



Universidade Federal
de Campina Grande

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

Paulo Vinicius Bezerra de Oliveira

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Brasil
24 de fevereiro de 2017

Paulo Vinicius Bezerra de Oliveira

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: Prof. Dr. George Rossany Soares de Lira

Campina Grande, Brasil

24 de fevereiro de 2017

Paulo Vinicius Bezerra de Oliveira

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: / /

Professor Avaliador
Avaliador

Prof. Dr. George Rossany Soares de Lira
Orientador, UFCG

Campina Grande, Brasil
24 de fevereiro de 2017

*Este trabalho é dedicado à Deus, à minha família e
meus amigos que sempre estiveram presentes.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por todas as coisas boas que Ele tem me proporcionado, pela minha saúde e pelas oportunidades que Ele me deu.

Agradeço meus pais José Bezerra de Oliveira e Josilene Maria Alves de Oliveira, por serem os melhores pais que um filho pode ter. Por sempre terem se esforçado para me proporcionar tudo do melhor, educação, saúde, amor, e estiveram juntos comigo em minha trajetória de estudos, em cada batalha que enfrentei e em todas as minhas conquistas, a todo momento, com muita fé, torcida e carinho. Hoje devo tudo que sou e que conquistei à eles.

Agradeço aos meus irmãos Pedro Vaniery Bezerra de Oliveira e José Victor Bezerra de Oliveira, pela amizade, companherismo e pela força que sempre me deram para continuar caminhando.

Agradeço minha melhor amiga Géssica Cruz Galvão por sempre estar presente, mesmo nos momentos difíceis e por sempre ter me ajudado com sua amizade e carinho.

Agradeço todos os professores, coordenador e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande.

Agradeço aos amigos que fiz em Campina Grande, em especial João André Soares de Oliveira, Paulo Mendel Fernandes, Francisco Demontiez Dias Júnior, Guilherme Dantas de Freitas e Bruna Larissa Lima Crisostomo pelo companheirismo demonstrado no tempo em que moramos juntos em Campina Grande.

A todos os meus amigos pelos momentos de descontração, especialmente nos momentos mais difíceis.

*"Se fosse fácil
achar o caminho
das pedras,
tantas pedras
no caminho
não seria ruim"*
(Humberto Gessinger)

RESUMO

Neste relatório são descritas as atividades do graduando Paulo Vinicius Bezerra de Oliveira desenvolvidas no estágio supervisionado creditado em 180 horas sem vínculo financeiro, junto ao Laboratório de Alta Tensão da Universidade Federal de Campina Grande. Serão abordadas atividades relativas a ensaios de trilhamento elétrico e erosão e de rigidez dielétrica em amostras de postes isolantes, além de ensaios envolvendo Transformadores de Corrente e Transformadores de Potencial Indutivo.

Palavras-chave: Ensaios, Isoladores, Rigidez dielétrica, Trilhamento elétrico, Transformador de Corrente, Transformador de Potencial, Estágio, Alta tensão.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

| | |
|--|----|
| Figura 1 – Salão de Alta Tensão. | 15 |
| Figura 2 – Ilustração das fases do processo de trilhamento elétrico. | 19 |
| Figura 3 – Transformador de corrente e modo de ligação. | 20 |
| Figura 4 – Ilustração mostrando o tipo construtivo de um TC da classe A (segundo a ABNT). | 22 |
| Figura 5 – Ilustração mostrando o tipo construtivo de um TC da classe B (segundo a ABNT). | 22 |
| Figura 6 – TC tipo barra; constituição básica e aspecto externo. | 23 |
| Figura 7 – TC tipo enrolado. | 23 |
| Figura 8 – TC tipo janela; constituição básica e aspecto externo. | 24 |
| Figura 9 – TC de núcleo dividido e utilização em instrumentos de medição. | 24 |
| Figura 10 – TC tipo bucha. | 25 |
| Figura 11 – Transformador de potencial e modo de ligação ao sistema elétrico. | 26 |
| Figura 12 – Circuito básico de um TPC. | 27 |
| Figura 13 – Diagrama do Circuito Elétrico. | 28 |
| Figura 14 – Conjunto corpo de prova, filtros e eletrodos. | 29 |
| Figura 15 – Foto das amostras recebidas pelo Laboratório de Alta Tensão. | 31 |
| Figura 16 – Diagrama do circuito de ensaio. | 31 |
| Figura 17 – Motor utilizado para filtrar o óleo isolante. | 32 |
| Figura 18 – Estrutura preenchida com o óleo isolante e medidor de rigidez dielétrica utilizado para a aplicação da tensão. | 33 |
| Figura 19 – Perfil da tensão no Teste de Tempo Curto. | 33 |
| Figura 20 – TC utilizado nos ensaios. | 35 |
| Figura 21 – Placa do TC utilizado nos ensaios. | 35 |
| Figura 22 – Determinação da polaridade pelo método de corrente contínua. | 36 |
| Figura 23 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial entre secundários ou entre seções do primário. | 37 |
| Figura 24 – TPI utilizado nos ensaios. | 38 |
| Figura 25 – Placa do TPI utilizado nos ensaios. | 38 |
| Figura 26 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial entre secundários ou entre seções do primário. | 39 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1 – Dados do ensaio de trilhamento elétrico e erosão. | 30 |
| Tabela 2 – Valores de Rigidez Dielétrica para cada amostra. | 34 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|-----|---------------------------------------|
| LAT | Laboratório de Alta Tensão |
| SEP | Sistema Elétrico de Potência |
| TC | Transformador de Corrente |
| TP | Transformador de Potencial |
| TPI | Transformador de Potencial Indutivo |
| TPC | Transformador de Potencial Capacitivo |

LISTA DE SÍMBOLOS

| | |
|----------|----------------------|
| Hz | Hertz |
| ω | Ômega |
| μ | Micro |
| kV | quilovolt |
| f | frequência |
| T | período |
| π | número irracional pi |
| Ω | Ômega maiúsculo/Ohm |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|-----------|
| 1 | INTRODUÇÃO | 14 |
| 1.1 | Objetivos | 14 |
| 1.2 | Laboratório de Alta Tensão | 14 |
| 1.2.1 | Salão de Alta Tensão (SAT) | 15 |
| 1.2.2 | Sala do Laboratório de Materiais Elétricos | 15 |
| 1.2.3 | Sala do Gerador de Impulso | 16 |
| 1.2.4 | Sala do <i>kit</i> de Alta Tensão | 16 |
| 1.3 | Estrutura do Trabalho | 16 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 18 |
| 2.1 | Trilhamento Elétrico | 18 |
| 2.2 | Transformador de Corrente (TC) e Transformador de Potencial (TP) | 20 |
| 2.2.1 | Transformador de Corrente (TC) | 20 |
| 2.2.1.1 | Classificação dos Transformadores de Corrente | 21 |
| 2.2.1.2 | Tipos Construtivos | 22 |
| 2.2.1.2.1 | TC tipo barra | 23 |
| 2.2.1.2.2 | TC do tipo enrolado | 23 |
| 2.2.1.2.3 | TC do tipo janela | 23 |
| 2.2.1.2.4 | TC tipo núcleo dividido | 24 |
| 2.2.1.2.5 | TC tipo bucha | 24 |
| 2.2.2 | Transformador de Potencial (TP) | 24 |
| 2.2.2.1 | Transformador de Potencial Indutivo (TPI) | 25 |
| 2.2.2.2 | Transformador de Potencial Capacitivo (TPC) | 26 |
| 3 | ATIVIDADES DESENVOLVIDAS | 28 |
| 3.1 | Ensaio de Trilhamento Elétrico e Erosão | 28 |
| 3.1.1 | Requisitos | 28 |
| 3.1.2 | Condições de Ensaio | 29 |
| 3.1.3 | Aplicação da Tensão | 29 |
| 3.1.4 | Resultados | 30 |
| 3.2 | Ensaio de Rigidez Dielétrica em Amostras de Postes Isolantes | 30 |
| 3.2.1 | Equipamento Ensaiado | 30 |
| 3.2.2 | Normas | 31 |
| 3.2.3 | Preparação da Amostra | 31 |
| 3.2.4 | Arranjo e Equipamentos Utilizados | 31 |

| | | |
|------------|--|-----------|
| 3.2.5 | Procedimentos e Etapas do Ensaio | 32 |
| 3.2.6 | Resultados | 34 |
| 3.3 | Ensaio em Transformador de Corrente e Transformador de Potencial Indutivo | 34 |
| 3.3.1 | Normas | 34 |
| 3.3.2 | Ensaio no Transformador de Corrente (TC) | 34 |
| 3.3.3 | Ensaio de rotina | 35 |
| 3.3.3.0.1 | Verificação de marcação dos terminais e polaridade | 36 |
| 3.3.3.0.2 | Ensaio de tensão suportável à frequência industrial a seco no primário | 36 |
| 3.3.3.0.3 | Ensaio de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e seções do primário | 37 |
| 3.3.4 | Ensaio no Transformador de Potencial Indutivo (TPI) | 38 |
| 3.3.4.1 | Ensaio de tensão suportável a frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções | 39 |
| 4 | CONCLUSÃO | 40 |
| | REFERÊNCIAS | 41 |

1 INTRODUÇÃO

Neste relatório serão apresentadas as atividades desenvolvidas por Paulo Vinicius Bezerra de Oliveira durante seu Estágio Curricular Supervisionado, o qual é requisito para obtenção do Grau de Bacharel em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O Estágio contou com uma carga horária de 184 horas que foram preenchidas em 40 horas semanais, tendo seu início 19 de Dezembro de 2016 e término em 20 de Fevereiro de 2017. O estágio foi realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG.

1.1 Objetivos

O objetivo geral deste relatório é descrever as atividades realizadas pelo estagiário, afim de, juntamente com sua defesa oral pública, comprovar a realização do mesmo junto à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da UFCG, tornando o estagiário parcialmente apto à colação de grau. Como objetivos específicos, têm-se:

- Realização de ensaios de Trilhamento Elétrico e Erosão;
- Realização de ensaios de Rigidez Dielétrica;
- Realização de ensaios de em Transformadores de Corrente e Transformadores de Potencial;
- Elaboração de laudos.

1.2 Laboratório de Alta Tensão

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) entrou em operação em 1975, devido a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. O LAT possui equipamentos sofisticados e um corpo técnico formado por docentes pesquisadores, engenheiros e técnicos qualificados e experientes. Tal combinação permite o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase de eletrotécnica. O LAT é reconhecido como um dos Laboratórios mais bem estruturados do Brasil, em especial, com relação às Universidades e Instituições de Pesquisa.

Hoje, o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório: salão de Alta Tensão, sala do Laboratório de Materiais Elétricos, sala do Gerador de Impulso de Corrente e sala do Kit de Alta Tensão.

1.2.1 Salão de Alta Tensão (SAT)

O Salão de Alta Tensão é o principal ambiente utilizado para realização de ensaios do LAT. Nele são realizados os ensaios que requerem níveis de tensão mais elevados, o que é possível devido à disponibilidade de equipamentos como o gerador de impulsos de tensão de até 750 kV e uma fonte de tensão em cascata de até 600 kV AC. O laboratório ainda possui um transformador menor, o qual pode ser utilizado quando não se necessita de tensões tão elevadas, podendo fornecer até 120 kV. A cabine de medição existente também no salão de alta tensão é equipada com uma mesa de controle, capaz de operar o nível de tensão de saída do transformador em uso e realizar as medições necessárias

Além disso, também se encontra neste ambiente, uma câmara de névoa utilizada para ensaios com simulação de umidade controlada ou névoa salina. Na Figura 1 é mostrada uma fotografia da visão geral do Salão de Alta Tensão.

Figura 1 – Salão de Alta Tensão.



Fonte: Próprio autor.

1.2.2 Sala do Laboratório de Materiais Elétricos

O Laboratório de Materiais Elétricos é mais utilizado para fins didáticos como ocorre com a disciplina Laboratório de Materiais Elétricos. O laboratório tem como finalidade básica, a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Materiais Elétricos, componente curricular obrigatória do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. Para realização dos experimentos, o laboratório possui um kit didático para Alta Tensão (100 kV), uma Ponte Schering e capacitores padrão. Dentre os principais experimentos desenvolvidos na disciplina Laboratório de Materiais Elétricos, tem-se:

- Medição de capacitância, permissividade relativa e perdas em dielétricos;
- Determinação da rigidez dielétrica de óleos isolantes;
- Estudo da distribuição de tensão em cadeia de isoladores;
- Curva de magnetização e ciclos de histerese para núcleos de transformadores;
- Introdução ao estudo de descargas em gases;
- Caracterização elétrica de varistores.

1.2.3 Sala do Gerador de Impulso

O Gerador de Impulso de Corrente (GIC) é um equipamento capaz de gerar correntes impulsivas de elevadas magnitudes (até 100 kA) em um intervalo de tempo da ordem de microssegundos. Seu funcionamento consiste no carregamento suave de capacitores de alta tensão em paralelo e descarregamento instantâneo, gerando uma corrente impulsiva. O objeto de teste, ao qual se deseja aplicar a alta corrente, é colocado na malha de descarregamento, de forma que toda a corrente de descarregamento dos capacitores passe pelo objeto de teste.

O mesmo tem sido utilizado para diversos objetivos, tais como: ensaios de equipamentos e pesquisas envolvendo aterramentos e para-raios.

1.2.4 Sala do *kit* de Alta Tensão

O *kit* de Alta Tensão é composto por: um transformador de 5 kVA com tensão de saída de até 100 kV, capacitores de alta tensão, resistores de alta tensão, espinterômetros, câmaras para descarga em gases e à vácuo, entre outros.

Possui uma mesa de comando pela qual se pode controlar o nível de tensão aplicada aos objetos de teste utilizando-se de comandos manuais, e também possui instrumentos de medição, voltímetros de pico para tensões alternada, contínua e impulsiva. Os medidores estão associados aos divisores de tensão, capacitivo, resistivo e capacitivo, respectivamente.

O *kit* de alta tensão é utilizado nas disciplinas de Materiais Elétricos, Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão, além de ser empregado em atividades de pesquisa.

1.3 Estrutura do Trabalho

Este relatório está dividido em quatro capítulos. O Capítulo 1 compreende a presente introdução, em que são apresentados os objetivos deste relatório e a estrutura do Laboratório de Alta Tensão, local de realização do estágio. Uma breve fundamentação

teórica sobre trilhamento elétrico e transformadores para instrumentos será apresentada no Capítulo 2. No Capítulo 3 será feita a descrição das atividades desenvolvidas. Por fim, no Capítulo 4 estão apresentadas as conclusões e considerações finais.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Trilhamento Elétrico

O trilhamento elétrico é um mecanismo de degradação superficial dos materiais dielétricos que produz trilhas visíveis, como resultado da ação de descargas elétricas na superfície do material isolante. O trilhamento elétrico pode causar a perda localizada e gradual de massa que ocorre pela ação de descargas superficiais. O alto valor de resistividade superficial dos polímeros isolantes normalmente empregados em redes protegidas limita a formação de correntes superficiais responsáveis pelo fenômeno de trilhamento. Em alguns casos, estes materiais quando em operação resistem menos que o esperado (FERREIRA, 2007).

A resistência superficial de isolantes é diretamente afetada por fatores como, contaminação via poluentes industriais, automotivos, residenciais ou mesmo do ecossistema. A combinação de umidade com contaminantes como, maresia, fumaça, poeira e outros depósitos, pode formar um eletrólito e criar condições para que correntes fluam entre pontos de diferentes potenciais elétricos na superfície do material. A circulação contínua dessas correntes na superfície da isolação pode causar evaporação não-uniforme, formando as chamadas bandas secas e úmidas. Conseqüentemente, o campo elétrico torna-se não-homogêneo, podendo provocar a ocorrência de descargas superficiais que carbonizam o material e iniciam a formação de trilhas elétricas (SILVA, 2014).

A carbonização acentua a não-homogeneidade do campo elétrico próximo à superfície, o que contribui para o surgimento mais rápido de trilhamento elétrico. A ocorrência desse fenômeno sobre uma área limitada do polímero pode preceder a erosão e falha do isolamento.

Em (MALIK; AL-ARAINY; QURESHI, 1998) é proposto todo o processo de umidificação, evaporação e posterior degradação da superfície do material, até a formação de trilhas condutoras. O processo se dá da seguinte forma:

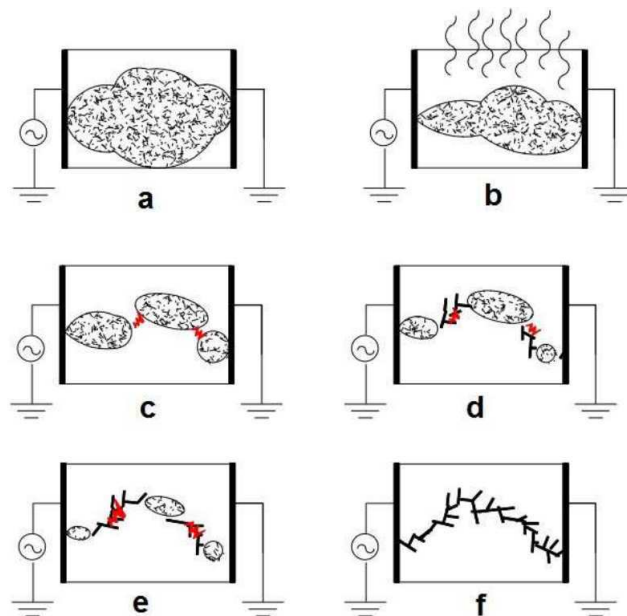
- Contaminação e umedecimento da superfície do material, formando uma camada condutora com baixa resistividade superficial;
- Passagem de uma corrente superficial através da solução úmida contaminante, com alta dissipação de calor, causando perda de massa do fluido contaminante, favorecendo a formação de bandas secas;
- Interrupção da corrente superficial devido à presença de bandas secas, causando um

aumento no campo elétrico local entre as bandas úmidas e iniciando as descargas superficiais;

- Devido as descargas superficiais a superfície do isolante alcança elevadas temperaturas, causando a formação de resíduos à base de carbono levando o material a uma gradual degradação;
- Propagação e aumento do resíduo carbonáceo condutor;
- Ruptura completa da superfície do material isolante, fazendo que o material se comporte como um condutor de eletricidade.

O mesmo processo é ilustrado na Figura 2.

Figura 2 – Ilustração das fases do processo de trilhamento elétrico.



Fonte: (MALIK; AL-ARAINY; QURESHI, 1998).

A crescente utilização dos materiais poliméricos como isolante elétrico gerou a necessidade de se criar um modo de avaliar a resistência destes materiais, sobretudo em atmosferas poluídas, e que possam classificá-los quanto à sua resistência às descargas superficiais.

Alguns dos métodos para se realizar os ensaios de trilhamento elétrico são listados a seguir:

- Norma IEC 60112;
- Norma IEC 60587;
- Norma ASTM D 2132 – 98;

- Norma IEC 62217 - RODA DE TRILHAMENTO;
- Norma NBR 10296.

Neste trabalho, o ensaio de trilhamento elétrico foi realizado em conformidade com a norma NBR 10296.

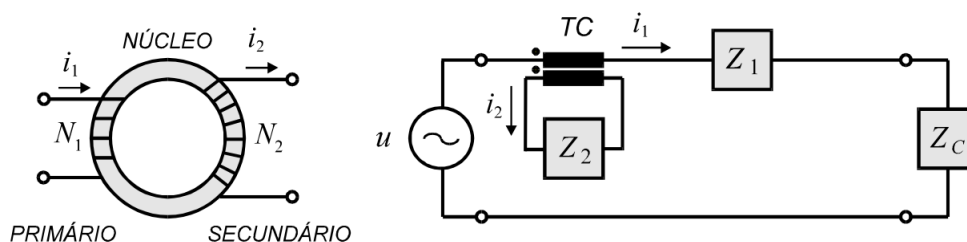
2.2 Transformador de Corrente (TC) e Transformador de Potencial (TP)

Os medidores, os relés de proteção e os dispositivos de controle do tipo de corrente alternada funcionam alimentados por tensões e correntes supridas por transformadores de potencial e de corrente, respectivamente. Estes transformadores proporcionam isolamento contra a alta-tensão do circuito primário. Eles são chamados de transformadores de instrumentos e suprem os medidores, relés de proteção e os dispositivos de controle com tensões e correntes proporcionais às que circulam pelos circuitos de potência, suficientemente reduzidas, de forma que estes instrumentos podem ser fabricados relativamente pequenos, do ponto de vista de isolamento. Os medidores, relés de proteção e outros dispositivos de controle ficam instalados no circuito secundário dos transformadores de instrumentos (FRONTIN et al., 2013).

2.2.1 Transformador de Corrente (TC)

O TC é um transformador para instrumento cujo enrolamento primário é ligado em série em um circuito elétrico e reproduz, no seu circuito secundário, uma corrente proporcional à do seu circuito primário, com sua posição fasorial substancialmente mantida (FRONTIN et al., 2013). A forma construtiva e o modo de ligação de um TC são mostrados na Figura 3.

Figura 3 – Transformador de corrente e modo de ligação.



Fonte: (GUERRA, 2011).

Normalmente, o núcleo tem forma de toróide, constituído por uma fita de liga ferro-silício (3,2% Si) de grãos orientados helicoidalmente enrolada. Em torno do núcleo

há dois enrolamentos. O enrolamento primário de N_1 espiras é ligado em série ao sistema de potência (GUERRA, 2011). O enrolamento secundário de N_2 espiras alimenta um instrumento (medidor ou relé de proteção). Para o núcleo magnético, pode-se escrever:

$$\frac{I_1}{I_2} = \frac{N_2}{N_1} \quad (2.1)$$

No geral o TC destina-se a reduzir corrente; assim, $N_1 \leq N_2$. A norma NBR 6856 (ABNT, 2009) estipula o valor 5 A para a corrente secundária nominal. Porém, há TCs de corrente secundária nominal igual a 1 A, com a vantagem de apresentar menos perdas na fiação do lado secundário.

2.2.1.1 Classificação dos Transformadores de Corrente

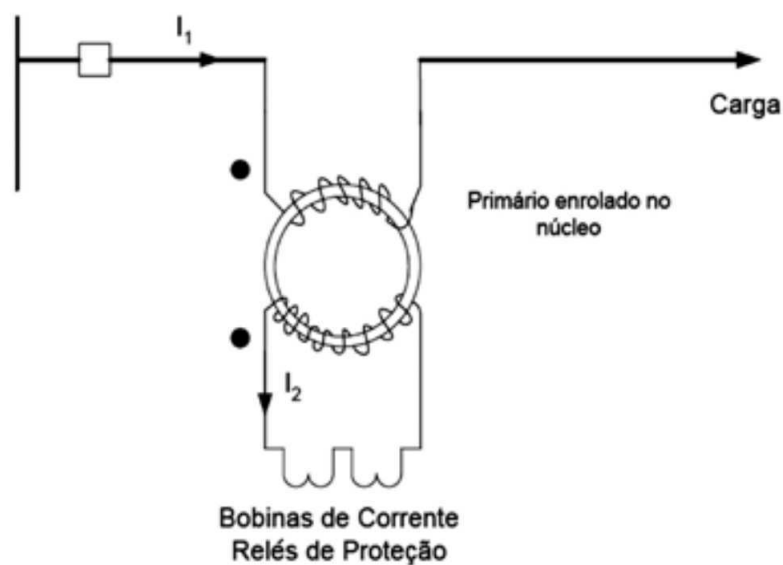
Os transformadores de corrente são classificados em dois tipos (FRONTIN et al., 2013):

- Transformadores de Corrente para Serviço de Medição;
- Transformadores de Corrente para Serviço de Proteção.

Segundo a NBR 6856 (ABNT, 2009), os transformadores de corrente para serviço de proteção, quanto a sua impedância interna, se subdividem em duas classes:

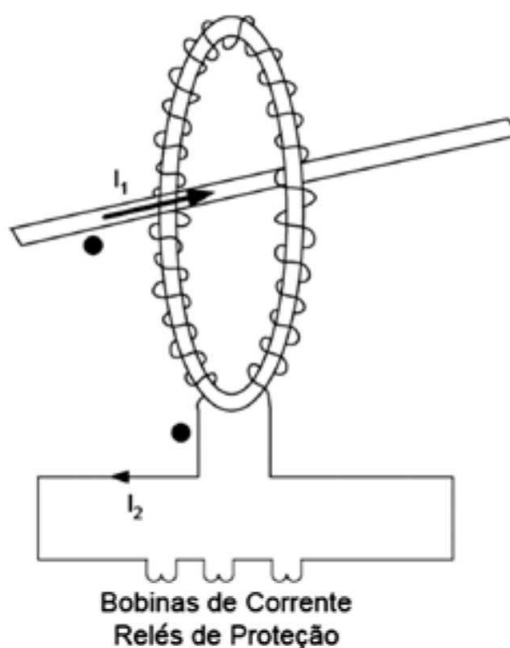
- Classe A: transformador de corrente que possui alta impedância interna, isto é, aquele cuja reatância de dispersão do enrolamento secundário possui valor apreciável em relação à impedância total do circuito secundário, quando este alimenta sua carga nominal (classe T, segundo as normas ANSI). Geralmente, são transformadores de corrente que possuem a bobina primária enrolada sobre o núcleo, assim como, o enrolamento secundário, conforme ilustração mostrada na Figura 4;
- Classe B: transformador de corrente que possui baixa impedância interna, isto é, aquele cuja reatância de dispersão do enrolamento secundário possui valor desprezível em relação à impedância total do circuito secundário, quando este alimenta sua carga nominal (classe C, segundo as normas ANSI). Geralmente, são transformadores de corrente de núcleo toroidal, com o enrolamento secundário uniformemente distribuído sobre o núcleo. A espira primária apresenta a capacidade de suportar altas correntes. Tal transformador está ilustrado na Figura 5.

Figura 4 – Ilustração mostrando o tipo construtivo de um TC da classe A (segundo a ABNT).



Fonte: (FRONTIN et al., 2013).

Figura 5 – Ilustração mostrando o tipo construtivo de um TC da classe B (segundo a ABNT).



Fonte: (FRONTIN et al., 2013).

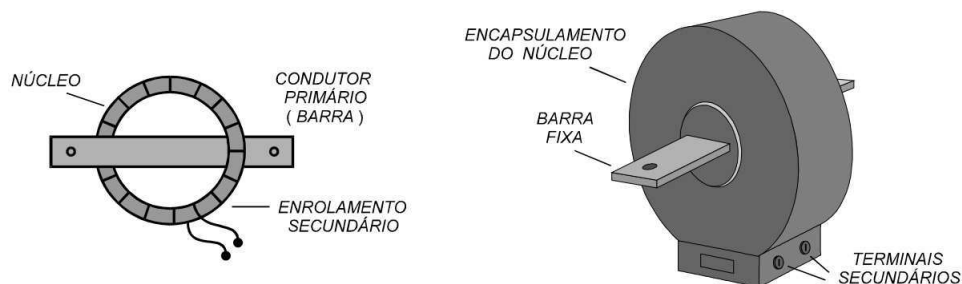
2.2.1.2 Tipos Construtivos

Conforme a disposição dos enrolamentos e do núcleo, os TCs podem ser classificados nos seguintes tipos:

2.2.1.2.1 TC tipo barra

É aquele cujo enrolamento primário é constituído por uma barra fixada através do núcleo do transformador, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 6 – TC tipo barra; constituição básica e aspecto externo.

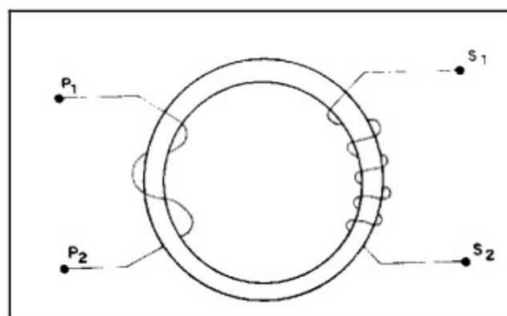


Fonte: (GUERRA, 2011).

2.2.1.2.2 TC do tipo enrolado

É aquele cujo enrolamento é constituído de uma ou mais espiras envolvendo o núcleo do transformador, conforme ilustrado na Figura 7.

Figura 7 – TC tipo enrolado.

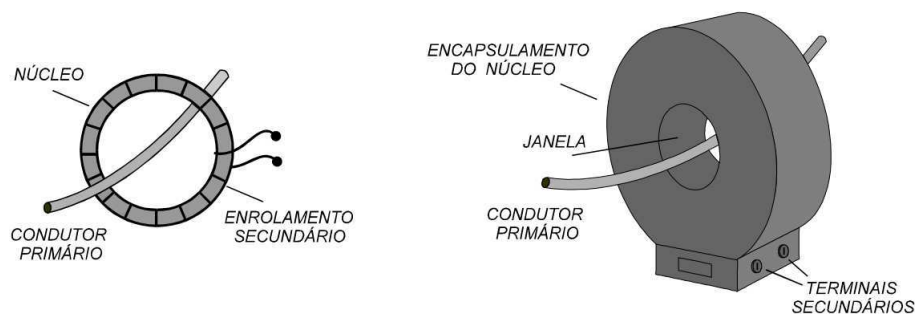


Fonte: (GUERRA, 2011).

2.2.1.2.3 TC do tipo janela

É aquele que não possui um primário fixo no transformador e é constituído de uma abertura no núcleo, por onde passa o condutor que forma o circuito primário, conforme ilustrado na Figura 8.

Figura 8 – TC tipo janela; constituição básica e aspecto externo.

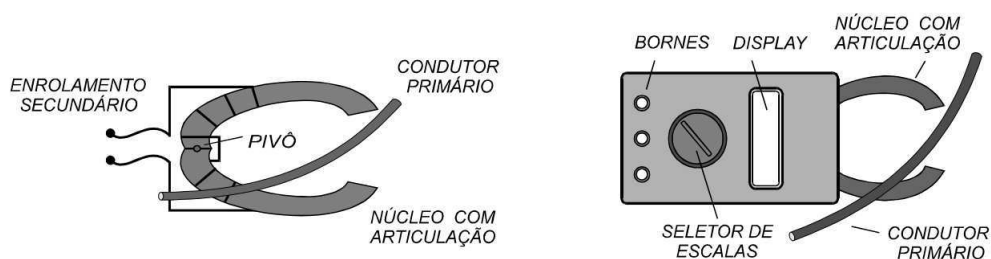


Fonte: (GUERRA, 2011).

2.2.1.2.4 TC tipo núcleo dividido

É mostrado na Figura 9, onde o núcleo pode ser aberto, envolvendo o condutor no qual se deseja medir a corrente. É bastante usado em instrumentos de medição de corrente e de potência.

Figura 9 – TC de núcleo dividido e utilização em instrumentos de medição.



Fonte: (GUERRA, 2011).

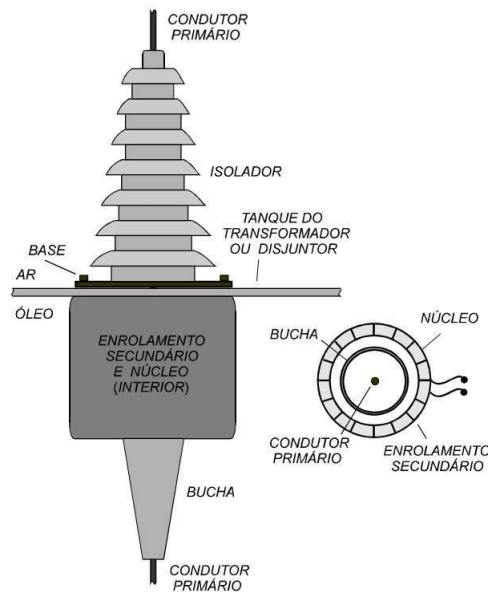
2.2.1.2.5 TC tipo bucha

Na Figura 10 é ilustrado um tipo de TC bastante utilizado, denominado TC tipo bucha, semelhante ao TC tipo janela (bucha é um elemento isolante destinado a permitir a passagem de um circuito de um ambiente para outro). Neste caso, o núcleo e os enrolamentos são montados na bucha de um transformador ou disjuntor, sendo o enrolamento primário constituído por uma única espira, que consiste no próprio condutor da linha. É fácil ver que tal característica construtiva proporciona economia.

2.2.2 Transformador de Potencial (TP)

Transformadores de potencial (TPs) são dispositivos projetados e construídos para alimentar instrumentos de medição, proteção ou controle em redes elétricas. Eles reduzem

Figura 10 – TC tipo bucha.



Fonte: (GUERRA, 2011).

a tensão da rede a um valor adequado aos instrumentos, estabelecendo uma relação fixa entre os valores instantâneos correspondentes das ondas de tensão de saída e de entrada, com diferenças de fase mínimas possíveis entre elas. Também objetivam promover isolamento elétrico entre os instrumentos e o sistema de potência (GUERRA, 2011). O transformador de potencial é conectado em paralelo com o circuito a ser monitorado.

Existem basicamente duas tecnologias aplicadas em transformadores de potencial amplamente conhecidas em sistemas de alta tensão, sendo elas: transformadores de potencial indutivo (TPI) e transformadores de potencial capacitivo (TPC).

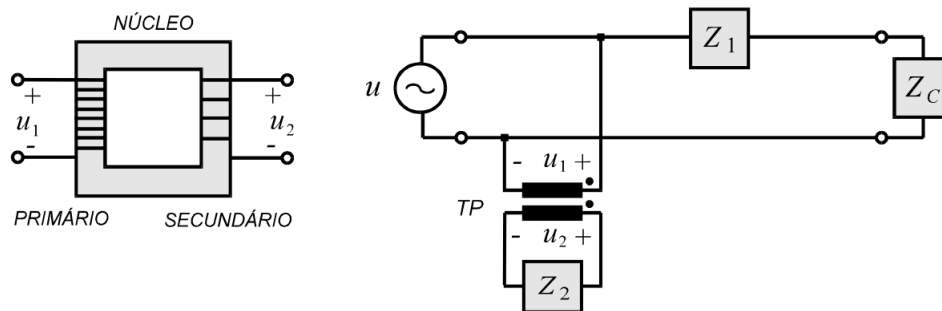
2.2.2.1 Transformador de Potencial Indutivo (TPI)

Os TPIs são normalmente utilizados em sistemas de até 145 kV. A forma construtiva e o modo de ligação de um TPI são mostrados na Figura 24.

Normalmente, o núcleo é de liga ferro-silício (3,2% Si) de grãos orientados. O enrolamento primário de N_1 espiras é ligado em paralelo ao sistema de potência. O enrolamento secundário de N_2 espiras alimenta um instrumento (medidor ou relé de proteção). Como os TPs promovem abaixamento de tensão, tem-se $N_1 \geq N_2$. Ao contrário dos TCs, os TPs devem operar com altas impedâncias ligadas ao secundário (GUERRA, 2011). A relação de transformação do TPI é dada segundo a equação (2.2).

$$\frac{u_1}{u_2} = \frac{N_1}{N_2} \quad (2.2)$$

Figura 11 – Transformador de potencial e modo de ligação ao sistema elétrico.



Fonte: (GUERRA, 2011).

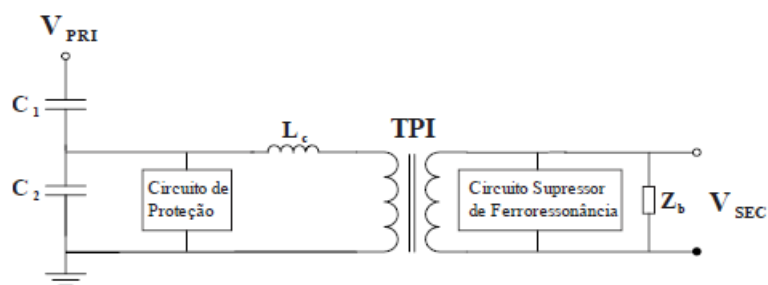
O transformador de potencial indutivo é constituído por dois ou mais enrolamentos que são montados no mesmo núcleo, semelhante aos transformadores de potência. O princípio de funcionamento dos transformadores de potencial é a conversão eletromagnética de energia entre os enrolamentos. Assim, ao ser aplicada uma tensão no enrolamento primário, será obtido nos terminais secundários um valor de tensão reduzido conforme a relação de transformação do equipamento (FRONTIN et al., 2013).

2.2.2.2 Transformador de Potencial Capacitivo (TPC)

Em Sistemas Elétricos de Potência acima de 145 kV é imposto pelo fato de esses equipamentos possuírem menor custo de produção do que os TPI (FRONTIN et al., 2013). Um dos motivos para o TPI possuir maior custo que o TPC é o elevado número de espiras do enrolamento primário de equipamentos em sistemas acima de 145 kV (FRONTIN et al., 2013).

A Figura 12 ilustra o circuito de um TPC com seus elementos básicos. A coluna de capacitores formada por C_1 e C_2 é um divisor de tensão capacitivo. O ponto central entre os dois capacitores tem um nível de tensão de 10 a 20 kV. Dessa forma é possível usar um transformador de potencial indutivo de menores dimensões e com menor isolação. Esse TPI, então, reduz a tensão dos enrolamentos primários para que os dispositivos de proteção, medição ou controle possam ser alimentados.

Figura 12 – Circuito básico de um TPC.



Fonte: (REIS, 2015).

O reator de compensação L_c mostrado na figura acima, é projetado pelo fabricante para controlar a defasagem imposta pela coluna capacitiva do primário do transformador. Para que esse efeito seja atenuado a seguinte equação deve ser satisfeita:

$$\omega L_c = \frac{1}{\omega(C_1 + C_2)} \quad (2.3)$$

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

3.1 Ensaio de Trilhamento Elétrico e Erosão

A primeira atividade desenvolvida durante o período de estágio foi um Ensaio de Trilhamento Elétrico e Erosão. A atividade consistiu no acompanhamento dos ensaios juntamente com alunos de graduação, pós-graduação, engenheiros e técnicos.

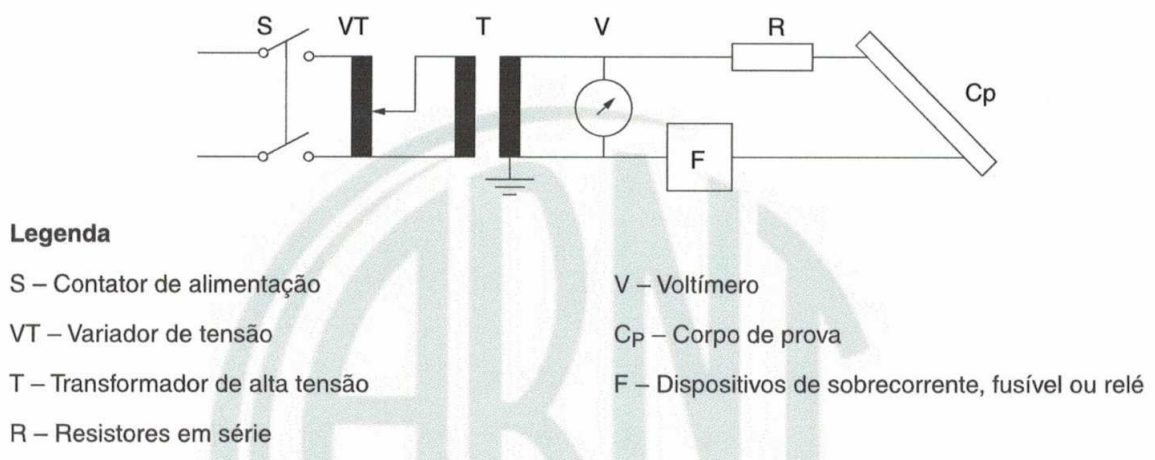
Esse ensaio/laudo foi realizado pelo laboratório a pedido de um fabricante de postes, identificado como fabricante A, para que fosse feita uma série de testes afim de avaliar a viabilidade de se fazer a substituição do concreto utilizado na construção de postes por fibra de vidro.

Os ensaios foram realizados baseados na norma NBR 10296.

3.1.1 Requisitos

O circuito esquemático utilizado no ensaio pode ser visto na Figura 13. Utilizou-se a tensão da rede como fonte, um variac para realizar a regulagem do nível de tensão e um transformador para elevar o nível de tensão aplicado ao circuito. O valor de tensão era monitorado por meio de um osciloscópio que mostrava o sinal de saída do transformador. Para essa leitura ser possível, utilizou-se uma ponta de prova capaz de suportar uma tensão de até 20 kV.

Figura 13 – Diagrama do Circuito Elétrico.



Fonte: Norma NBR 10296.

O valor do resistor foi escolhido de acordo com o valor de tensão definido para se realizar o ensaio. De acordo com a norma NBR 10296 (NBR10296, 2014), para valores de tensão de ensaio de 1,0 kV a 1,75 kV o valor da resistência utilizada deve ser de 1 k Ω .

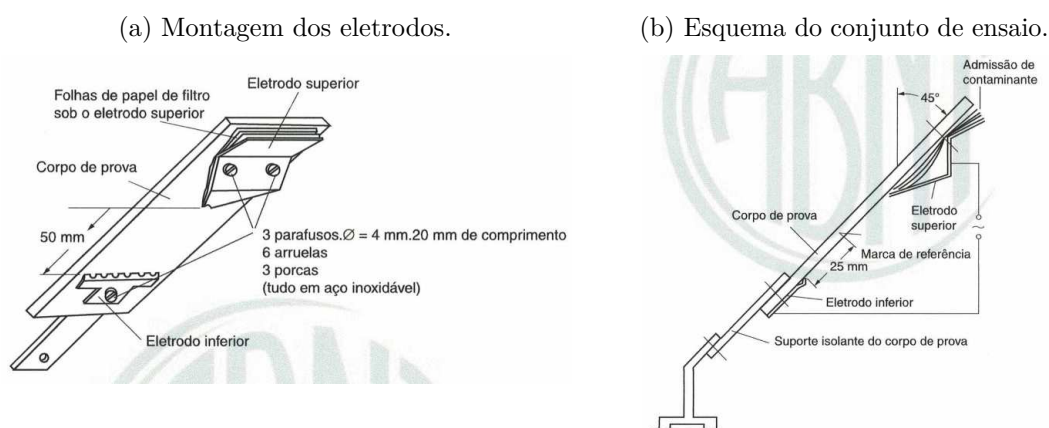
Como dispositivo de proteção contra sobrecorrente, foi utilizado um relé comandado por um microcontrolador. O microcontrolador recebia informações diretamente de uma resistência shunt conectada ao circuito. A corrente de fuga era constantemente medida, e em caso de o valor dessa corrente ultrapassar 60 mA durante um período superior a dois segundos, o relé era aberto, finalizando o ensaio.

3.1.2 Condições de Ensaio

Para obedecer as condições de ensaio recomendadas na norma NBR 10296 (NBR10296, 2014), ajustou-se a temperatura ambiente a uma faixa entre 23,1 °C e 24,8 °C. Preparou-se a pipeta para ter uma vazão de cerca de 3 gotas de contaminante a cada 2 minutos (0,075 mL/min).

Durante o ensaio de cada amostra analisada, foram fixadas 8 camadas de papel filtro, entre o eletrodo superior e o corpo de prova, para atuar como reservatório da solução. O contaminante é introduzido no papel filtro, permitindo que este umedeça totalmente o papel. O fluxo foi observado por um período de 10 minutos antes de se iniciar o ensaio para garantir que o contaminante escoasse de maneira estável pela superfície da amostra delimitada pelos eletrodos. Na Figura 14 está ilustrado o conjunto: amostra + filtros + eletrodos.

Figura 14 – Conjunto corpo de prova, filtros e eletrodos.



Fonte: Norma NBR 10296.

3.1.3 Aplicação da Tensão

O método utilizado durante os ensaios foi o método 2 (Tensão de trilhamento em degraus) encontrado na norma NBR 10296 (NBR10296, 2014). Nesse método, fez-se a

escolha de uma tensão no valor de 1 kV para a tensão inicial e foi-se elevando esse valor de 250 em 250 V a cada hora até que fosse atingido o valor de 1,75 kV (fazendo com que o ensaio tivesse duração máxima de 4 horas) ou até que o valor de corrente no circuito de alta tensão, através do corpo de prova, excedesse 60 mA durante um intervalo de tempo superior a 2 segundos. O contaminante foi aplicado com um fluxo constante à velocidade especificada no início do ensaio.

3.1.4 Resultados

Os resultados podem ser vistos na Tabela 1.

Tabela 1 – Dados do ensaio de trilhamento elétrico e erosão.

| Amostra | Duração | Tensão inicial | Temperatura | Massa inicial | Massa final | Espessura |
|-----------|---------|----------------|-------------|---------------|-------------|-----------|
| Amostra 1 | 4h01min | 1,04 kV | 24,5 °C | 68,3126 g | 67,8244 g | 6,80 mm |
| Amostra 2 | 4h02min | 1,03 kV | 23,9 °C | 68,1029 g | 68,0974 g | 6,83 mm |
| Amostra 3 | 3h59min | 1,00 kV | 23,1 °C | 68,3012 g | 68,2889 g | 6,70 mm |
| Amostra 4 | 4h02min | 1,00 kV | 24,2 °C | 63,6579 g | 63,6531 g | 6,77 mm |
| Amostra 5 | 4h02min | 1,02 kV | 24,8 °C | 69,9206 g | 69,9198 g | 6,70 mm |

Durante este ensaio, para nenhuma das amostras observou-se uma corrente com valor superior a 60 mA no circuito de alta tensão.

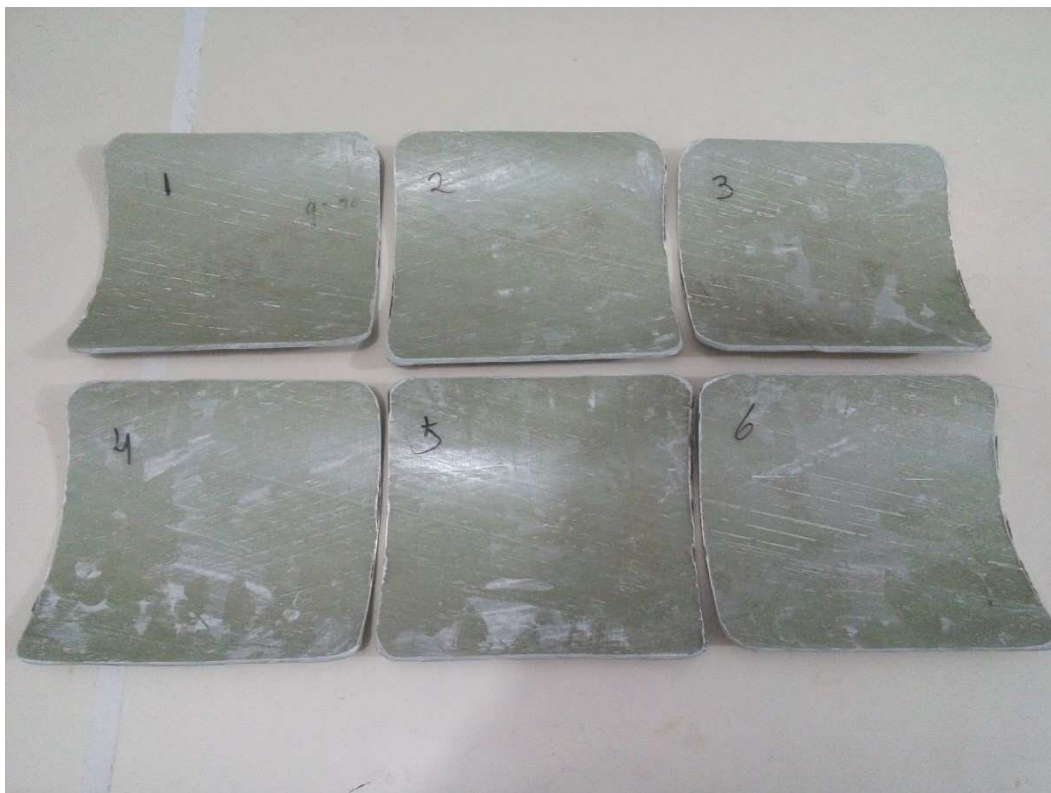
3.2 Ensaio de Rigidez Dielétrica em Amostras de Postes Isolantes

Outra atividade desenvolvida durante o período de estágio foi um Ensaio de Rigidez Dielétrica em Amostras de Postes Isolantes. O objetivo desta atividade está relacionado com a atividade realizada anteriormente, pois o material testado é o mesmo (fibra de vidro), porém, as análises agora são voltadas para a rigidez dielétrica do material.

3.2.1 Equipamento Ensaiado

A Figura 15 ilustra todas as amostras utilizadas durante os ensaios no LAT. As mesmas foram fornecidas pela empresa solicitante (fabricante A).

Figura 15 – Foto das amostras recebidas pelo Laboratório de Alta Tensão.



Fonte: Próprio autor.

3.2.2 Normas

O ensaio foi realizado em conformidade com as prescrições da norma ASTM D149.

3.2.3 Preparação da Amostra

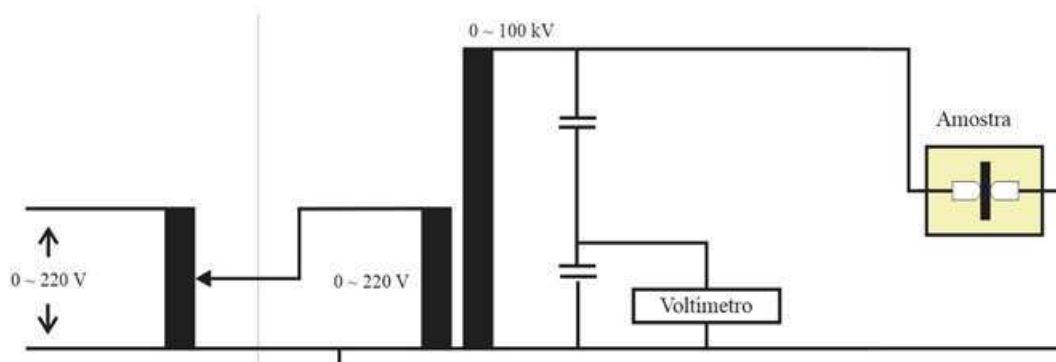
- Foram recebidos 6 corpos de prova com dimensão 200 x 200 mm e espessura variável. As espessuras das amostras são apresentadas na Tabela 2;
- No LAT as amostras foram condicionadas durante 24 horas em um ambiente com temperatura de 24 °C e umidade relativa de 50%;
- Decorridos as 24 horas, as amostras foram colocadas em um recipiente hermeticamente fechado.

3.2.4 Arranjo e Equipamentos Utilizados

A Figura 16 mostra o arranjo utilizado na realização do ensaio.

Na realização do ensaio foi utilizado um Medidor de Rigidez Dielétrica capaz de aplicar até 100 kV à amostra.

Figura 16 – Diagrama do circuito de ensaio.



3.2.5 Procedimentos e Etapas do Ensaio

Para realizar de modo a evitar que descarga ocorresse pelo ar, a amostra foi imersa em uma cuba cheia de óleo isolante.

Primeiramente, fez-se a filtragem do óleo isolante, previamente colocado em estufa, utilizando o motor ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Motor utilizado para filtrar o óleo isolante.



Fonte: Próprio autor.

Após a filtragem, o óleo foi colocado dentro de um recipiente. Esse recipiente foi construído no próprio LAT. Sua estrutura é de Acrílico e possui dois eletrodos (para a aplicação da tensão desejada) que possuem um ajuste de posição para que se possa posicionar a amostra a ser testada.

A aplicação e medição da tensão foi feita pelo medidor de rigidez dielétrica do próprio laboratório. Tal equipamento possui uma vasta gama de funções e é possível realizar a elevação da tensão aplicada no circuito à uma taxa constante pré-estabelecida. A estrutura utilizada e o medidor de rigidez dielétrica podem ser observados na Figura 18.

Para a realização do ensaio, foi escolhido o Método A - Teste de Tempo Curto

Figura 18 – Estrutura preenchida com o óleo isolante e medidor de rigidez dielétrica utilizado para a aplicação da tensão.

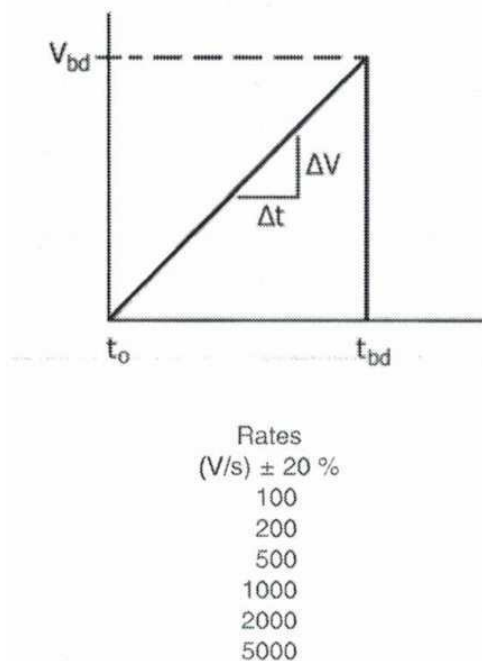


Fonte: Próprio autor.

(Short-Time Test), encontrado na norma ASTM D149. Esse método consiste na aplicação da tensão de maneira uniforme nos eletrodos a partir do valor de tensão zero com uma taxa de aumento constante. Essa tensão é elevada até que haja a ruptura da rigidez dielétrica da amostra. Na Figura 19 está ilustrado esse procedimento: a tensão V_{bd} é a tensão necessária para a quebra da rigidez dielétrica, t_{bd} é o tempo decorrido desde que a tensão começa a ser aplicada à amostra até o término do ensaio e a taxa $\Delta V/\Delta t$ é a taxa de elevação da tensão.

A taxa de elevação da tensão deve ser selecionada de modo que ruptura dielétrica ocorra em um espaço de tempo de 10 a 20 segundos. Devido à testes preliminares, era sabido que a ruptura dielétrica era atingida com uma tensão de aproximadamente 60 kV e, por isso fez-se a escolha de usar uma taxa de 3 kV/s. Após a ruptura ocorrer, utilizando um paquímetro, era feita a medição da espessura da amostra no ponto onde a ruptura ocorreu, afim de se calcular a rigidez dielétrica do material.

Figura 19 – Perfil da tensão no Teste de Tempo Curto.



Fonte: Norma ASTM D149.

3.2.6 Resultados

Durante o ensaio foi feita observação visual e através dos registros do equipamento da ocorrência de descarga disruptiva nas amostras submetidas à tensão de frequência industrial. A Tabela 2 a seguir apresenta os resultados obtidos.

Tabela 2 – Valores de Rigidez Dielétrica para cada amostra.

| Amostra | Espessura | Tensão Medida | Rigidez Dielétrica | Situação |
|-----------|-----------|---------------|--------------------|-----------|
| Amostra 1 | 4,25 mm | 58,90 kV | 13,9 kV/mm | REPROVADO |
| Amostra 2 | 4,80 mm | 58,00 kV | 12,1 kV/mm | REPROVADO |
| Amostra 3 | 4,60 mm | 59,60 kV | 13,0 kV/mm | REPROVADO |
| Amostra 4 | 4,70 mm | 59,90 kV | 12,7 kV/mm | REPROVADO |
| Amostra 5 | 4,00 mm | 44,30 kV | 11,1 kV/mm | REPROVADO |
| Amostra 6 | 4,50 mm | 55,60 kV | 12,4 kV/mm | REPROVADO |

As amostras 5 e 6 apresentaram tensões disruptivas abaixo das outras amostras, especialmente a amostra 5. Isso decorreu devido ao fato de suas superfícies apresentarem um grande número bolhas de ar.

Diante dos resultados apresentados, as amostras foram reprovadas no ensaio de rigidez dielétrica, pois como determinado na norma ASTM D149 a rigidez dielétrica mínima para que a amostra fosse aprovada no teste era de 20 kV/mm.

3.3 Ensaios em Transformador de Corrente e Transformador de Potencial Indutivo

Outra atividade desenvolvida durante o período de estágio foi a realização de ensaios de tipo e ensaios de rotina em um TC e um TPI do próprio laboratório.

3.3.1 Normas

Os ensaios foram realizados em conformidade com as prescrições da norma ABNT NBR 6856 para o TC e da norma ABNT NBR 6855 para o TPI.

3.3.2 Ensaios no Transformador de Corrente (TC)

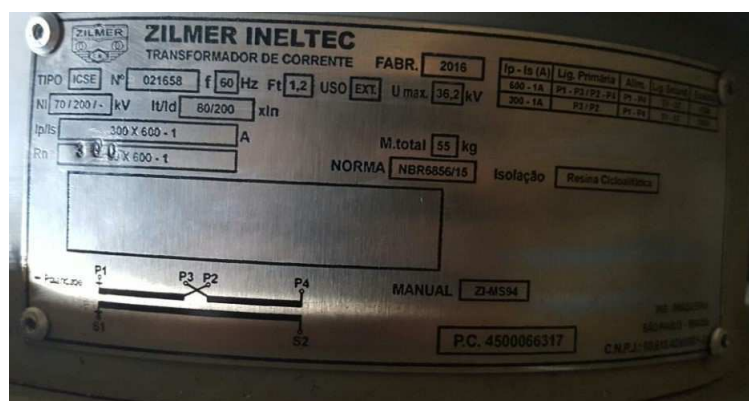
Foram realizados ensaios de rotina em um dos TC do LAT. Nas Figuras 20 e 21 podem ser observados o TC utilizado no ensaio e a placa do TC, respectivamente.

Figura 20 – TC utilizado nos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

Figura 21 – Placa do TC utilizado nos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

3.3.3 Ensaios de rotina

Durante o período de estágio foi solicitada a realização de 3 ensaios de rotina no TC. Foram eles:

- 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;

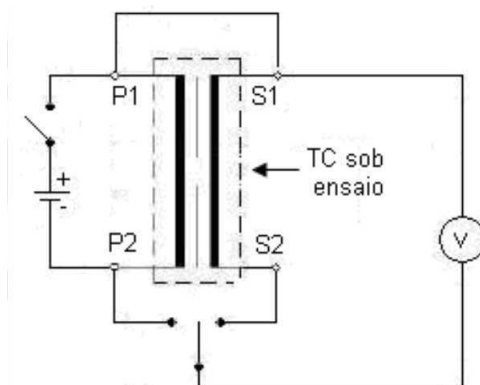
3.3.3.0.1 Verificação de marcação dos terminais e polaridade

Este ensaio tem como objetivo a verificação correta da polaridade e identificação dos terminais.

Para a realização deste ensaio, utilizou-se o procedimento (b) do Método da corrente contínua, encontrado na norma ABNT NBR 6856. Tal procedimento consiste em ligar um voltímetro de corrente contínua aos terminais do enrolamento com maior número de espiras. Para este caso a conexão do voltímetro foi feita no secundário do TC. Logo após aplicou-se a estes terminais uma tensão fornecida por uma fonte de corrente contínua. A montagem pode ser observada na Figura 22.

Deve-se observar o sentido da deflexão do ponteiro no momento da aplicação da corrente. Em seguida, conectou-se o voltímetro nos terminais do enrolamento com menor número de espiras e repetiu-se o mesmo procedimento, observando novamente o sentido da deflexão do ponteiro. Como o sentido da deflexão foi mesmo, conclui-se que os terminais correspondentes são de mesma polaridade.

Figura 22 – Determinação da polaridade pelo método de corrente contínua.



Fonte: ABNT NBR 6856.

3.3.3.0.2 Ensaio de tensão suportável à frequência industrial a seco no primário

Este ensaio tem como objetivo a verificação da suportabilidade dielétrica do isolamento entre enrolamento(s) primário(s) e secundário(s) e massa.

Como a tensão máxima do TC é de 36,2 kV, com o auxílio da Tabela 13 da norma ABNT NBR 6856, determina-se que a tensão para esse tipo de ensaio é de 70 kV e que a mesma deve se mantida por 1 minuto. Porém, como trata-se de um TC usado, recomenda-se que o ensaio deve ser executado com 80% da tensão especificada, o que resulta em uma tensão de 56 kV. A montagem foi feita na Sala do *kit* de Alta tensão.

Utilizou-se a mesa de comando para controlar o nível de tensão aplicada ao TC. A medição da tensão se deu com o uso de um osciloscópio e ponta de prova de Alta Tensão.

Como o TC foi capaz de suportar o ensaio com o valor de tensão especificado sem que houvesse produção de descargas disruptivas e sem evidências de falhas (como pequenas descargas, afundamento da tensão ou elevação da corrente), o TC foi aprovado nesse teste. Vale ressaltar que foi verificado efeito corona durante o ensaio, porém, essa corona ocorreu no condutor que realizava a ligação entre o capacitor do *kit* e o TC, e se deu devido a este condutor não possuir um diâmetro adequado para suportar os 56 kV aplicados.

3.3.3.0.3 Ensaio de tensão suportável à frequência industrial em enrolamentos secundários e seções do primário

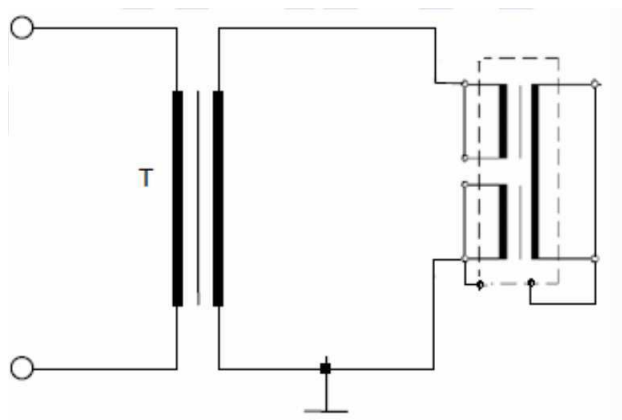
Este ensaio tem como objetivo a verificação da suportabilidade dielétrica do isolamento entre enrolamento(s) secundário(s), entre secundário(s) e massa e entre seções dos enrolamentos primários.

A tensão para esse tipo de ensaio é de 3 kV (eficazes) e a mesma deve se mantida por 1 minuto. Porém, como trata-se de um TC usado, a norma ABNT NBR 6856 recomenda

que o ensaio deve ser executado com 80% da tensão especificada, o que resulta em uma tensão de 2,4 kV (eficazes). A montagem foi feita na Sala do *kit* de Alta tensão.

Utilizou-se a mesa de comando para controlar o nível de tensão aplicada no TC. Para realizar a leitura da tensão aplicada, um osciloscópio foi utilizado. O circuito de ensaio pode ser observado na Figura 23.

Figura 23 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial entre secundários ou entre seções do primário.



Fonte: ABNT NBR 6856.

Como durante 1 minuto não foram observadas descargas disruptivas ou evidências de falha no isolamento (como pequenas descargas, afundamento da tensão ou elevação da corrente), o TC foi aprovado nesse teste.

3.3.4 Ensaio no Transformador de Potencial Indutivo (TPI)

Foi realizado 1 ensaio de rotina em um dos TPI do LAT. Nas Figuras 24 e 25 podem ser observados o TPI utilizado no ensaio e a placa do TPI, respectivamente.

O ensaio realizado foi o Ensaio de tensão suportável a frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções.

Figura 24 – TPI utilizado nos ensaios.



Fonte: Próprio autor.

Figura 25 – Placa do TPI utilizado nos ensaios.

| ZILMER | | ZILMER INELTEC | |
|-------------------------------------|--------------|---------------------------|----------------------|
| TRANSFORMADOR DE POTENCIAL INDUTIVO | | | |
| Modelo: | IPSDE | F.: 60 Hz | Ano: 2014 |
| Nº | 232.947 | | |
| Classe: | 36kV | Ni: 19 / 200 / - kV | Pot. Térm.: 2X600 VA |
| Grupo: | 2 | Fst.: 1,5(30s)/1,2(Cont.) | Cód.: DBVG2FF75-PN01 |
| Norma/ano: | NBR6855/2009 | | Isol.: Epoxi |
| PC: | 4500673676 | Manual: ZI-MS94 | Peso: 60kg |
| UP(V) | 34500/√3 | | |
| US(V) | 115/√3 | 115 | 115/√3 |
| Term.: | 1X1-1X2 | 1X1-1X3 | 2X1-2X2 |
| Exat.: | 0,3P75 | 0,3P75 | 0,6P75 |
| RN.: | 300:1 | 175:1 | 300:1 |
| | | | 175:1 |

www.zilmer.com.br - Indústria Brasileira
C.N.P.J. 60.618.428/0001-24 - F.: (11) 2148-7121

Fonte: Próprio autor.

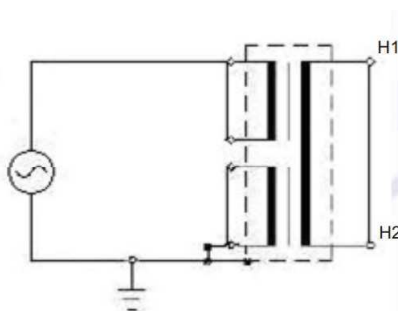
3.3.4.1 Ensaio de tensão suportável a frequência industrial em enrolamentos secundários e entre seções

O objetivo deste ensaio é verificar a suportabilidade dielétrica do isolamento entre enrolamento(s) secundário(s) e entre secundário(s) e massa, e entre seções de enrolamentos.

A tensão para esse tipo de ensaio é de 3 kV e a mesma deve se mantida por 1 minuto. Porém, como trata-se de um TPI usado, a norma ABNT NBR 6855 determina que o ensaio deve ser executado com 80% da tensão especificada, o que resulta em uma tensão de 2,4 kV. A montagem foi feita na Sala do *kit* de Alta tensão.

Utilizou-se a mesa de comando para controlar o nível de tensão aplicada ao TPI. A medição da tensão se deu com o uso de um osciloscópio e ponta de prova de Alta Tensão. O circuito de ensaio pode ser observado na Figura 26.

Figura 26 – Circuito de ensaio para tensão suportável à frequência industrial entre secundários ou entre seções do primário.



Fonte: ABNT NBR 6855.

Como durante 1 minuto não foram observadas descargas disruptivas ou evidências de falha no isolamento (como pequenas descargas, afundamento da tensão ou elevação da corrente), o TPI foi aprovado nesse teste.

4 CONCLUSÃO

O Estágio Supervisionado realizado no LAT, além de necessário para a formação acadêmica, foi de suma importância para a formação profissional, para o aumento da experiência do aluno e para colocar em prática parte do conhecimento aprendido durante a graduação nas disciplinas: Materiais Elétricos, Equipamentos Elétricos e Proteção de Sistemas Elétricos.

As atividades desenvolvidas pelo aluno envolveram diversos âmbitos da engenharia: estudo de Normas Técnicas, Idealização/Confecção de Arranjos Experimentais, Realização de Ensaios e Confecção de Relatórios Técnicos.

A realização e acompanhamento do ensaio de trilhamento e erosão proporcionou a aprendizagem e o contato do estagiário com um novo assunto, agregando ainda mais conhecimento ao mesmo, uma vez que tal assunto não é abordado nas disciplinas da graduação.

Os demais ensaios (rigidez dielétrica e dos transformadores para instrumentos), apesar de serem abordados no curso, foram importantes devido ao cunho prático verificado, pois os assuntos anteriormente haviam sido estudados de um modo mais teórico.

Alguns assuntos/práticas utilizados durante o estágio não haviam sido vistos pelo estagiário, o que dificultou a realização de alguns ensaios por parte do mesmo. Isso se deu tanto pelas disciplinas de ênfases escolhidas pelo estagiário (a disciplina Técnicas de Alta Tensão teria sido de grande utilidade e não foi cursada durante a graduação), quanto pela falta de atividades com teor mais prático do próprio curso de Engenharia Elétrica da UFCG.

REFERÊNCIAS

- ABNT, N. 6856: *Transformador de corrente-Versão Corrigida*. [S.l.], 2009. Citado na página 21.
- FERREIRA, T. Estudo do trilhamento de núcleo em isoladores poliméricos. *M. Sc. Dissertação, Dept. Eng. Elétrica, Univ. Federal de Campina Grande. Campina Grande*, 2007. Citado na página 18.
- FRONTIN, S. O. et al. Equipamentos de alta tensão—prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas. *Finatec 1ª Edição, Brasília*, 2013. Citado 4 vezes nas páginas 20, 21, 22 e 26.
- GUERRA, F. C. F. *Notas de Aula*. [S.l.], 2011. Citado 6 vezes nas páginas 20, 21, 23, 24, 25 e 26.
- MALIK, N. H.; AL-ARAINY, A.; QURESHI, M. I. *Electrical insulation in power systems*. [S.l.]: Marcel Dekker, 1998. Citado 2 vezes nas páginas 18 e 19.
- NBR10296. 10296,. *Material isolante elétrico—avaliação de sua resistência ao trilhamento elétrico e erosão sob severas condições ambientais*, ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 2014. Citado na página 29.
- REIS, R. L. de A. *Influência do Transformadores de Potencial Capacitivo e Filtros Anti-Aliasing Sobre Métodos de Localização de Falhas Baseados na Teoria das Ondas Viajantes*. Dissertação — Universidade Federal de Campina Grande, Julho 2015. Citado na página 27.
- SILVA, R. F. da. *Trilhamento elétrico sobre materiais poliméricos pela análise da energia absorvida devido as descargas elétricas superficiais*. Tese — Universidade Federal do Paraná, Fevereiro 2014. Citado na página 18.