nas amostras do material isolante e aplicar tensão inicial de 1 kV, acrescentando-a de 250 V a cada hora subsequente até o limite de 1,75 kV.

O estagiário foi responsável por monitorar os ensaios, ajustar os valores da tensão de acordo com o intervalo especificado e preparar a solução contaminante para ser aplicada nos corpos de prova.

##### 3.1.1.1 Preparação das amostras e do líquido contaminante

Foram recebidos 5 corpos de prova com dimensão 50 x 120 mm e espessuras variáveis, conforme ilustrado na Figura 4.

Figura 4 – Fotografia das amostras recebidas para o ensaio de trilhamento.



Fonte: Autoria própria.

Seguindo os critérios da norma NBR 10296 (2014), as superfícies dos corpos de prova foram levemente lixadas e em seguida, os corpos foram pesados com o objetivo de avaliar a perda de massa ao término do ensaio. Estes procedimentos são ilustrados na Figura 5.

Figura 5 – (a) Superfície da amostra sendo lixada; (b) Amostra sendo pesada.



(a)

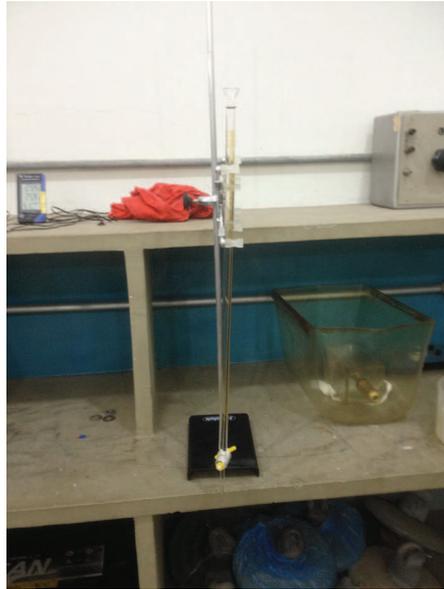


(b)

Fonte: Autoria própria.

Para a elaboração da solução contaminante utilizou-se uma mistura de água da rede de abastecimento público com um pouco de sal, de forma que sua resistividade seguisse as prescrições da norma, isto é, a solução deve ter uma resistividade  $(3,95 \pm 0,50) \Omega.m$  a  $(23 \pm 1) ^\circ C$ . Esta solução foi colocada em uma pipeta graduada para que fosse aplicada por gotejamento sobre os corpos de prova. Na Figura 6 é ilustrada a pipeta com a solução contaminante.

Figura 6 – Fotografia da pipeta graduada com a solução contaminante.



Fonte: Autoria própria.

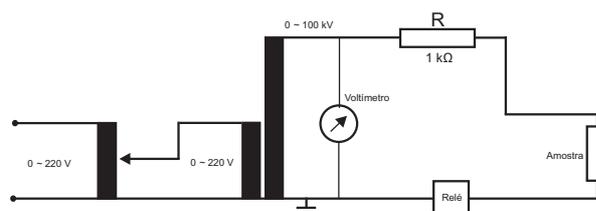
### 3.1.1.2 Arranjo e Equipamentos Utilizados

O arranjo utilizado para os ensaios de trilhamento era composto por:

- Transformador regulador de 0 – 220 V;
- Transformador de alta tensão 0 – 100 kV, potência aparente 5 kVA;
- Resistor de 1 k $\Omega$  e 200 W;
- Osciloscópio;
- Um relé de sobrecorrente ajustado em 60 mA;

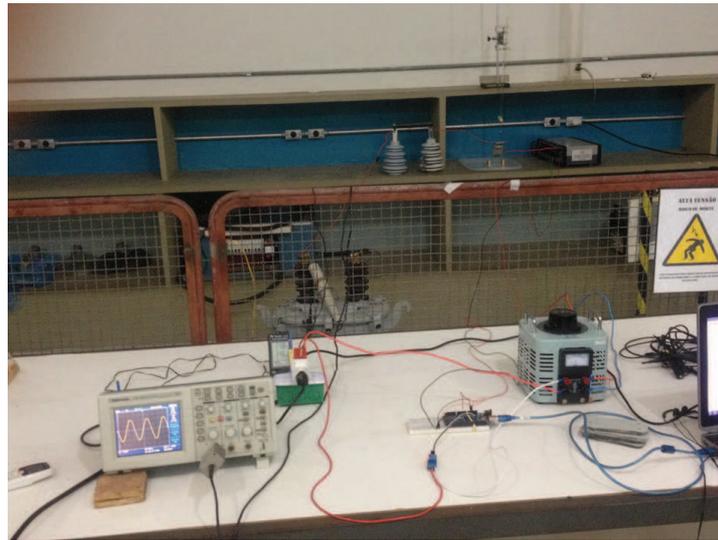
Na Figura 7 é apresentado o esquema do arranjo experimental utilizado no ensaio e na Figura 8 vê-se uma fotografia do arranjo experimental montado na sala de ensaios do LAT.

Figura 7 – Diagrama de circuito do ensaio - Trilhamento.



Fonte: Autoria própria.

Figura 8 – Fotografia do arranjo experimental montado para o ensaio.

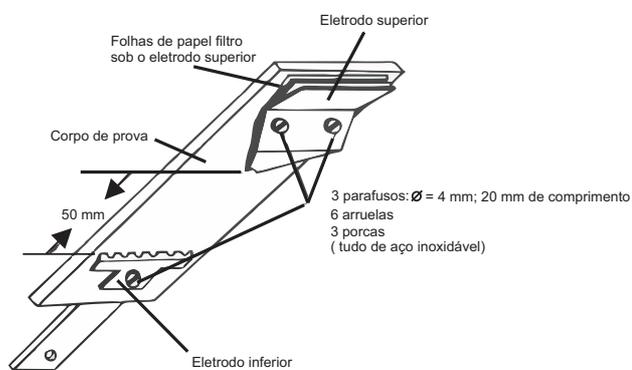


Fonte: Autoria própria.

### 3.1.1.3 Procedimentos e etapas de ensaio

O corpo de prova foi montado com a superfície plana de ensaio voltada para baixo, inclinada em um ângulo de 45° e com os eletrodos separados de 50 mm. Entre o eletrodo superior e o corpo de prova, foram utilizados oito filtros de papel para atuar como reservatório da solução contaminante. Por fim, foi aplicada a solução contaminante por forma de gotejamento gravitacional. Na Figura 9a é ilustrado o esquema de montagem do corpo de prova e na Figura 9b vê-se uma fotografia do arranjo experimental montado.

Figura 9 – (a) Montagem dos eletrodos; (b) Preparação de uma amostra para o ensaio de trilhamento.



(a)



(b)

Fonte: Autoria própria.

Após o início do escoamento do contaminante sobre o corpo de prova, o próximo passo foi aplicar a tensão no circuito utilizando o método 2 - Critério A da norma NBR 10296 (2014) (Método da tensão em degraus).

O método de aplicação da tensão em degraus consiste em aplicar uma tensão inicial múltipla de 250 V por uma hora e aumentá-la de 250 V a cada hora subsequente. O término do ensaio é alcançado quando o valor de corrente no circuito de alta tensão, através do corpo de prova excede 60 mA. Deste modo, o intervalo de tensão escolhido foi de 1 kV a 1,75 kV.

#### 3.1.1.4 Resultados

Para que o material seja aprovado todos os corpos de prova devem suportar o nível de tensão de trilhamento de 1,75 kV sem que ocorra qualquer uma das condições abaixo:

- a) Interrupção do circuito de algum corpo de prova, por atuação do relé.
- b) Erosão do material de algum corpo de prova;
- c) Acendimento de chama no material de algum dos corpos de prova.

Durante a realização dos ensaios, não se observou nenhuma das condições anteriores. Deste modo, todas as amostras foram aprovadas no ensaio de trilhamento e erosão. Os detalhes do ensaios são apresentados no anexo A.

Na Figura 10 é ilustrado os corpos de prova após a realização do ensaio. Nestas condições, o material é classificado na Classe 2 A 1,75 kV da norma NBR 10296.

Figura 10 – Foto dos corpos de prova após a realização do ensaio de trilhamento.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.2 Ensaios de verificação da rigidez dielétrica

Os ensaios de verificação da rigidez dielétrica do material isolante foram realizados conforme as prescrições da norma ASTM D149 (2013).

Coube ao estagiário além de realizar o ensaio, medir a espessura das amostras após a ocorrência da ruptura elétrica.

#### 3.1.2.1 Preparação das amostras

Foram recebidos 6 corpos de prova com dimensão 200 x 200 mm conforme ilustrado na Figura 11. As espessuras das amostras são apresentadas na Tabela 1.

Antes da realização dos testes, as amostras foram condicionadas durante 24 horas em ambiente com temperatura de 24°C e umidade relativa de 50%.

Figura 11 – Foto das amostras recebidas pelo Laboratório de Alta Tensão.



Fonte: Autoria própria.

#### 3.1.2.2 Procedimentos e etapas de ensaio

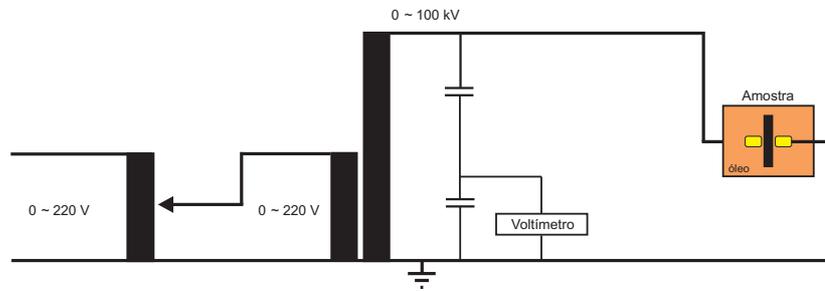
Na Figura 12 é apresentado o esquema do arranjo experimental utilizado nas medições de rigidez dielétrica das amostras. Para este ensaio, utilizou-se um medidor de rigidez dielétrica de 100 kV ilustrado na Figura 13.

A seguir são descritas as etapas do ensaio:

- a) A amostra é colocada na cuba de acrílico imersa em óleo, entre eletrodos;
- b) A tensão é elevada a uma taxa de 3 kV/s, conforme determinado na Norma ASTM D149, para que a ruptura ocorra entre 10 a 20 segundos;

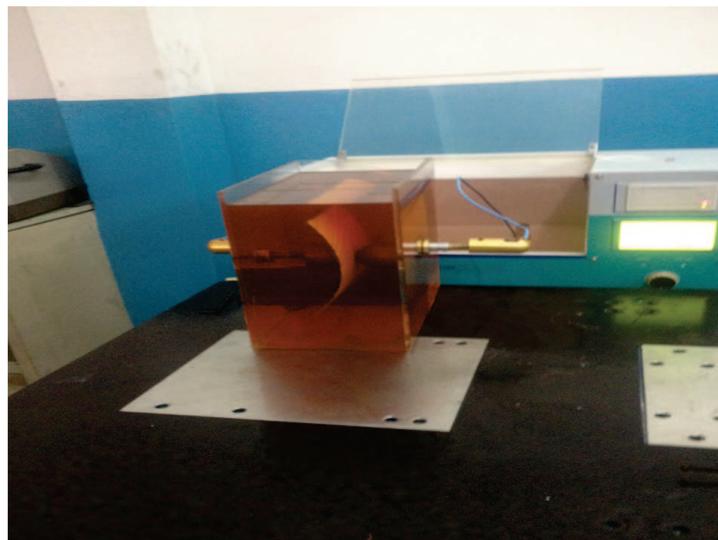
- c) A ruptura ocorre e um pequeno relatório é impresso pelo equipamento.
- d) A espessura de cada amostra foi medida exatamente onde ocorreu a ruptura elétrica.

Figura 12 – Diagrama de circuito do ensaio - Rigidez.



Fonte: Autoria própria.

Figura 13 – Medidor de rigidez dielétrica.



Fonte: Autoria própria.

### 3.1.2.3 Resultados

A Tabela 1 apresenta os registros do equipamento em relação à ocorrência de descarga disruptiva nas amostras submetidas à tensão de frequência industrial.

De acordo com a norma ASTM D149 (2013), as amostras são consideradas aprovadas se atingirem uma rigidez dielétrica mínima de 20 kV/mm. Deste modo, diante os resultados apresentados na Tabela 1, as amostras foram reprovadas no ensaio de rigidez dielétrica.

Tabela 1 – Tensão de ruptura das amostras.

Amostra	Espessura	Tensão medida	Rigidez dielétrica
1	4,25 mm	58,9 kV	13,9 kV/mm
2	4,80 mm	58,0 kV	12,1 kV/mm
3	4,60 mm	59,6 kV	13,0 kV/mm
4	4,70 mm	59,9 kV	12,7 kV/mm
5	4,00 mm	44,3 kV	11,1 kV/mm
6	4,50 mm	55,6 kV	12,4 kV/mm

Fonte : Autoria própria.

## 3.2 Ensaios em Transformadores de potencial indutivo

Os transformadores de potencial são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuir tensão de isolamento de acordo com a da rede à qual estão ligados.

Na sua forma mais simples, os transformadores de potencial indutivo 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. Dessa forma, os instrumentos de proteção e medição são dimensionados em tamanhos reduzidos com bobinas e demais componentes de baixa isolação (FILHO, 2000).

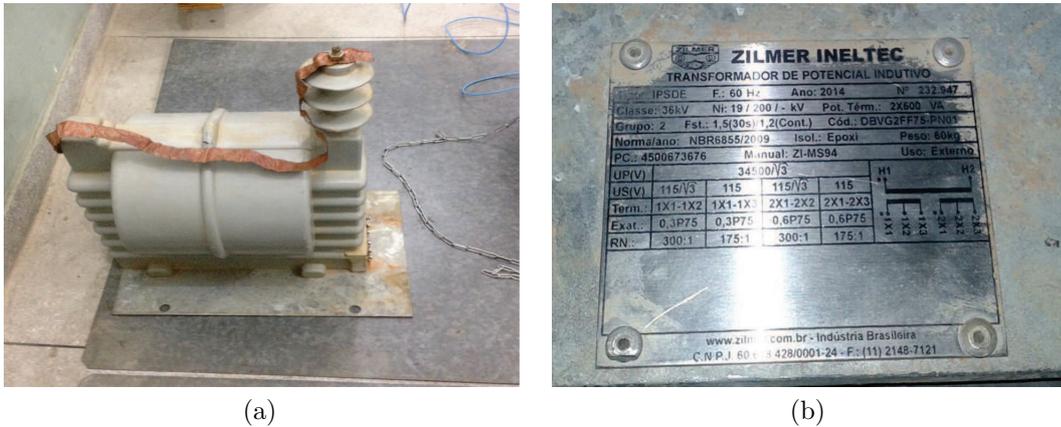
Os transformadores de potencial são equipamentos utilizados para suprir aparelhos que apresentam elevada impedância, tais como voltímetros, relés de tensão, bobinas de tensão de medidores de energia, etc. São empregados indistintamente nos sistemas de proteção e medição de energia elétrica.

Para o transformador em questão, foram os ensaios de rotina conforme as prescrições da norma NBR 6855 (2009). Dentre eles, coube ao estagiário acompanhar apenas os ensaios de:

- Verificação de marcação dos terminais;
- Tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções.

Na Figura 14 é ilustrado o transformador submetido aos ensaios e seus respectivos dados de placa.

Figura 14 – (a) Transformador ensaiado; (b) Dados da placa.



(a)

(b)

Fonte: Autoria própria.

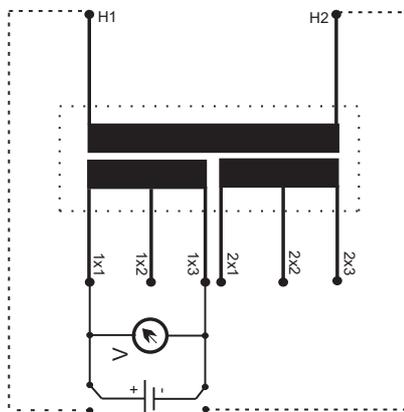
### 3.2.1 Ensaio de verificação de marcação dos terminais

O objetivo deste ensaio foi verificar a correta polaridade e identificação dos terminais. Para isto, o método aplicado foi o método da corrente contínua.

#### 3.2.1.1 Arranjo e metodologia aplicada

Na Figura 15 é ilustrado o arranjo experimental utilizado para a verificação de marcação dos terminais do transformador.

Figura 15 – Circuito de ensaios para a determinação da polaridade pelo método de corrente contínua.



Fonte: Autoria própria.

O método da corrente contínua consiste em ligar um voltímetro nos terminais de um dos enrolamentos secundários. Em seguida, nestes mesmos terminais, aplica-se uma

tensão de 2 V fornecida por uma fonte de corrente contínua e observa-se o sentido da deflexão momentânea do ponteiro do voltímetro. Transfere-se a fonte de corrente contínua para os terminais do enrolamento primário e, ao fechar o circuito, observa-se novamente o sentido da deflexão momentânea do ponteiro do voltímetro.

### 3.2.1.2 Resultados

Pode-se constatar que o sentido da deflexão do ponteiro do voltímetro foi o mesmo nas duas etapas. Portanto, concluiu-se que a polaridade dos terminais foi subtrativa, isto é, os terminais possuíam a mesma polaridade. O mesmo teste foi aplicado ao segundo terminal secundário, obtendo o mesmo resultado.

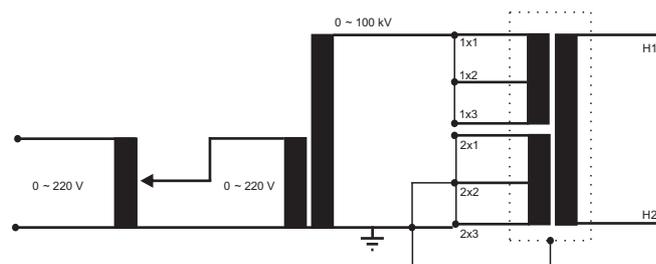
## 3.2.2 Ensaios de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções

Este ensaio tem como finalidade verificar a suportabilidade dielétrica do isolamento entre enrolamentos secundários e entre secundários e massa, e entre seções de enrolamentos. Entende-se por seções as bobinas secundárias independentes utilizadas para religações série ou paralelo.

### 3.2.2.1 Arranjo e metodologia aplicada

Por se tratar de um transformador usado, a tensão de ensaio aplicada foi 80% da tensão especificada (3 kV) (NBR 6855, 2009), isto é, 2,4 kV durante um minuto em cada um dos enrolamentos secundários separadamente. A frequência utilizada foi 60 Hz. A massa, o núcleo e os demais enrolamentos foram curto-circuitados e aterrados. O circuito de ensaio é apresentado na Figura 16.

Figura 16 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial entre secundários ou entre seções.



Fonte: Autoria própria.

### 3.2.2.2 Resultados

Durante um minuto não foram observadas descargas disruptivas ou evidências de falha no isolamento, como por exemplo, aumento da corrente de fuga causada por um curto-circuito entre os enrolamentos, ruído causado pelo efeito corona, arcos elétricos, etc. Portanto o transformador foi aprovado no ensaio.

## 3.3 Ensaio em transformadores de corrente

Os transformadores de corrente são equipamentos que permitem aos instrumentos de medição e proteção funcionarem adequadamente sem que seja necessário possuírem correntes nominais de acordo com a corrente de carga do circuito ao qual estão ligados. Na sua forma mais simples eles possuem um primário, geralmente de poucas espiras, e um secundário, no qual a corrente nominal transformada é, na maioria dos casos, igual a 5 A. Dessa forma, os instrumentos de medição e proteção são dimensionados em tamanhos reduzidos com as bobinas de corrente constituídas de fios de pouca quantidade de cobre (FILHO, 2000).

Os transformadores de corrente são utilizados para suprir aparelhos que apresentam baixa resistência elétrica, tais como amperímetros, relés, medidores de energia, de potência, etc.

A norma NBR6856 da ABNT estipula o valor 5 A para a corrente secundária nominal. Porém, há TC de corrente secundária nominal igual a 1 A, com a vantagem de apresentar menos perdas no enrolamento secundário.

Da forma análoga ao TP, os ensaios realizados no transformador de corrente foram ensaios de rotina, seguindo agora as prescrições da norma NBR 6856 (2015). Dentre os ensaios especificados pela norma, coube ao estagiário acompanhar os ensaios de:

- Verificação de marcação dos terminais e polaridade;
- Ensaio de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos primários;
- Ensaio de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções.

Na Figura 17 é ilustrado o transformador submetido aos ensaios e seus respectivos dados de placa.

Figura 17 – (a) Transformador ensaiado; (b) Dados da placa.



Fonte: Autoria própria.

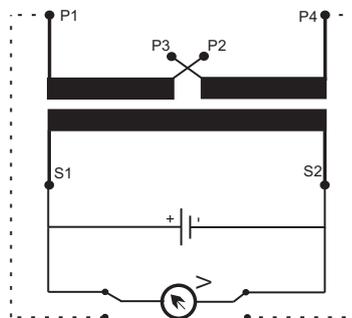
### 3.3.1 Ensaio de verificação de marcação de terminais e polaridade

De forma análoga ao ensaio aplicado no transformador de potencial indutivo, este ensaio tem a finalidade de verificar a correta polaridade e identificação dos terminais. O método aqui aplicado também foi o método da corrente contínua, apresentando apenas pequenas diferenças no arranjo utilizado para as medições.

#### 3.3.1.1 Arranjo e metodologia utilizada

Na Figura 18 é ilustrado o arranjo experimental utilizado para a verificação de marcação dos terminais do transformador.

Figura 18 – Circuito de ensaio para a determinação da polaridade pelo método de corrente contínua.



Fonte: Autoria própria.

Conectou-se o voltímetro nos terminais do enrolamento secundário do TC e em seguida aplicou-se uma tensão de 2 V fornecida pela fonte de corrente contínua nestes

mesmos terminais. Ao fechar o circuito, observou-se o sentido da deflexão momentânea do ponteiro do voltímetro.

Diferentemente do ensaio aplicado ao TP, desligou-se a fonte e transferiu-se agora o voltímetro para os terminais do enrolamento primário, onde novamente ao fechar o circuito e ligar a fonte, observou o sentido da deflexão momentânea do ponteiro do voltímetro.

### 3.3.1.2 Resultados

De forma análoga ao TP, o sentido da deflexão do ponteiro foi o mesmo para às duas etapas, sendo a polaridade do TC subtrativa.

## 3.3.2 Ensaio de tensão suportável à frequência industrial a seco no primário

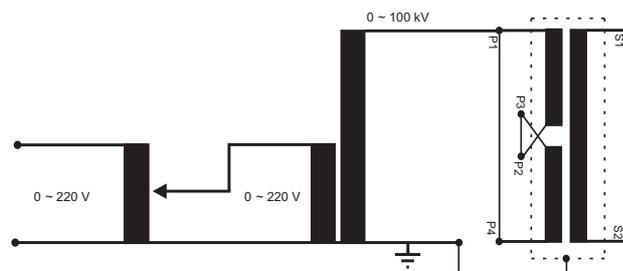
Este ensaio tem o objetivo de verificar a suportabilidade dielétrica do isolamento entre enrolamentos primários, secundário e massa.

### 3.3.2.1 Arranjo e metodologia aplicada

A tensão de ensaio para o transformador de corrente em questão foi de 70 kV. Este valor é especificado pela norma NBR 6856 (2015) de acordo com a tensão máxima  $U_m$  do transformador ( $U_m = 36$  kV). O ensaio foi realizado em 60 Hz e teve duração de 60 segundos.

Como o trata-se de um TC usado, a tensão de ensaio utilizada foi 80% do valor de tensão especificado, isto é, 56 kV. Esta tensão foi aplicada entre os terminais do enrolamento primário curto-circuitados e a terra. O terminal secundário foi curto-circuitado e conectado à terra juntamente com a massa. O circuito de ensaio é apresentado na Figura 19.

Figura 19 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial a seco no primário.



Fonte: Autoria própria.

### 3.3.2.2 Resultados

Durante 60 segundos não foram evidenciadas descargas disruptivas e ou qualquer outra evidência de falha, como por exemplo, aumento na corrente de fuga causada por um curto-circuito entre os enrolamentos, efeito corona, etc. Portanto o transformador foi aprovado no ensaio.

### 3.3.3 Ensaio de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções

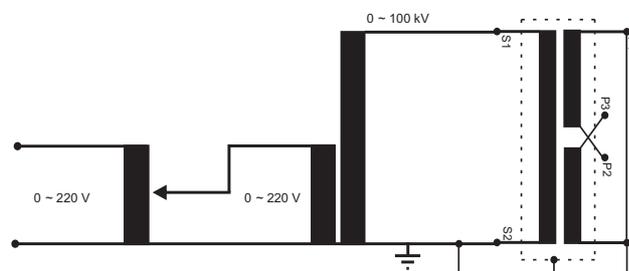
Assim como o ensaio aplicado ao TP, este ensaio tem o objetivo de verificar a suportabilidade dielétrica do isolamento entre enrolamento secundário, entre secundário e massa e entre seções dos enrolamentos primários. No transformador de corrente em questão entende-se por seções dos enrolamentos primários as bobinas independentes P1-P2 e P3-P4, utilizadas para ligações em série, série-paralelo ou paralelo.

Neste ensaio a tensão de ensaio especificada é de 3 kV e deve ser aplicada durante um minuto. Como o transformador sob ensaio é usado, a norma estabelece que seja aplicada 80% da tensão de ensaio, isto é, 2,4 kV.

#### 3.3.3.1 Arranjo e metodologia aplicada

A tensão de ensaio foi aplicada nos terminais do enrolamento secundário, com a massa e os demais terminais das seções dos enrolamentos primários curto-circuitados e aterrados. A Figura 20 ilustra o circuito utilizado no ensaio.

Figura 20 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários.



Fonte: Autoria própria.

### 3.3.3.2 Resultados

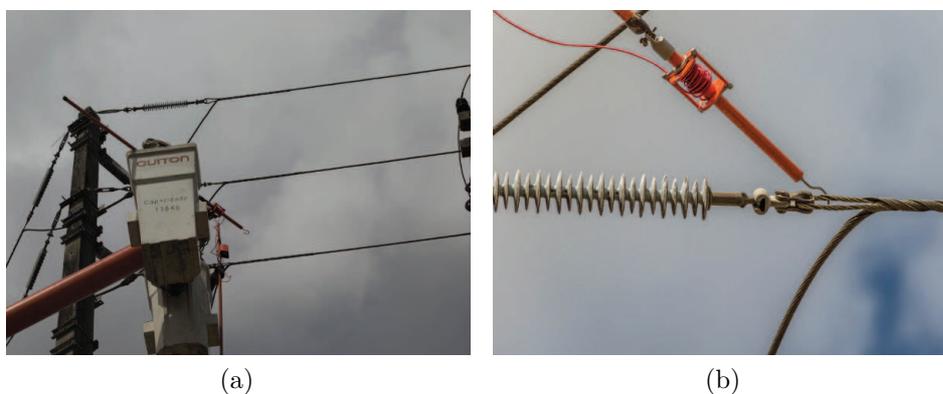
Durante 1 minuto não foram observadas descargas disruptivas ou evidências de falha no isolamento, a exemplo, curto-circuito entre os enrolamentos, efeito corona, etc.. Deste modo, o transformador também foi aprovado neste ensaio.

## 3.4 Visita técnica a uma linha de distribuição de Alta Tensão

A visita técnica foi uma das três frentes de trabalho que objetivaram esclarecer a sequência dos fatos e o mecanismo de falha ocorrida em uma linha de distribuição de um cliente.

Em reunião com o cliente, a equipe do LAT-UFCG solicitou a disponibilização de uma equipe e infraestrutura para permitir uma inspeção *in loco* nos locais de falhas. Nas fotografias da Figura 21 são ilustradas a equipe fornecida pelo cliente realizando o aterramento na linha para dar início a inspeção.

Figura 21 – Aterramento da linha para início da inspeção.

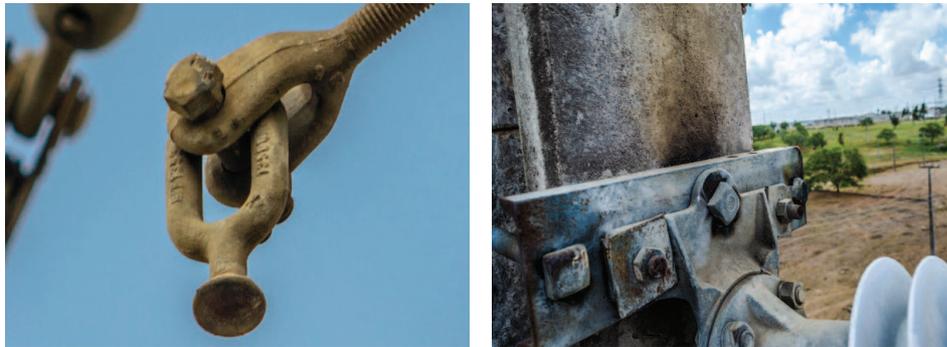


Fonte: Autoria própria.

Foram realizadas inspeções nos cabos, isoladores poliméricos, isoladores *line post*, poste, ferragens de sustentação e de fixação. Foram constatadas evidências da ocorrência de descargas disruptivas com arcos elétricos. As fotografias apresentadas nas Figuras 22, 23 e 24 evidenciam as constatações. Nas imediações da linha existe um alto índice de poluição proveniente de um córrego contaminado. Este fato pode ter favorecido à ocorrência das descargas disruptivas.

Para o estagiário, a visita técnica contribuiu para sua formação profissional permitindo-o vivenciar e acompanhar a realização de trabalhos em campo. Foi adquirida uma experiência de trabalho em equipe a partir da interação com a equipe de profissionais designada pelo cliente.

Figura 22 – Fotografias das ferragens de sustentação e fixação da fase C.



(a) Evidência de descarga na ferragem de sustentação da fase C. (b) Evidência de descarga na ferragem de fixação no poste.

Fonte: Autoria própria.

Figura 23 – Fotografias do isolador tipo *line post*.



(a) Evidência de poluição no *line post*. (b) Evidência de raiz de arco no *line post*.

Fonte: Autoria própria.

Figura 24 – Evidências de desgaste com perda de tentos no cabo da fase C.



Fonte: Autoria própria.

## 4 CONCLUSÃO

O estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão contribuiu bastante para o desenvolvimento do caráter prático do aluno, a partir da realização de atividades de acompanhamento e participação de ensaios técnicos, conseqüentemente a elaboração de laudos técnicos tornando-o capaz de coordenar ensaios do gênero ao longo da vida profissional.

As atividades realizadas durante o estágio permitiram o aluno aplicar os conhecimentos adquiridos nas disciplinas de Proteção de Sistemas Elétricos, Técnicas de Medição e Laboratório de Materiais Elétricos. Todavia, os conteúdos referentes aos transformadores de instrumentação ministrados na disciplina Técnicas de Medição foram pouco abrangentes, sendo apresentados apenas de forma instrutiva.

Uma disciplina que fez falta na formação acadêmica do estagiário foi a disciplina Equipamentos Elétricos juntamente com o seu laboratório. Tal disciplina seria de grande valia no momento da realização dos ensaios nos transformadores de instrumentação.

As contribuições técnicas do estágio para o aluno foram: experiência de trabalho em equipe tanto com os companheiros de estágio, quanto com a equipe de profissionais do laboratório; aprendizado dos procedimentos técnicos adotados para ensaios de rotina em transformadores de instrumentação; aprendizado dos procedimentos técnicos adotados para realização de ensaios em postes isolantes de poliéster reforçado com fibra de vidro; elaboração de laudos técnicos.

Por fim, as experiências adquiridas durante a realização do estágio serão de grande valia para a formação profissional do aluno.

## REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6855*: Transformadores de potencial indutivos. Rio de Janeiro, 2009. 77 p. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 24.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 10296*: Avaliação da resistência ao trilhamento e erosão sob condições ambientais severas. Rio de Janeiro, 2014. 21 p. Citado 3 vezes nas páginas 15, 16 e 19.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. *NBR 6856*: Transformador de corrente — especificação e ensaios. Rio de Janeiro, 2015. 123 p. Citado 2 vezes nas páginas 25 e 27.
- ASTM INTERNATIONAL. *D149*: Standard test method for dielectric breakdown voltage and dielectric strength of solid electrical insulating materials at commercial power frequencies<sup>1</sup>. West Conshohocken, PA. United States, 2013. 13 p. Citado 2 vezes nas páginas 20 e 21.
- FILHO, J. M. *Manual de equipamentos elétricos*. [S.l.]: Grupo Gen-LTC, 2000. Citado 2 vezes nas páginas 22 e 25.
- LAT. *Laboratório de Alta Tensão*. 2017. Disponível em: <<http://lat.dee.ufcg.edu.br/sobre.html>>. Acesso em: 10 fev 2017. Citado 2 vezes nas páginas 12 e 13.

ANEXO A – RESUMO DOS RESULTADOS  
DOS ENSAIOS DE RESISTÊNCIA AO  
TRILHAMENTO E EROSÃO

Tabela A.1 Resumo dos resultados dos ensaios de resistência ao trilhamento e erosão.

<b>Ensaio 1: Amostra 1</b>		<b>Manhã de 30/01</b>	<b>Anotações:</b>
Horário de início:	15h10min		
Horário de término:	19h11min		
Tensão inicial (kV):	1,04		
Temperatura (C):	24,5		
Peso inicial (g):	68,3126		
Peso final (g):	67,8244		
Expassura (mm):	6,8		

<b>Ensaio 2: Amostra 2</b>		<b>Manhã de 01/02</b>	<b>Anotações:</b>
Horário de início:	8h03min		
Horário de término:	12h05min		
Tensão inicial (kV):	1,03		
Temperatura (C):	23,9		
Peso inicial (g):	68,1029		
Peso final (g):	68,0974		
Expassura (mm):	6,83		

<b>Ensaio 3: Amostra 3</b>		<b>Tarde de 01/02</b>	<b>Anotações:</b>
Horário de início:	13h11min		
Horário de término:	17h10min		
Tensão inicial (kV):	1		
Temperatura (C):	23,1		
Peso inicial (g):	67,8308		
Peso final (g):	68,2889		
Expassura (mm):	6,7		

<b>Ensaio 4: Amostra 4</b>		<b>Manhã de 02/02</b>	<b>Anotações:</b>
Horário de início:	8h03min		
Horário de término:	12h05min		
Tensão inicial:	1		
Temperatura (C):	24,2		
Peso inicial (g):	63,6579		
Peso final (g):	63,6531		
Expassura (mm):	6,77		

<b>Ensaio 5: Amostra 5</b>		<b>Tarde de 02/02</b>	<b>Anotações:</b>
Horário de início:	12h35min		
Horário de término:	16h37min		
Tensão inicial:	1,02		
Temperatura (C):	24,8		
Peso inicial (g):	69,9206		
Peso final (g):	69,9198		
Expassura (mm):	6,7		