



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

RAMON ARAÚJO DIAS

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

Campina Grande, Paraíba  
Julho de 2016

RAMON ARAÚJO DIAS

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

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

Local de Estágio: Laboratório de Alta Tensão - UFCG

Orientador:

Professor George Rossany Soares de Lira, D. Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Julho de 2016

RAMON ARAÚJO DIAS

## RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

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

Local de Estágio: Laboratório de Alta Tensão - UFCG

Aprovado em        /        /

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

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

# AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e aos meus irmãos pelo esforço em me proporcionar uma boa educação e pelo grande incentivo que me ajudou a percorrer esse caminho.

Agradeço ao professor George Lira, pela orientação e pela imensa ajuda prestada no final do meu curso.

Agradeço a todos os funcionários do LAT em especial ao Igor que me ajudou bastante durante o estágio.

Aos amigos do LAT, em especial Valdemir Brito, Raphael Borges, Bruno Dias, Lenilson Barbosa e Juacyr Anacleto pela ajuda e contribuição nos experimentos feitos no Laboratório de Alta Tensão ajuda esta essencial para conclusão desta atividade.

Por fim, deixo meus agradecimentos à coordenação do departamento de engenharia elétrica Damásio Fernandes, Adail Paz e Tchaikovsky Oliveira pelo trabalho e dedicação prestados ao curso de engenharia elétrica.

*“Definir um objetivo é o ponto de toda a realização.”*

Clement Stone.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Salão de alta Tensão.....	2
Figura 2 – (a) Salão do kit de alta tensão. (b) Transformador, resistor e capacitor do kit. ....	3
Figura 3 – Gerador de impulso de corrente do LAT-UFCG. (a) Capacitores, indutores, resistores e centelhador. (b) Transformador elevador e diodo retificador. (c) Mesa de controle. ....	4
Figura 4 – Centelhador do gerador de impulso de corrente.....	6
Figura 5 – Exemplo da forma do impulso de onda quadrada. ....	8
Figura 6 – Circuito para geração de impulso de onda quadrada. ....	8
Figura 7 – Ponte LCR.....	9
Figura 8 – Indutor do gerador de impulso e seus terminais numerados. ....	10
Figura 9 – Medição com auxílio de cabo.....	10
Figura 10 – Conectores de alumínio do gerador de impulso de corrente. ....	12
Figura 11 – Conexão dos conectores 1.....	13
Figura 12 – Conexão dos conectores 2.....	13
Figura 13 – Conexão dos conectores 3.....	14
Figura 14 – Conexão do quarto conector.....	14
Figura 15 – Conectores na base do capacitor. ....	15
Figura 16 – Varistor utilizado.....	15
Figura 17 – Componentes do Ensaio. ....	16
Figura 18 – Onda quadrada obtida em ensaio para 12 kV e com indutores no menor número de espiras..	17
Figura 19 – Onda quadrada obtida em ensaio para 15 kV e com indutores no menor número de espiras..	17
Figura 20 – Onda quadrada obtida em ensaio para 12 kV e com indutores no máximo número de espiras. ....	18
Figura 21 – Onda quadrada obtida em ensaio com quatro estágios, 12 kV e com indutores no menor número de espiras .....	19
Figura 22 – Câmara de nevoa. ....	20
Figura 23 – Isolador com limo. ....	20
Figura 24 – Isolador ensaiado.....	21
Figura 25 – Esquema para medição de corrente de fuga. ....	21
Figura 26 – Mesa de controle, transformador e ponta de prova utilizada no ensaio. ....	22
Figura 27 – Isolador lateral da câmara. ....	23
Figura 28 – Isolador com defeito.....	23
Figura 29 – Novo isolador lateral da câmara. ....	24
Figura 30 – Corrente de fuga e tensão no isolador. ....	24
Figura 31 – Ultraprobe 2000 MPH.....	25
Figura 32 – Ensaio de medições de irradiação eletromagnética. ....	26
Figura 33 – Dados obtidos nas medições de irradiação.....	26
Figura 34 – Transformador utilizado nos experimentos. ....	27
Figura 35 – Resistores defeituosos. ....	28
Figura 37 – Gerador de impulso de tensão. ....	28

# LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Valores das indutâncias. ....	11
--	----

# SUMÁRIO

1	Introdução.....	1
2	Laboratório de Alta Tensão .....	1
2.1	Salão de Alta Tensão .....	2
2.2	Sala do Kit de Alta Tensão .....	2
2.3	Sala do gerador de Impulso de Corrente .....	4
3	O estágio.....	7
3.1	Geração de onda quadrada no gerador de impulso de corrente.....	7
3.1.1	Configuração do equipamento para geração de impulso de longa duração .....	7
3.1.2	Medição dos indutores do gerador de impulso .....	9
3.1.3	Montagem do gerador de onda quadrada.....	11
3.2	Ensaio em isoladores.....	19
3.2.1	Ensaio de corrente de fuga.....	21
3.2.2	Monitoramento de emissão acústica .....	24
3.2.3	Medições de sinal de radiofrequência.....	25
3.3	Outras atividades.....	26
4	Conclusão .....	29
	Bibliografia.....	30

# 1 INTRODUÇÃO

Este documento é referente ao estágio curricular obrigatório do curso de engenharia elétrica da Universidade Federal de Campina Grande. Com o objetivo de por em prática o conhecimento teórico adquirido ao longo do curso e introduzir o aluno ao ambiente profissional é estabelecido ao graduando o estágio curricular. Este deve contribuir para o desenvolvimento no âmbito profissional.

O seguinte relatório irá apresentar as atividades desenvolvidas durante a realização do estágio supervisionado realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

Durante o estágio foram desenvolvidas atividades de integração e conhecimento. O aluno contribuiu nos ensaios do laboratório do curso de engenharia elétrica e nos ensaios relacionados à pesquisa e desenvolvimento realizado no local do estágio.

Todas as atividades serão detalhadas a seguir.

## 2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) começou a ser implementado em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. Hoje, é na sua especialidade, o laboratório melhor equipado do Norte-Nordeste do país, com uma área construída de 1.050 m<sup>2</sup> (DEE).

O LAT se destaca pelos seus equipamentos, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares. Possuem docentes pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes compondo seu corpo técnico.

Realizam-se um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos.

Entre as empresas que solicitam os serviços prestados pelo LAT destacam-se CHESF, PETROBRÁS, CELB, SAELPA, CEAL, JPW, CEMEC e ALCACE.

Atualmente o LAT é composto por alguns ambientes de laboratório como salão de alta tensão, sala do gerador de impulso de corrente e sala do kit de alta tensão.

## 2.1 SALÃO DE ALTA TENSÃO

O salão de alta tensão é considerado o principal ambiente do LAT (Figura 1). Nele estão os equipamentos utilizados para os ensaios mais exigentes em termos de tensão, tais como: transformadores de potencial em cascata, que permitem a geração de até 600 kV com uma corrente de 1 A; gerador de impulsos de alta tensão (700 kV), com o qual se realizam ensaios em transformadores, isoladores, disjuntores e chaves.

Figura 1 – Salão de alta Tensão



Fonte: <https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/>.

Neste salão ainda são realizados ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas e ensaios de verificação de isolamento em 11 equipamentos de manutenção de linha viva. Há também uma câmara de névoa, necessária em ensaios envolvendo umidade ou névoa salina, como ensaios em isoladores.

## 2.2 SALA DO KIT DE ALTA TENSÃO

Esse ambiente dispõe de um kit de alta tensão, Figura 2, composto por transformador de 5 kVA, que eleva a tensão até 100 kV a partir de uma entrada de 220 V; capacitores de alta tensão; resistores de alta tensão; espinterômetros, câmaras para descargas em gases ou vácuo, dentre outros.

Figura 2 – (a) Salão do kit de alta tensão. (b) Transformador, resistor e capacitor do kit.



(a)



(b)

Fonte: [https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/..](https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/)

Também estão presentes uma mesa controladora que aciona um regulador de tensão por comandos manuais, além de uma Ponte de Schering e capacitores padrão.

Por possuir dimensões compactas, o kit de alta tensão facilita a execução de diversos experimentos, como por exemplo, ensaios de suportabilidade de cadeias de isoladores.

## 2.3 SALA DO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

Esse ambiente dispõe de um gerador de impulso de corrente de 80 kJ/100 kV fabricado pela empresa suíça *HAEFELY TEST AG* e é mostrado na Figura 3. A sala é utilizada como laboratório das seguintes disciplinas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica: Técnicas de Alta Tensão e Equipamentos Elétricos, bem como em pesquisas, tanto à nível de graduação, quanto de pós-graduação.

Figura 3 – Gerador de impulso de corrente do LAT-UFCG. (a) Capacitores, indutores, resistores e centelhador. (b) Transformador elevador e diodo retificador. (c) Mesa de controle.



(a)



(b)



(c)

Fonte: Próprio autor.

O gerador de impulso é composto por um transformador capaz de elevar a tensão de pico do secundário a 100 kV. Conectado ao primário desse transformador encontra-se uma fonte de alimentação alternada variável de 0 V a 220 V. Conectado em série com o enrolamento secundário (enrolamento de alta tensão) do transformador encontra-se um diodo, como visto na Figura 3- b, responsável por retificar em meia onda a tensão de saída e dessa forma possibilitar o carregamento dos capacitores do gerador de impulso de corrente. Além disso, compõem o gerador de impulso capacitores de  $2 \mu\text{F}$  (100 kV), resistores e indutores de variados valores de resistência e indutância respectivamente.

Dependendo da configuração do arranjo montado é possível realizar ensaios de impulsos de corrente atmosféricos (onda do tipo 8/20  $\mu\text{s}$ ), ensaios de alta corrente (onda do tipo 4/10  $\mu\text{s}$ ), ensaios de frentes de onda muito rápida (onda do tipo 2/6  $\mu\text{s}$ ) além de ensaios de impulso de onda quadrada de corrente.

Na estrutura central encontra-se um centelhador semiesférico (*spark gap*, SG), Figura 4, que é um dispositivo eletromecânico constituído por dois eletrodos de forma semiesférica e separados por uma distância regulável, *Gap*.

Dependendo do ensaio, liga-se em série ao centelhador um indutor e um resistor *shunt*, utilizado para identificar o valor da corrente.

Figura 4 – Centelhador do gerador de impulso de corrente.



Fonte: Próprio autor.

## 3 O ESTÁGIO

Um resumo das principais atividades realizadas durante o estágio é apresentado a seguir.

### 3.1 GERAÇÃO DE ONDA QUADRADA NO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE.

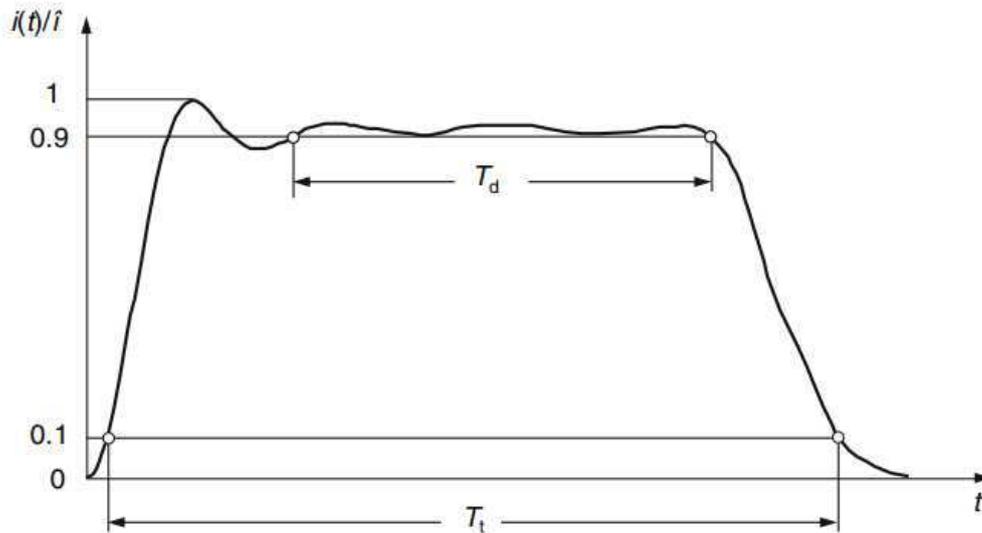
O gerador de impulso tem sido utilizado com frequência para ensaios de impulso de curta duração. Para esse tipo de ensaio a configuração do gerador já é conhecida e, assim, obtêm-se formas de ondas de diversos tempos de frente e tempo de calda, entre elas onda do tipo 8/20  $\mu\text{s}$ , 4/10  $\mu\text{s}$  e 2/6  $\mu\text{s}$ .

Ensaio com impulso de longa duração necessitam de uma configuração diferente do utilizado para os de impulso de curta duração e devido a falta de documentação, o modo como os componentes do gerador de impulso se encaixam é desconhecida, tornando a montagem dificultosa. Dessa forma, objetiva-se a verificação da possibilidade de realizar esse tipo de ensaio.

#### 3.1.1 CONFIGURAÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA GERAÇÃO DE IMPULSO DE LONGA DURAÇÃO

A Figura 5 apresenta a forma de onda típica de uma corrente de impulso de longa duração. Este tipo de onda caracteriza-se por um valor da corrente de teste,  $\hat{i}$ , pelo tempo de duração de pico,  $T_d$  e pelo tempo de duração total,  $T_t$  (SCHON, 2013).

Figura 5 – Exemplo da forma do impulso de onda quadrada.



Fonte: (SCHON, 2013).

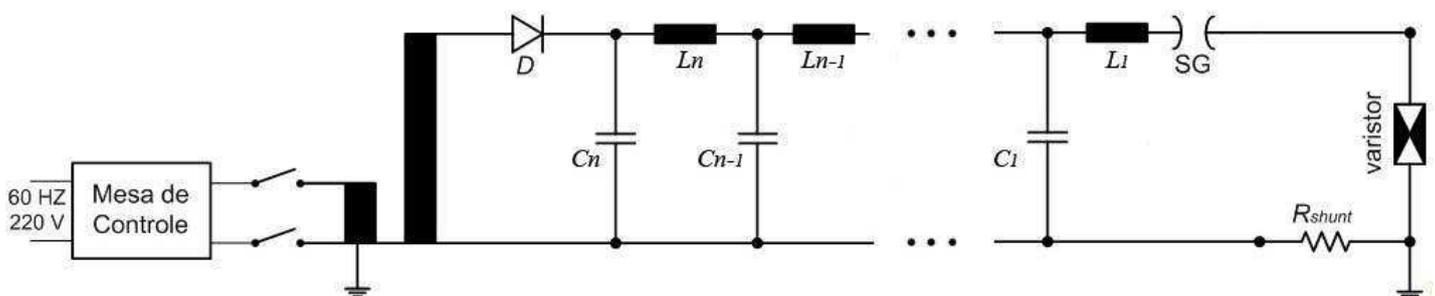
O valor máximo da corrente, incluindo a oscilação sobreposta, é o valor da corrente de impulso. O intervalo tempo  $T_d$  é especificado como o tempo durante o qual a corrente é consistentemente maior que  $0.9\hat{i}$ . Já o intervalo tempo  $T_t$  é especificado como o tempo durante o qual a corrente é maior do que  $0.1\hat{i}$ .

Segundo *IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing* os valores nominais para  $T_d$  são  $500\ \mu\text{s}$ ,  $1.000\ \mu\text{s}$  e  $2.000\ \mu\text{s}$  e para  $T_t$   $2.000\ \mu\text{s}$  até  $3.500\ \mu\text{s}$ .

O circuito necessário para obter o impulso de onda quadrada encontra-se na Figura 6, onde  $C$  e  $L$  são, respectivamente, os capacitores e indutores e o índice  $n$  representa o número de estágios,  $D$  é o diodo do gerador de impulso,  $SG$  (*spark gap*) é o centelhador e o  $R_{shunt}$  o resistor *shunt*.

Todos os elementos do circuito são de valores conhecidos, com exceção dos indutores. De forma a obter o valor de cada indutor foi feita a medição, um a um, utilizando uma ponte LCR.

Figura 6 – Circuito para geração de impulso de onda quadrada.



Fonte: Próprio autor.

### 3.1.2 MEDIÇÃO DOS INDUTORES DO GERADOR DE IMPULSO

Para medição dos valores das indutâncias foi utilizada uma ponte LCR da marca Agilent modelo U1733C, Figura 7, que permite a medição de indutância, medição de capacitância e medição de resistência.

Figura 7 – Ponte LCR

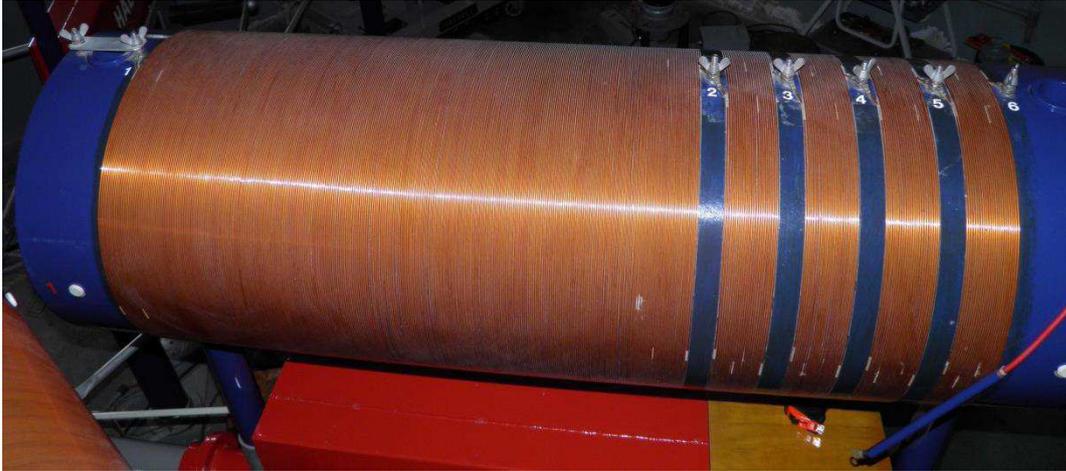


Fonte: Próprio autor.

O equipamento apresenta duas pontas de prova que devem ser conectada nos terminais do elemento a ser medido. Após ligar o equipamento, é feita a escolha do elemento a ser medido através do botão **'ZLCR'**. O botão **'Freq.'** auxilia na escolha da frequência que será utilizada na medição podendo ser 100 Hz, 120 Hz, 1 kHz, 10 kHz e 100 kHz. Foi selecionado a maior frequência devido ao carácter dos ensaios de impulso de corrente, este tipo de ensaios gera onda de impulso de alta frequência. Depois de configurado a frequência para 100kHz e escolhido o elemento a ser medido, indutor, foi feita a medição.

O gerador de impulso possui oito indutores localizados a uma altura superior a 1,80 metros. Cada indutor possui mais de um enrolamento que podem ser combinados obtendo-se diferentes valores de indutância. Na Figura 8 podemos observar os enrolamentos e seus terminais enumerados. Alguns indutores possuem tamanhos de raio do cilindro, onde encontram-se enrolados os condutores, diferentes. Por essa razão, espera-se que o valor da indutância não seja semelhante para todos.

Figura 8 – Indutor do gerador de impulso e seus terminais numerados.



Fonte: Próprio autor.

Devido às pontas de prova do equipamento não alcançarem os terminais dos indutores, foram realizadas medições com auxílio de um cabo curto de forma que não houvesse interferência do mesmo nos valores obtidos das indutâncias, Figura 9. Os valores das indutâncias medidas encontram-se na Tabela 1.

Figura 9 – Medição com auxílio de cabo.



Fonte: Próprio autor.

Tabela 1 – Valores das indutâncias.

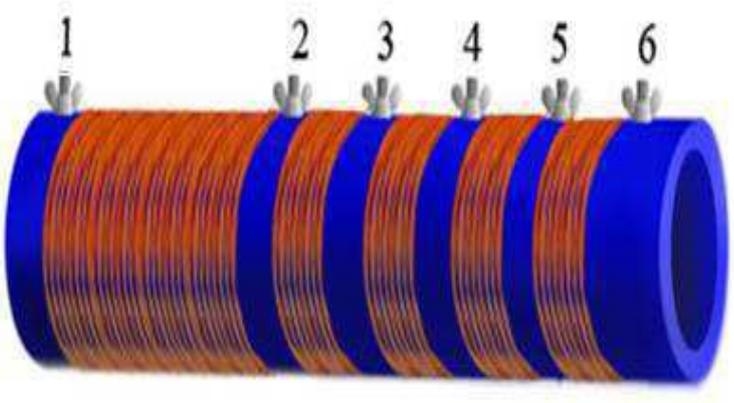


Diagrama de um indutor com seis terminais numerados de 1 a 6. O indutor é composto por bobinas de fio laranja enroladas em um núcleo azul.

	Terminais				
	01-02	01-03	01-04	01-05	01-06
<b>Indutor 1</b>	24,20 mH	26,51 mH	28,55 mH	30,27 mH	32,50 mH
<b>Indutor 2</b>	14,10 mH	15,20 mH	16,20 mH	-	-
<b>Indutor 3</b>	14,20 mH	15,20 mH	16,30 mH	-	-
<b>Indutor 4</b>	14,25 mH	15,33 mH	16,19 mH	-	-
<b>Indutor 5</b>	14,42 mH	15,34 mH	16,2 mH	-	-
<b>Indutor 6</b>	14,30 mH	15,41 mH	16,34 mH	17,31 mH	-
<b>Indutor 7</b>	13,20 mH	14,20 mH	15,21 mH	16,21 mH	-
<b>Indutor 8</b>	12,73 mH	13,10 mH	14,01 mH	14,75 mH	15,57 mH

### 3.1.3 MONTAGEM DO GERADOR DE ONDA QUADRADA

O design do gerador de impulso permite que diferentes configurações sejam montadas através de conectores de alumínio que ligam diferentes partes do equipamento formando o circuito desejado. Os principais componentes utilizados para a montagem desejada encontram-se numerados na Figura 10.

Figura 10 – Conectores 1, 2 e 3 de alumínio utilizado no gerador de impulso de corrente.



Fonte: Próprio autor.

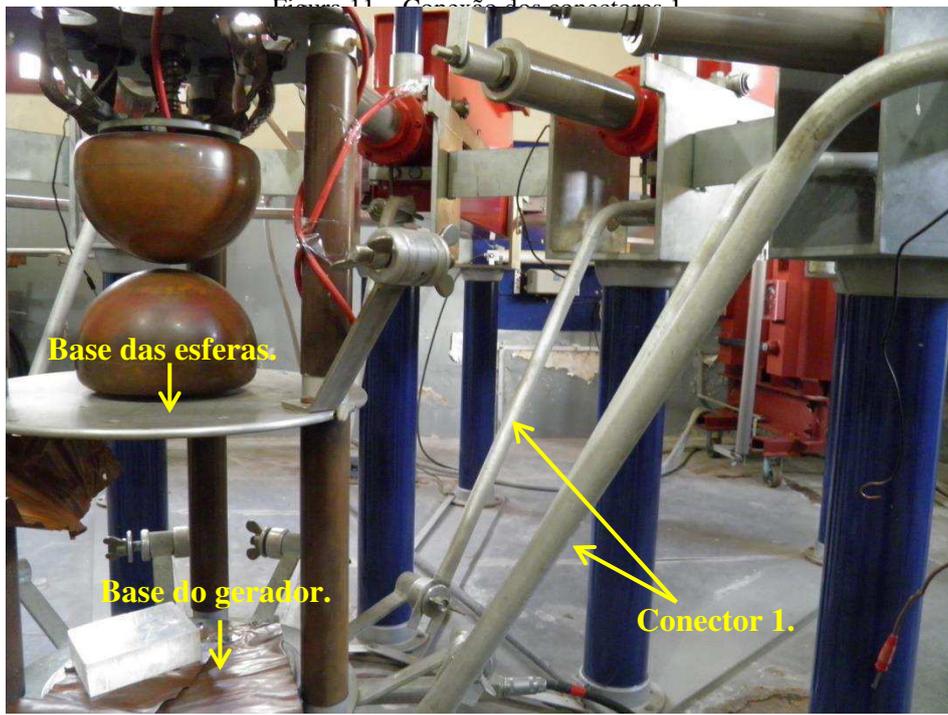
O conector 1 é utilizado para conectar o terminal do capacitor localizado na parte de baixo do mesmo à base redonda do gerador de impulso localizado abaixo da base inferior das esferas, Figura 11.

O conector 2 é utilizado para conectar o terminal do capacitor localizado na frente do mesmo ao indutor do mesmo estágio, Figura 12.

O conector 3 é utilizado para conectar os terminais opostos dos indutores de um estágio para outro estágio, Figura 13.

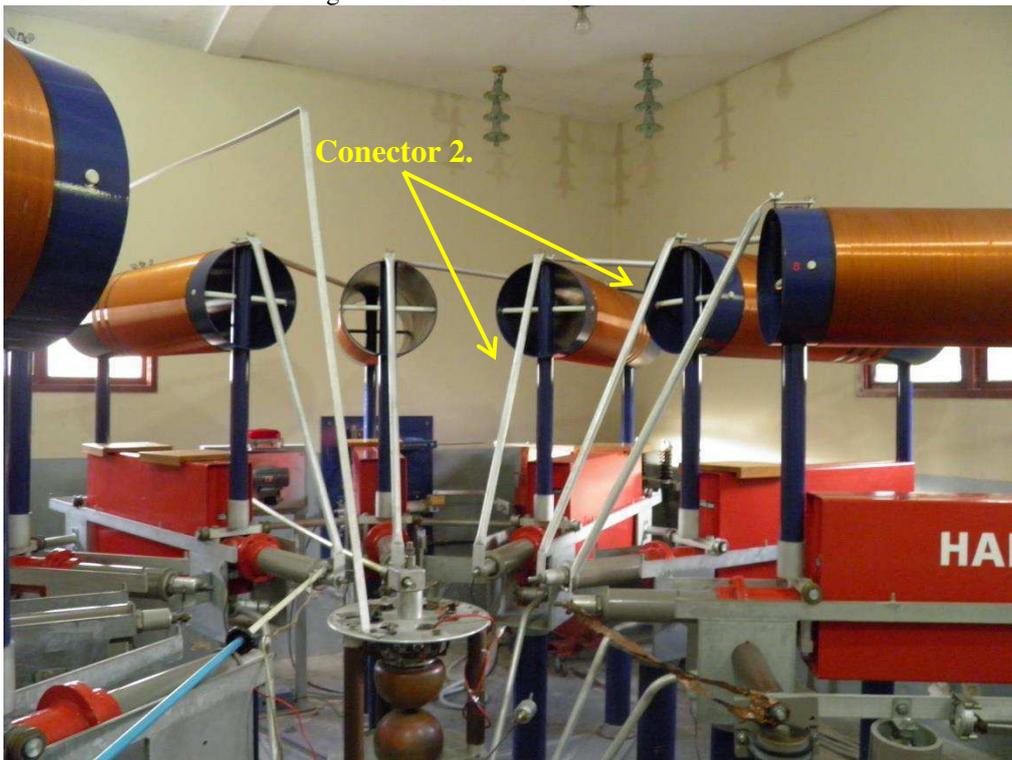
Existe ainda a necessidade de usar um quarto conector que é utilizado para conectar o terminal do último indutor com a base superior das esferas, Figura 14.

Para iniciar a configuração do gerador de impulso, é necessário desconectar todos os capacitores da base superior às esferas. É importante saber que a montagem ocorre pelo uso dos capacitores no sentido indicado na Figura 13, pois só desta forma os conectores de alumínio se encaixaram.



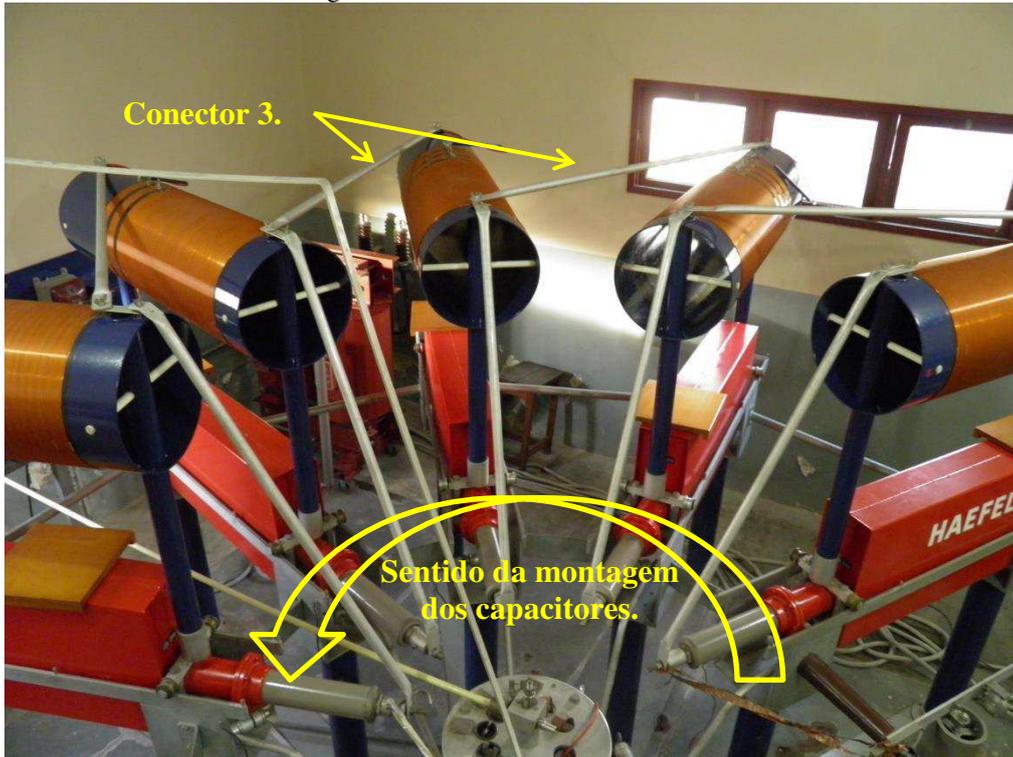
Fonte: Próprio autor.

Figura 12 – Conexão dos conectores 2.



Fonte: Próprio autor.

Figura 13 – Conexão dos conectores 3.



Fonte: Próprio autor.

Figura 14 – Conexão do quarto conector.



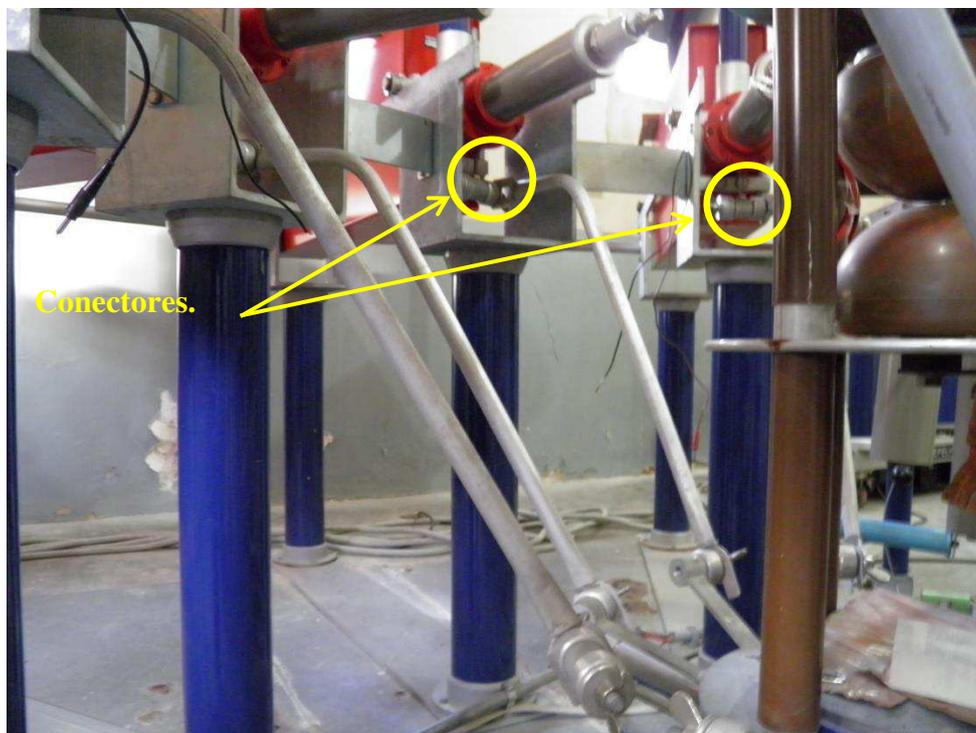
Fonte: Próprio autor.

Aconselha-se que os conectores 3 sejam os primeiros elementos inseridos na montagem. Estes irão determinar a distância que os capacitores deverão se deslocar pela base na qual os mesmos estão colocados.

Em seguida, os conectores 2 e posteriormente os conectores 1. Estes se encaixam com dificuldades, sendo necessário, em alguns casos, desparafusar por completo os conectores da base do capacitor, indicados na Figura 15, para que os conectores 1 possam se encaixar.

Ainda é necessário conectar a saída do diodo ao terminal frontal do capacitor, os mesmos foram conectados com uma fita condutora de cobre por falta do conector original do gerador de impulso de corrente. Por fim, conectar o objeto a ser ensaiado em série com o resistor *shunt* na base inferior das esferas.

Figura 15 – Conectores na base do capacitor.



Fonte: Próprio autor.

#### 3.1.4 GERAÇÃO DA ONDA QUADRADA

Para realizar o ensaio com onda quadrada foi utilizado além do gerador de impulso, um varistor, este usado como o objeto de ensaio, Figura 16, ponta de prova de baixa e alta tensão e osciloscópio. Foi utilizado na montagem o resistor *shunt* de 10,54 mΩ. A Figura 17 mostra os componentes do ensaio.

Figura 16 – Varistor utilizado.



Fonte: Próprio autor.

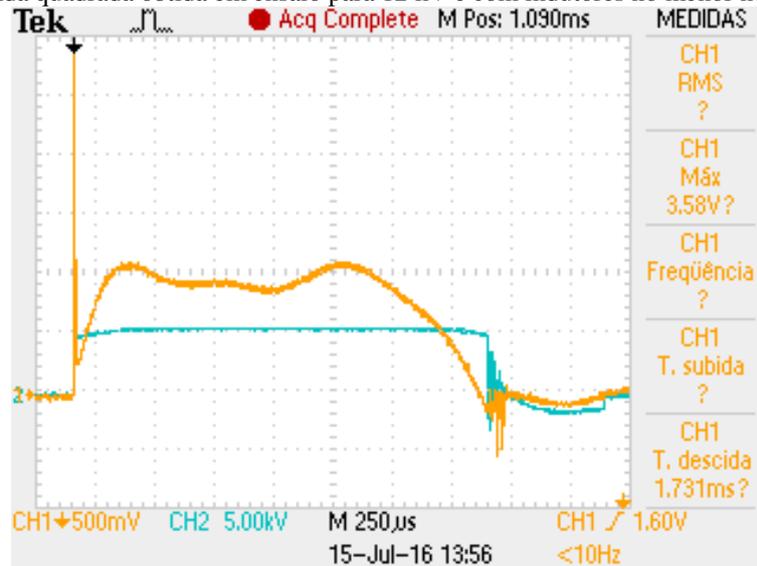
Figura 17 – Componentes do Ensaio.



Fonte: Próprio autor.

Os impulsos de onda quadrada foram obtidos com cinco estágios. A Figura 18 mostra a forma de onda obtida com tensão de carregamento de 12 kV e com indutores conectado no seu menor número de espiras. A curva em amarelo representa corrente e em azul a tensão. A corrente máxima obtida foi de 95 A, o tempo total de 1,75 ms e tempo de duração de pico de 1 ms.

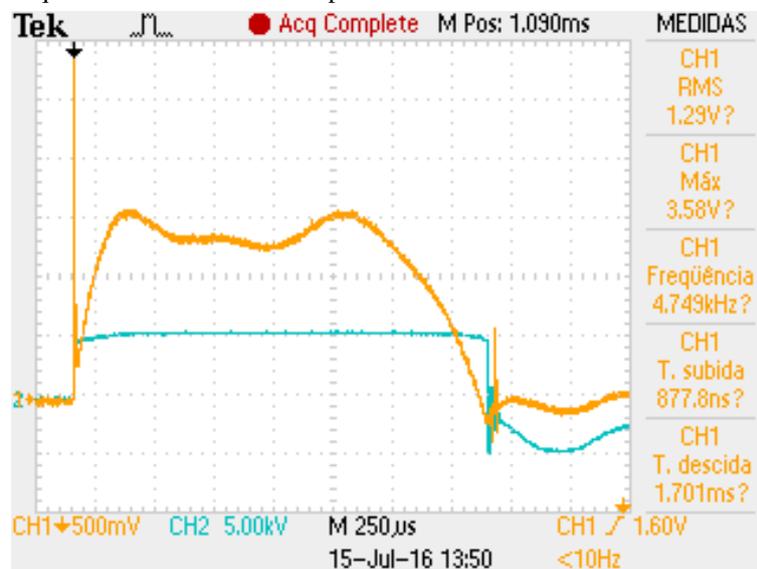
Figura 18 – Onda quadrada obtida em ensaio para 12 kV e com indutores no menor número de espiras.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 19 mostra a forma de onda obtida com tensão de carregamento de 15 kV e com a mesma configuração de indutor. Novamente, curva em amarelo representa corrente e em azul a tensão. A corrente máxima obtida foi de 142 A, o tempo total e tempo de duração de pico continuaram os mesmos.

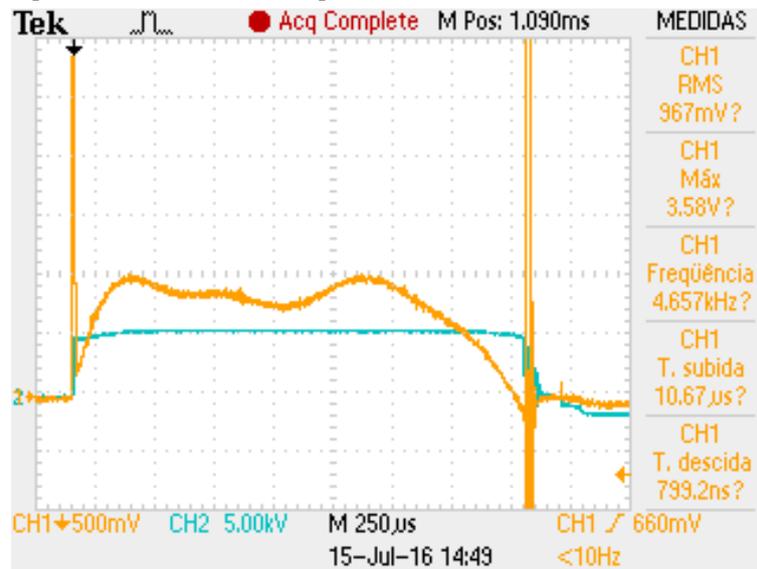
Figura 19 – Onda quadrada obtida em ensaio para 15 kV e com indutores no menor número de espiras.



Fonte: Próprio autor.

A Figura 20 mostra a forma de onda obtida com tensão de carregamento de 12 kV e com indutores conectado no seu máximo número de espiras. A curva em amarelo representa corrente e em azul a tensão. A corrente máxima obtida foi de 95 A, o tempo total de 1,75 ms e tempo de duração de pico de 1 ms.

Figura 20 – Onda quadrada obtida em ensaio para 12 kV e com indutores no máximo número de espiras.



Fonte: Pr&#x00f3prio autor.

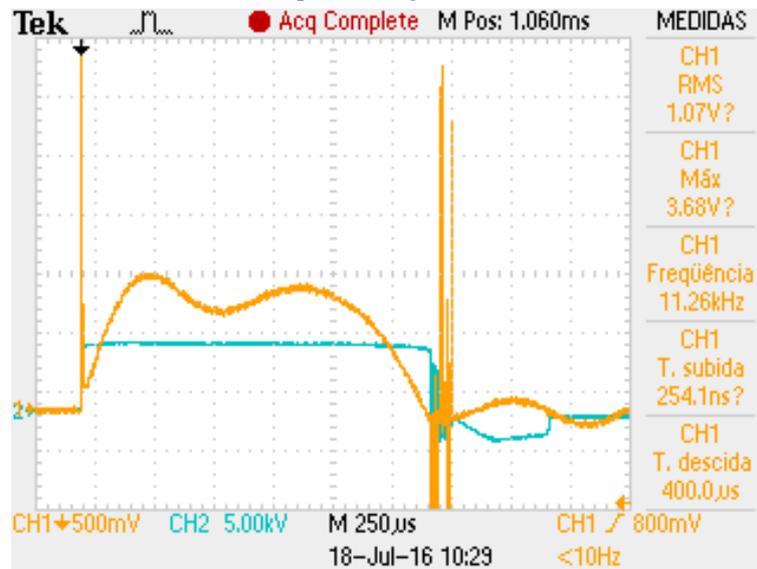
Comparando as ondas mostradas nas Figura 18 e Figura 20 percebe-se diferen&#x00e7a na regi&#x00e3o ondulat&#x00f3ria da onda quadrada e no decaimento final da curva, sendo estas mais intensas para maiores indutores.

Quando comparados as ondas nas Figura 18 e Figura 19 nota-se que para maior tens&#x00e3o de carregamento maior ser&#x00e1 a corrente m&#x00e1;xima obtida. A norma IEC 60099-1 estipula a tens&#x00e3o de carregamento para cada classe de varistor e tempos de dura&#x00e7&#x00e3o de pico da onda quadrada.

A Figura 21 mostra a onda quadrada obtida quando foi associado quatro est&#x00e1gios, os indutores nas suas menores indut&#x00e2ncias e o carregamento de 12 kV. A corrente m&#x00e1;xima obtida foi de 95 A, o tempo total de 1,5 ms e tempo de dura&#x00e7&#x00e3o de pico n&#x00e3o determinado, pois os valores encontram-se abaixo de 90% do valor m&#x00e1;ximo de corrente, n&#x00e3o correspondendo &#x00e0 norma. Por&#x00e9m, ainda pode-se perceber que o tempo total varia com o n&#x00fameros de est&#x00e1gios associados no ensaio, sendo maior para maiores n&#x00fameros de est&#x00e1gios.

Nas imagens dos sinais obtidos observa-se picos de ru&#x00eddos, estes s&#x00e3o proveniente do aterramento da sala do gerador de impulso de corrente.

Figura 21 – Onda quadrada obtida em ensaio com quatro estágios, 12 kV e com indutores no menor número de espiras .



Fonte: Próprio autor.

Assim, foi possível gerar onda de forma quadrada e compreender as modificações causadas na forma de onda quando o número de estágio, o valor do indutor e a tensão de carregamento são variados.

### 3.2 ENSAIO EM ISOLADORES

Foram realizados, no salão de alta tensão, ensaios em isoladores elétricos que são equipamentos utilizados no sistema elétrico de potência com finalidade elétrica e mecânica. Os isoladores devem isolar cabos energizados de sua estrutura de suporte e suportar o peso dos condutores e os esforços de tração.

A câmara de névoa, localizada no salão de alta tensão, possui dimensões 1,2 x 1,0 x 1,0 m e comporta até três isoladores para ensaios simultâneos. A névoa foi gerada por meio de aspersores, que estão presentes no interior da câmara, e dispostos de modo a evitar a incidência direta da névoa sobre os isoladores, Figura 22.

As análises dos dados não foram realizadas pelo estagiário, dessa forma, só serão descritos os procedimentos dos ensaios no laboratório exemplificando os dados que deverão ser obtidos.

Figura 22 – Câmara de nevoa.



Fonte: Próprio autor.

Os ensaios realizados têm como objetivo identificar o comportamento do isolador com limo e com hipoclorito de sódio diluído em água. Os ensaios realizados foram de detecção de fuga de corrente, monitoramento de emissão acústica e medição da radiação eletromagnética. Foram utilizados isoladores de vidro limpos e isoladores de vidro com limo, Figura 23.

Figura 23 – Isolador com limo.



Fonte: Próprio autor.

O isolador ensaiado foi pendurado no interior da câmara de névoa em isoladores suportes, Figura 24. Os isoladores suportes proporcionaram sustentação mecânica e atuaram como alta impedância, fazendo com que a corrente de fuga fosse direcionada para o circuito de medição (NÓBREGA, 2016).

Figura 24 – Isolador ensaiado.

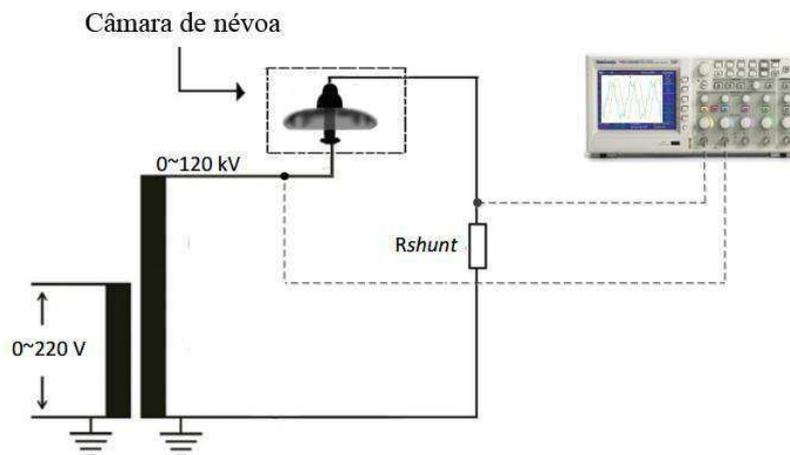


Fonte: Próprio autor.

### 3.2.1 ENSAIO DE CORRENTE DE FUGA

A medição da corrente de fuga que permite avaliar os níveis de descargas em isoladores foi realizada a partir do diagrama esquemático do arranjo experimental apresentado na Figura 25.

Figura 25 – Esquema para medição de corrente de fuga.



Fonte: Próprio autor.

O circuito utilizado é composto por uma mesa de controle, Figura 26, um transformador elevador de tensão (0-120 kV), ponta de prova de alta tensão, o objeto de teste, o isolador a ser ensaiado, em série com o resistor shunt ( $R_{shunt}$ ) e um osciloscópio digital. A corrente de fuga total foi medida indiretamente a partir da queda de tensão no resistor *shunt*.

Figura 26 – Mesa de controle, transformador e ponta de prova utilizada no ensaio.



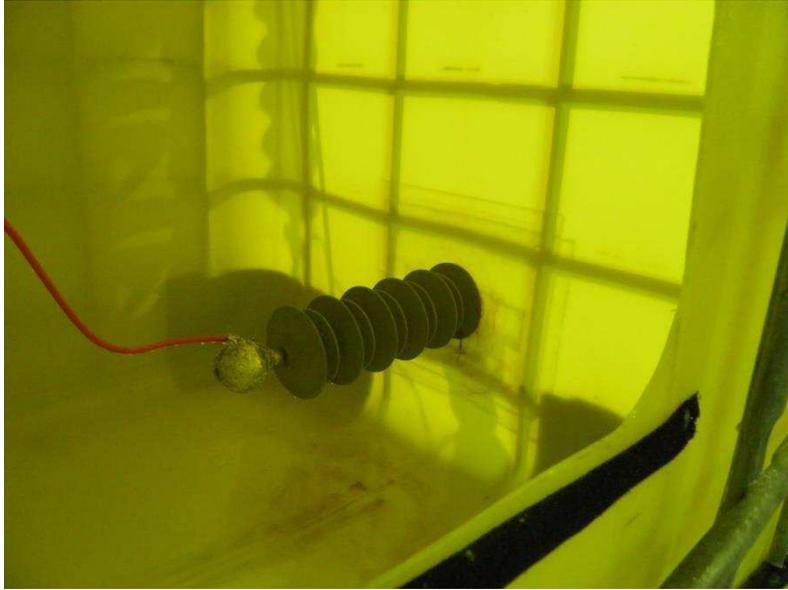
Fonte: Próprio autor.

Os ensaios foram realizados com o isolador nas seguintes condições:

- Isolador limpo e sem névoa;
- Isolador limpo e com névoa;
- Isolador com hipoclorito de sódio e sem névoa;
- Isolador com hipoclorito de sódio e com névoa;
- Isolador com limo e sem névoa;
- Isolador com limo e com névoa;
- Isolador limpo e com névoa de hipoclorito de sódio.

No decorrer do ensaio do isolador limpo e com névoa, perceberam-se descargas no isolador lateral que serve para conectar o cabo utilizado no circuito ao interior da câmara, Figura 27. O ensaio só foi continuado após a troca desse isolador. Na Figura 28 é possível ver algumas falhas no isolador. Na Figura 29 o novo isolador já instalado.

Figura 27 – Isolador lateral da câmara.



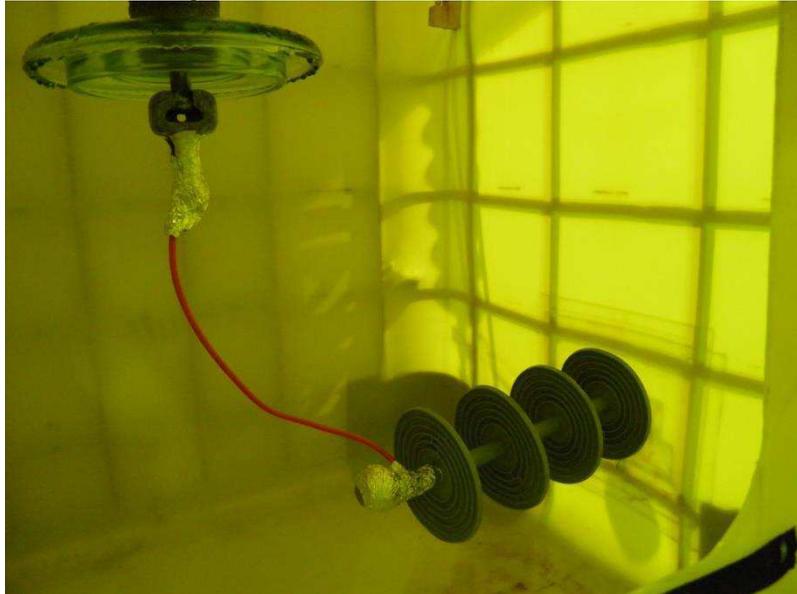
Fonte: Próprio autor.

Figura 28 – Isolador com defeito.



Fonte: Próprio autor.

Figura 29 – Novo isolador lateral da câmara.



Fonte: Próprio autor.

A aquisição dos dados era feita a cada cinco segundo com media de duração total de vinte minutos, onde os primeiros e últimos minutos a névoa não estava presente. Os valores de picos da corrente de fuga eram anotados com o intuito de construir um gráfico tempo por corrente para análise do comportamento. A Figura 30 mostra a curva da corrente de fuga (em amarelo) e da tensão (em azul) obtido durante o ensaio.

Figura 30 – Corrente de fuga e tensão no isolador.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.2 MONITORAMENTO DE EMISSÃO ACÚSTICA

O monitoramento de emissão acústica é feita com o objetivo de aumentar a confiabilidade dos dados obtidos no ensaio de corrente de fuga, visto que este é susceptível às interferências eletromagnéticas do ambiente.

A detecção das emissões acústicas das descargas corona é uma alternativa viável aos métodos que possuem sensibilidade a campos eletromagnéticos, tendo em vista que as inspeções acústicas, que empregam ruídos ultrassônicos, são baseadas em um efeito mecânico das descargas elétricas (FLORENTINO, 2015).

Os ruídos ultrassônicos são detectados pelo Kit do *Ultraprobe 2000 MPH*, Figura 31. O equipamento é conectado a entrada de áudio do computador e em seguida direcionado ao isolador em ensaio para aquisição dos sinais emitidos logo após o ensaio com névoa para evitar interferência no sinal. Os sinais obtidos são armazenados em um computador para futura análise.

Figura 31 – Ultraprobe 2000 MPH.



Fonte: Próprio autor.

### 3.2.3 MEDIÇÕES DA RADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA

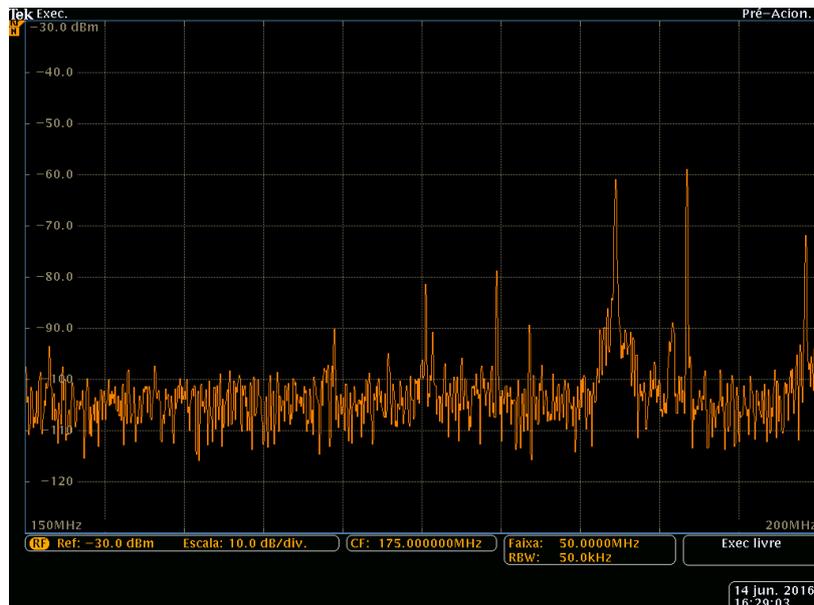
Durante os ensaios na câmara de névoa foram feitas medições de radiação eletromagnética, utilizando uma antena passiva Oregon com faixa de frequência de 100 MHz a 1 GHz. As aquisições dos sinais foram feitas a cada 50Mhz. Os sinais obtidos serão analisados para identificar possíveis interferências do limo. Na Figura 32, encontra-se uma foto da medição durante o ensaio e na Figura 33, um exemplo dos dados obtidos.

Figura 32 – Ensaio de medições de irradiação eletromagnética.



Fonte: Próprio autor.

Figura 33 – Dados obtidos nas medições de irradiação.



Fonte: Próprio autor.

### 3.3 OUTRAS ATIVIDADES

Durante o período de estágio, foi prestado auxílio na disciplina de laboratório de equipamentos elétricos e na manutenção das resistências do gerador de impulso de tensão.

Foi mostrado aos alunos matriculados no laboratório de equipamentos elétricos o ensaio em transformadores que consiste nos experimentos de polaridades do transformador, determinação da curva de magnetização, corrente a vazio e medição de perdas, relação de transformação, operação em curto-circuito e medição de resistência de isolamento. Na Figura 34 encontra-se uma foto do transformador de 45 KVA ensaiado.

Figura 34 – Transformador utilizado nos experimentos.



Fonte: Próprio autor.

Já a manutenção nos resistores do gerador de impulso de corrente consiste em verificar se os mesmos ainda estão em boas condições. Foi verificado, com auxílio do multímetro, que seis resistores estão danificados. Dessa forma a reconstrução dos mesmos é estudada.

Os resistores do gerador de impulso de tensão são formados por fios enrolados de tal forma que não haja indutância. Dessa forma, foram medidas as dimensões dos resistores para determinar o comprimento do fio que será enrolado com ajuda de uma bobinadeira. Na Figura 35 encontram-se os resistores defeituosos e na Figura 36 o gerador de impulso de tensão.

Figura 35 – Resistores defeituosos.



Fonte: Próprio autor.

Figura 36– Gerador de impulso de tensão.



Fonte: Próprio autor.

## 4 CONCLUSÃO

As atividades de estágio desenvolvidas permitiram aplicar alguns dos conhecimentos teóricos adquiridos durante o curso de graduação, em particular na área de alta tensão.

As atividades de configuração do gerador de impulso de corrente para geração de impulsos de logo duração poderão auxiliar, através deste documento que descreve de forma detalhada todo o processo de montagem, futuros ensaios. Ressalta-se a importância das medições das indutâncias, antes desconhecidas, do gerador de impulso de corrente.

O acompanhamento do ensaio em isoladores mostrou-se bastante proveitoso, pois permitiu ao estagiário abranger seus conhecimentos nos experimentos com câmara de névoa, monitoramento de emissão acústica e medição de sinal de radiofrequência.

O estagiário deixou sua contribuição nas atividades realizadas com o gerador de impulso de tensão e no laboratório de equipamentos elétricos, embora ambas não tenha sido encerradas.

Dessa forma, pode-se afirmar que as atividades planejadas para o estágio, tais como atividades laboratoriais, acompanhamento de experimentos, foram realizadas com sucesso.

## BIBLIOGRAFIA

DEE. Departamento de Engenharia elétrica. **dee**. Disponível em: <<https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/>>. Acesso em: 29 junho 2016.

FLORENTINO, M. T. B. **ANÁLISE DE SENSIBILIDADE DO MÉTODO DOS VETORES DE**. Universidade federal de Campina Grande. Campina Grande. 2015.

NÓBREGA, R. B. D. **AVALIAÇÃO DE UMA NOVA CARGA NA COMPOSIÇÃO DE**. Universidade Federal de Campina Grande. Campina Grande. 2016.

SCHON, K. **High Impulse Voltage and Current Measurement Techniques**. [S.l.]: Springer, 2013. 264 p.

