



Universidade Federal
de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

MATHEUS DANTAS DE LUCENA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2017

MATHEUS DANTAS DE LUCENA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

*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.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador:

Professor, George Rossany Soares de Lira, D.Sc.

Campina Grande, Paraíba
Setembro de 2017

MATHEUS DANTAS DE LUCENA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO
LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

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.

Área de Concentração: Eletrotécnica

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

Dedico este trabalho à minha família e, em especial aos meus pais e irmão.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus, que permitiu que este momento fosse vivido por mim, trazendo alegria aos meus pais, me dando saúde e inteligência para superar todas as dificuldades e conseguir chegar onde hoje estou.

À minha mãe Maria do Socorro, que apesar de todas as dificuldades, me fortaleceu, sendo uma heroína a todo o tempo, me dando apoio e incentivo nas horas difíceis, desânimo e cansaço.

Ao meu pai José Florentino, que sempre me deu suporte e conselhos de como crescer e se tornar um homem e um bom profissional.

Ao meu irmão João Pedro, pela amizade, companheirismo, apoio e confiança.

Agradeço também a toda minha família, que com todo carinho e apoio, não mediu esforços para eu chegar a esta etapa da minha vida.

Agradeço à minha namorada Catarina, que tem entendido minhas ausências, por mais que menores, que me incentiva e acredita em mim, até mais do que eu mesmo. Por todo amor, carinho e compreensão, sem discernir momentos fáceis de difíceis, sempre estando ao meu lado. Obrigado por me mostrar que sou capaz de tudo isso muito mais.

Agradeço aos meus professores do curso de Engenharia Elétrica, em especial ao professor Tarso, que hoje se encontra lecionando na UFS, por ter me acolhido no Laboratório de Alta Tensão (LAT) e me orientado sempre que possível e aos professores George e Ronimack, pelas respectivas orientação e supervisão, bem como pela confiança em mim depositada.

Aos alunos da pós-graduação, Adriano, Henrique e Herbet, por se mostrarem sempre solícitos e dispostos a me ensinar os conhecimentos necessários para a realização do estágio e outras atividades acadêmicas.

Aos funcionários do LAT, mais especificamente a Francisco, Adriano e Igor, pela grande ajuda prestada sempre que foi preciso.

Aos meus amigos de longa data e aos que fiz em curso e que levo para a vida, que têm acompanhado toda a minha trajetória, dividindo comigo felicidades e frustrações.

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

*“É hora de aprender o que significa
ser um homem.”*

Bruce Wayne.

RESUMO

Neste relatório serão descritas as atividades desenvolvidas pelo aluno Matheus Dantas de Lucena desenvolvidas durante Estágio Curricular Supervisionado creditado em 180 horas e sem vínculo financeiro, sendo realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG. Serão abordadas atividades relativas ao estudo do termovisor, manutenção, ensaios e monitoramento de Disjuntores de Alta Tensão, além do estudo das normas descritivas do processo de acreditação de laboratórios para ensaios e calibrações.

Palavras-chave: Estudo, Termovisor, Manutenção, Ensaios, Monitoramento, Normas, Acreditação, Estágio, Alta Tensão.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Visão Geral do Salão de Alta Tensão	14
Figura 2 - Sala de Ensaios	14
Figura 3 - Disjuntor de Alta Tensão	17
Figura 4 - Componentes de um disjuntor a gvo.....	Erro! Indicador não definido.
Figura 5 - Termovisor Thermacam P65 e Acessórios	28
Figura 6 - Exemplo de Imagem Capturada pela Thermacam P65	28
Figura 7 - Disjuntor Trifásico do Tipo PVO	29
Figura 8 – Sistema de Análise de Óleos Isolantes	30
Figura 9 - Bomba a Vácuo Utilizada no Tratamento do Óleo	Erro! Indicador não definido.
Figura 10 - Filtros Utilizados no Tratamento do Óleo.....	31
Figura 11 - Sistema de Carregamento da Bateria Estacionária.....	32
Figura 12 - Sistema de Acionamento dos Resistores Ajustáveis de Cromo-Alumínio-Ferro.....	32
Figura 13 - Ilustração do Arranjo Adotado para Ensaios de MRD.....	33
Figura 14 – Arranjo Experimental utilizado nos Ensaios de MRD	33
Figura 15 - Sinais de Tensão nos Terminais dos Disjuntores e da Tensão de Saída no Transdutor	34
Figura 16 - Antena Tipo Patch após Corrosão do Cobre da Placa.....	35
Figura 17 - Antena Direcional Log-Periódica de Banda Larga	36
Figura 18 - Arranjo Experimental para Medição do Sinal Eletromagnético com a Antena Tipo Patch Perpendicular à Antena Direcional	37
Figura 19 - Sinal Eletromagnético Detectado pelas Antenas Posicionadas Perpendicularmente Entre Si .	38

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CIDA	<i>Canadian International Development Agency</i>
LAT	Laboratório de Alta Tensão
CGCRE	Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro
DICLA	Divisão de Acreditação de Laboratórios e de Provedores de Ensaio de Proficiência
FOR	Formulário
GAT	Grupo de Alta Tensão
GTZ	<i>German Technical Cooperation Agency</i>
GVO	Grande Volume de Óleo
IEC	International Electrotechnical Commission
INMETRO	Instituto Nacional de Metrologia, Qualidade e Tecnologia
ISO	International Organization for Standardization
MRD	Medição de Resistência Dinâmica de Contato
MRE	Medição de Resistência Estática de Contato
NBR	Norma Brasileira Aprovada pela ABNT
LAESE	Laboratório de Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos
LGIC	Laboratório do Gerador de Impulso de Corrente
LMEE	Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos
PVO	Pequeno Volume de Óleo
SAT	Salão de Alta Tensão
SKAT	Sala do Kit de Alta Tensão
TRT	Tensão de Restabelecimento Transitória

SUMÁRIO

1	Introdução.....	11
1.1	Objetivos.....	11
1.2	Laboratório de Alta Tensão.....	12
1.2.1	Laboratório de Materiais e Equipamentos Elétricos (LMEE).....	13
1.2.2	Salão de Alta Tensão (SAT).....	13
1.2.3	Sala de Ensaios.....	14
2	Fundamentação Teórica.....	15
2.1	Termovisor.....	15
2.2	Disjuntores de Alta Tensão.....	16
2.2.1	Tipos de Disjuntores.....	18
2.2.1.1	Disjuntores a Óleo.....	18
2.2.1.2	Disjuntores a Vácuo.....	19
2.2.1.3	Disjuntores a SF ₆	20
2.2.1.4	Disjuntores a Ar Comprimido.....	21
2.2.1.5	Disjuntores a Sopro Magnético.....	21
2.2.2	Câmaras de Extinção.....	22
2.2.3	Manutenção em Disjuntores.....	23
2.2.3.1	Avaliação do Meio Isolante.....	25
2.2.4	Medição da Resistência do Contato em Disjuntores.....	25
3	Atividades Realizadas.....	27
3.1	Estudo do Termovisor.....	27
3.2	Manutenção de Disjuntores.....	29
3.3	Medição da Resistência Dinâmica dos Contatos de um Disjuntor (MRD).....	32
3.4	Fabricação de Antenas para Detecção de Irradiação Eletromagnética do Arco Elétrico.....	34
3.5	Monitoramento de Disjuntores por meio do Sinal Eletromagnético Irrradiado.....	35
3.6	Estudo sobre o Processo de Acreditação de um Laboratório.....	38
4	Conclusões.....	41
5	Referências Bibliográficas.....	42

1 INTRODUÇÃO

Neste relatório serão apresentadas as atividades desenvolvidas pelo aluno Matheus Dantas de Lucena durante Estágio Curricular Supervisionado, o qual é requisito para obtenção do Grau Bacharel em Engenharia Elétrica na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). O estágio contou com uma carga horária de 200 horas que foram preenchidas em 18 horas semanais, tendo início em 19 de Maio de 2017 e término em 04 de Agosto de 2017.

O estágio foi realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da UFCG sob a orientação do Professor George Rossany Soares de Lira e supervisão do Professor Ronimack Trajano de Souza.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo deste relatório é descrever as atividades realizadas pelo estagiário visando, junto com sua defesa, comprovar a realização do mesmo junto à Coordenação de Graduação em Engenharia Elétrica da UFCG. Como objetivos gerais, têm-se:

- Estudos de normas técnicas;
- Confeção e montagem de arranjos experimentais;
- Ensaio em laboratório;
- Elaboração de relatórios técnicos.

Como objetivos específicos, têm-se:

- Treinamento para o uso e aquisição de imagens em Termovisor;
- Retirada e filtragem de óleo de Disjuntores de Alta Tensão usando a bomba de sucção;
- Redução da umidade do óleo filtrado utilizando uma estufa;
- Realização de ensaios em Disjuntores de Alta Tensão;
- Inspeção de Disjuntores de Alta Tensão;

- Fabricação e Uso de Antenas em Monitoramento de Disjuntores por meio do Sinal Eletromagnético Irradiado pelo Arco Elétrico;
- Diagnóstico de Disjuntores de Alta Tensão por meio da Medição de Resistência Dinâmica de Contato (MRD);
- Estudo das normas de acreditação de um laboratório e sua apresentação.

1.2 LABORATÓRIO DE ALTA TENSÃO

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) começou a ser implantado em 1974, graças a uma associação de recursos nacionais com os de algumas cooperações técnicas internacionais. Hoje, é na sua especialidade, o laboratório melhor equipado do Norte-Nordeste do país, com uma área construída de 1.050 m² (LAT, 2017).

O LAT entrou em operação em 1975, passando a ser utilizado pelo Grupo de Alta Tensão (GAT) da UFCG (então Universidade Federal da Paraíba, UFPB) no desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa.

O Grupo era formado na época por professores e pesquisadores brasileiros, europeus, indianos e canadenses. Os pesquisadores estrangeiros tiveram suporte financeiro do governo brasileiro e de agências de fomento estrangeiras. O LAT obteve por meio de convênios com a *Canadian International Development Agency* (CIDA) e a *German Technical Cooperation Agency* (GTZ) diversos equipamentos de alto custo e complexidade, que o permitiram caracterizar-se como o Laboratório mais bem equipado e estruturado do Norte/Nordeste/Centro-Oeste do Brasil, na época (LAT, 2017).

Atualmente, o LAT possui equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares 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.

Atualmente o LAT é composto pelos seguintes ambientes de laboratório:

- 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 Eletrônica Aplicada a Sistemas Elétricos (LEASE).

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

1.2.1 LABORATÓRIO DE MATERIAIS E EQUIPAMENTOS ELÉTRICOS (LMEE)

O laboratório tem como finalidade básica, consolidar os conhecimentos adquiridos na disciplina Materiais Elétricos. 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.

1.2.2 SALÃO DE ALTA TENSÃO (SAT)

É o principal ambiente utilizado para realização de ensaios do LAT, no qual 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. Na Figura 1 é mostrada uma fotografia da visão geral do Salão de Alta Tensão.

Figura 1 - Visão Geral do Salão de Alta Tensão.



Fonte: Próprio autor.

1.2.3 SALA DE ENSAIOS

Esta sala funcionava anteriormente como o Laboratório de Instalações Elétricas. Atualmente é utilizada para realização de ensaios que exijam tensões de até 120 kV. Nela se dispõe de um transformador de 7,5 kVA 220 V/120 kV e corrente de até 100 mA. Durante o período de estágio, esta sala foi utilizada para a realização de ensaios de medição de resistência dinâmica de contato de disjuntores, bem como todas as etapas para a inspeção, limpeza e tratamento dos mesmos. Na Figura 2 é apresentada uma fotografia da sala de ensaios.

Figura 2 - Sala de Ensaio.



Fonte: Próprio autor.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Uma breve fundamentação teórica sobre o termovisor, será apresentada no tópico a seguir. Em seguida, os disjuntores de alta tensão, seus tipos (de acordo com o meio isolante), seus componentes principais, bem como a manutenção dos mesmos, com destaque para a avaliação do meio isolante, serão apresentados. Por fim, um método de avaliação do estado dos contatos dos disjuntores será comentado.

2.1 TERMOVISOR

A inspeção termográfica (termografia) é uma técnica não destrutiva que utiliza os raios infravermelhos para medir temperaturas ou observar padrões diferenciais de distribuição de temperatura, com o objetivo de propiciar informações relativas à condição operacional de um componente, equipamento ou processo. A termografia se apresenta como uma técnica de inspeção extremamente útil, uma vez que permite realizar medições sem contato físico com a instalação, verificar equipamentos em pleno funcionamento e inspecionar grandes superfícies em pouco tempo.

O equipamento utilizado nas inspeções termográficas é o termovisor, que é capaz de representar graficamente a emissão de radiação infravermelha de objetos. Após a coleta de imagens termovisivas, realiza-se a comparação entre imagens de equipamentos perfeitos e equipamentos que apresentam gradientes de temperatura suspeitos, podendo detectar assim os defeitos. Existem softwares desenvolvidos para a posterior análise das informações termográficas obtidas, permitindo que os dados sejam empregados em análises preditivas (FLIR, 2017).

Um aspecto importante na realização das inspeções é a emissividade do material. Trata-se da relação entre o poder emissivo de um corpo qualquer e a de um corpo negro, podendo ter um valor máximo igual à unidade (corpo negro), e um mínimo igual a zero (WANDERLEY NETO et al, 2017). Um ajuste de emissividade equivocado no termovisor pode levar a conclusões equivocadas, prejudicando a tomada de decisão.

Este tipo de equipamento é aplicável à manutenção preventiva em diversos setores, como eletroeletrônica, engenharia, mecânica, construção civil, segurança do trabalho,

náutica (MECATRÔNICA, 2010, p.10). Tal como nos equipamentos fotográficos, os termovisores possuem objetivas intercambiáveis que possibilitam adequar o campo de visão do aparelho às necessidades específicas de cada observação.

As imagens são geradas em branco e preto, podendo ser convertidas em imagens coloridas pela substituição da escala de cinza por uma escala de cores.

2.2 DISJUNTORES DE ALTA TENSÃO

Os disjuntores são dispositivos de proteção eletromecânicos cuja principal função é a interrupção de correntes de falhas, em especial as correntes provenientes de curto-circuito na rede elétrica. Os disjuntores devem ser capazes de interromper correntes de falhas no menor tempo possível, independentemente da quantidade de tempo que permaneceram sem operar, de modo a limitar os efeitos de degradação dos seus contatos, bem como para controlar o tempo de duração da falta (GARZON, 2002). Além disso, os disjuntores devem ser capazes de estabelecer e interromper a corrente nominal ou inferior, e de isolar trechos da rede elétrica quando na posição aberta.

Quando os contatos do disjuntor se encontram na posição fechada, eles devem apresentar entre si uma impedância muito pequena, da ordem de microohms, e quando se encontram na posição aberta, uma impedância extremamente elevada, idealmente com um valor infinito.

O disjuntor deve ser capaz de alterar o seu estado de fechado para aberto ou vice-versa a partir de quaisquer condições do circuito, a uma taxa de variação da impedância compatível com os parâmetros do circuito. Se a taxa de variação da impedância ocorre em um tempo relativamente longo, a comutação envolve uma energia térmica considerável, a qual o disjuntor deverá absorver e dissipar, tornando o dispositivo maior e mais oneroso (FLURSCHEIM, 2008). Na Figura 3 é apresentado um Disjuntor de Alta Tensão.

Figura 3 - Disjuntor de Alta Tensão.



Fonte: Eletromax – Soluções Elétricas.

Os disjuntores em operação devem satisfazer as seguintes condições:

- Abrir e fechar o circuito no menor tempo possível;
- Conduzir e suportar termicamente a corrente de carga do sistema;
- Suportar térmica e mecanicamente a corrente de curto-circuito do sistema por um determinado tempo, de acordo com as especificações do fabricante;
- Isolar a tensão do sistema, em relação ao terra e entre seus polos;
- Possuir resistência mecânica suficiente para suportar as vibrações geradas durante as operações de fechamento e abertura.

A necessidade de realizar todas essas tarefas de forma absolutamente confiável para evitar danos aos demais equipamentos, inclui os disjuntores entre os equipamentos de maior complexidade instalados nas subestações de geração, transmissão e distribuição de energia elétrica.

Os disjuntores de alta tensão são constituídos por três componentes principais:

- Câmara de extinção: compartimento vedado do disjuntor que envolve os contatos elétricos, o meio extintor e isolante (como óleo e SF₆), e também é onde acontece o isolamento e extinção de arco elétrico;
- Mecanismo de acionamento: sistema mecânico composto por molas, mecanismo pneumático ou hidráulico que fornecem a energia necessária para fechar e abrir os contatos do disjuntor. Podem ser acionados de forma manual com o uso de manoplas ou através de atuadores elétricos;

- Circuito de controle: sistema elétrico, interligado com relés de proteção, com acionamento local e/ou remoto, responsável pelas ações de comando para as operações de fechamento e abertura dos contatos do disjuntor.

Os disjuntores são classificados usando critérios, tais como: tensão de aplicação, local de instalação (interno ou externo), características de construção e, o mais importante, o princípio utilizado na extinção do arco elétrico.

Quanto às características de construção, há duas categorias de disjuntores: uma onde a câmara de extinção é metálica e aterrada ("*deadtank*"), e outra onde a câmara é isolada do terra ("*livetank*").

Os arcos elétricos se formam a partir dos gases ionizados entre os contatos já separados (MCDONALD, 2003). Desse modo, a recuperação dielétrica do meio deve ocorrer o mais rápido possível, de modo a extinguir o arco elétrico formado entre os contatos.

2.2.1 TIPOS DE DISJUNTORES

Os disjuntores podem ser classificados de acordo com o princípio utilizado para interromper os arcos elétricos nas suas câmaras de extinção. Nesta seção serão apresentados os tipos de disjuntores.

2.2.1.1 DISJUNTORES A ÓLEO

Nos disjuntores a óleo, os contatos fixo e móvel ficam imersos em óleo mineral isolante (óleo naftênico ou parafínico). A câmara de extinção fica preenchida pelo óleo que possui duas funções: extinção dos arcos elétricos e isolação entre as partes energizadas e o tanque (FLURSCHEIM, 2008).

O óleo mineral atua no sentido de extinguir o arco elétrico de duas formas: alongando o arco através de um defletor, fazendo com que o arco seja interrompido na passagem da corrente pelo zero, e promovendo o resfriamento do arco.

Durante as operações de interrupção de corrente em um disjuntor a óleo, as altas temperaturas geradas pela formação de arcos elétricos provocam a decomposição do óleo isolante. Dentre os vários tipos de gases em que o óleo se decompõe, o hidrogênio é o principal responsável pela extinção do arco elétrico, pois suas propriedades refrigerantes contribuem para retirar o calor do arco.

A decomposição do óleo isolante também produz resíduos condutores a base de carbono, comprometendo suas características dielétricas. Desse modo, o óleo precisa ser recuperado após um certo número de interrupções de curto-circuito. Além disso, a fim de evitar o acúmulo destes resíduos próximo aos contatos, as câmaras de extinção de disjuntores a óleo não devem ser instaladas na posição horizontal.

Os disjuntores a óleo são divididos em duas categorias:

- Disjuntores a pequeno volume de óleo (PVO): possuem alta capacidade de interrupção em curto-circuito e são utilizados em sistemas de média e alta tensão (até 230 kV);
- Disjuntores a grande volume de óleo (GVO): o volume de óleo foi consideravelmente reduzido e as câmaras de extinção projetadas com sistemas de fluxo de óleo forçado, aumentando a eficiência no processo de interrupção de corrente. São relativamente leves e compactos, de fácil manutenção e usualmente são utilizados em sistemas de média tensão.

2.2.1.2 DISJUNTORES A VÁCUO

Em disjuntores a vácuo, os contatos elétricos ficam localizados no interior de uma ampola com elevado nível de vácuo. Apesar da quase inexistência de íons positivos e elétrons, ainda existe a formação de arcos elétricos. Isto ocorre devido à evaporação de partículas metálicas dos contatos durante as operações de interrupção de corrente, fornecendo um meio para formação do processo de ionização. Mesmo assim, a duração dos arcos é muito pequena, visto que a intensidade da nuvem de vapor metálico é proporcional a intensidade da corrente de arco, desse modo, correntes de baixa intensidade não são suficientes para manter a descarga, sendo interrompidas antes da passagem por zero (OLIVEIRA, 2015).

Os vapores metálicos formados na ampola de vácuo são altamente condutivos, gerando uma tensão de arco muito pequena, de tal forma que a energia liberada quase não causa desgaste no material dos contatos, visto que quando o arco elétrico é extinto, o vapor metálico rapidamente se condensa na superfície dos contatos, restabelecendo a rigidez dielétrica.

A curta duração dos arcos elétricos e a pequena quantidade de energia liberada durante os processos de interrupção de corrente explicam a elevada expectativa de vida

dos contatos elétricos de disjuntores a vácuo. Além disso, uma das principais vantagens dos disjuntores a vácuo é que os mesmos não requerem manutenções.

Disjuntores a vácuo vêm sendo utilizados cada vez mais em sistemas de média tensão, e até mesmo, em alguns casos, em sistemas acima de 52 kV.

2.2.1.3 DISJUNTORES A SF₆

O hexafluoreto de enxofre (SF₆) é um gás isolante, inerte, não inflamável e que possui ótimas propriedades refrigerantes. Tais características o tornam ideal para a fabricação de equipamentos elétricos de alta capacidade e desempenho. Além disso suas propriedades isolantes permitem o desenvolvimento de equipamentos mais compactos e seguros. Em pressão atmosférica, o SF₆ possui rigidez dielétrica 2,5 vezes maior que a do ar (D'AJUZ *et al*, 1985).

A principal característica do SF₆ que permite sua utilização como gás isolante é a sua alta eletronegatividade, ou seja, sua capacidade de absorver elétrons livres de modo a formar íons negativos, o que dificulta o processo de ionização formador dos arcos elétricos.

A decomposição do SF₆ devido à formação de arcos elétricos produz vários tipos de gases, e alguns deles são corrosivos. Sendo assim, um dos principais problemas relacionados a fabricação de disjuntores a SF₆ é a escolha da tecnologia e dos materiais ao serem empregados em contato com o gás.

Uma das grandes vantagens dos disjuntores a SF₆ é que eles requerem pouca manutenção, pois os componentes em que o gás se decompõe durante as interrupções de corrente não são condutores.

Existem dois tipos de tecnologias empregadas nas câmaras de extinção de disjuntores a SF₆. Os modelos mais modernos utilizam um sistema de pressão única, em que o gás é impulsionado na direção do arco elétrico pela própria movimentação dos contatos (FRONTIM *et al*, 2013).

Algumas de suas desvantagens são o alto custo do gás e do sistema de monitoramento de pressão, necessário para garantir que o mesmo mantenha o nível de rigidez dielétrica desejável. Além disso, devido à compressão do gás, as frequências de oscilação relacionadas aos fenômenos transitórios durante a operação do disjuntor (TRT) são mais elevadas.

2.2.1.4 DISJUNTORES A AR COMPRIMIDO

Nos disjuntores a ar comprimido, o ar é utilizado tanto para a isolação interna do disjuntor como para a extinção dos arcos elétricos. Para isso, ele necessita ser mantido em alta pressão. Um jato de ar, com velocidade proporcional à pressão em que é mantido, é propelido na direção do arco elétrico (em geral, transversalmente), promovendo a extinção do arco a partir do seu resfriamento. Em alguns casos, o ar também é utilizado como mecanismo de acionamento dos contatos (CARVALHO *et al*, 1995).

Esses disjuntores possuem um reservatório que fornece o ar para a extinção de arco, onde o ar é mantido a uma pressão de aproximadamente cinco ou seis vezes maior que a pressão do ar no interior da câmara de extinção de arco. Para estes equipamentos, a extinção do arco é independente da corrente a ser interrompida, e o tempo de interrupção é da ordem de 2 ciclos (GREMMEL, 2002; D'AJUZ *et al*, 1985).

Sabendo que o próprio ar é utilizado como mecanismo de extinção de arcos, a poluição no interior da câmara de extinção é baixa, o que implica numa baixa demanda de manutenção. Entretanto, um sistema de monitoramento do sistema de compressão de ar deve ser implementado para garantir que a isolação e a capacidade de interrupção de corrente não sejam comprometidas, o que vem a elevar os custos da instalação dos mesmos.

Caso o disjuntor não seja instalado em um local remoto, o alto nível de ruído sonoro gerado durante as operações de interrupção faz com que seja necessário o uso de supressores de ruído, tornando sua instalação ainda mais onerosa.

Existem duas técnicas utilizadas para promover a extinção do arco elétrico em disjuntores a ar comprimido: sopro unidirecional (*monoblast*) e sopro bidirecional (*duoblast*), sendo esta última a mais eficiente e mais utilizada atualmente (FRONTIM *et al*, 2013).

2.2.1.5 DISJUNTORES A SOPRO MAGNÉTICO

Nos disjuntores a sopro magnético, os contatos abrem e fecham no ar em pressão atmosférica. Devido ao seu tipo de construção, os disjuntores a sopro magnético são de uso restrito a aplicações de baixa tensão (até 24 kV), instalações de alta segurança ou sistemas industriais (ARAÚJO, 2001).

Nas suas câmaras de extinção existem várias lâminas metálicas com o propósito de dividir e resfriar o arco elétrico, facilitando a desionização e a extinção do arco. Nestes equipamentos, as forças que impelem o arco elétrico para dentro das fendas da câmara de extinção são geradas pela presença de um intenso campo magnético das lâminas metálicas ou, eventualmente, por um sopro pneumático auxiliar produzido pelo mecanismo de acionamento. O arco é resfriado como consequência do seu alongamento em contato com as paredes da câmara (ARAÚJO, 2001).

Devido ao princípio utilizado na extinção dos arcos elétricos, os disjuntores a sopro magnético possuem um tempo de extinção de arco muito grande em relação a outros tipos de disjuntores, o que explica a sua limitação de uso em sistemas de baixa tensão.

2.2.2 CÂMARAS DE EXTINÇÃO

A câmara de extinção é um compartimento do disjuntor que envolve os contatos fixo e móvel, responsáveis pela condução da corrente elétrica, bem como o meio isolante utilizado para a extinção do arco elétrico e o isolamento entre os polos e a carcaça (OLIVEIRA, 2015).

Ela deve ser capaz de resistir aos esforços dielétricos, bem como aos esforços térmicos, químicos e mecânicos provenientes do arco elétrico, proporcionando condições favoráveis à extinção do arco e evitando deterioração dos componentes internos e as juntas de vedação, dando origem a vazamentos do meio isolante.

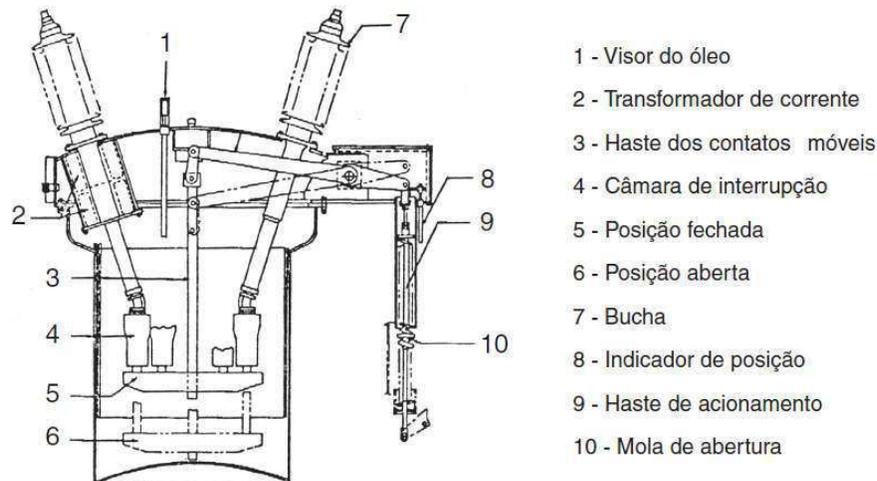
Durante as operações de interrupção de corrente, uma tensão de alta frequência (na ordem de kHz) surge entre os contatos do disjuntor, conhecida como tensão de restabelecimento transitória (TRT), que pode atingir valores de pico várias vezes superiores a tensão do sistema em que o disjuntor está operando.

A TRT traz consigo a tendência de reignição do arco elétrico, seja por ruptura do dielétrico ou mesmo por reignição térmica, portanto, o disjuntor deve ser capaz de resfriar e recuperar o meio no interior da sua câmara de extinção mais rápido que o crescimento da TRT. Além disso a rigidez dielétrica na câmara de extinção deve ser capaz de suportar as solicitações impostas pelos valores de pico atingidos pela TRT.

O disjuntor se encontra na posição fechada quando há contato galvânico entre os contatos principais dos contatos fixo e móvel, de modo complementar, o disjuntor se en-

contra na posição aberta, quando não há o contato galvânico entre os contatos fixo e móvel. Os contatos fixo e móvel apresentam duas regiões distintas, denominadas de contato principal e contato de arco. Na Figura 4 é apresentado um esquema de um disjuntor a GVO em corte transversal.

Figura 4 - Componentes de um Disjuntor a GVO.



Fonte: Elementos de Proteção em Sistemas Elétricos.

O contato principal é responsável pela condução da corrente de carga, em condições normais de operação, bem como da corrente de sobrecarga e curto-circuito. Quando os contatos já se encontram galvanicamente separados, a corrente de arco circula entre os contatos de arco dos contatos fixo e móvel, até a extinção total do arco elétrico.

Os contatos utilizados no circuito seccionador dos disjuntores devem ser capazes de suportar o calor gerado pela corrente de carga, e principalmente pelo arco elétrico, sem apresentar degradação excessiva. Além disso, eles precisam ter boas propriedades de condução, de forma a apresentar baixa resistência elétrica, quando o disjuntor se encontra na posição fechada (GARZON, 2002).

A ação de limpeza nos contatos é executada na operação de fechamento, quando o contato móvel desliza sobre os dedos do contato fixo, até parar na posição fechada, proporcionando um melhor contato galvânico.

2.2.3 MANUTENÇÃO EM DISJUNTORES

Os disjuntores, como qualquer outro equipamento do sistema elétrico, sofrem com a deterioração dos seus componentes desde a sua instalação. Portanto, caso não sejam

submetidos a um monitoramento e a manutenções periódicas, o alto nível de deterioração pode ocasionar falhas elétricas e avarias no próprio disjuntor e nos equipamentos protegidos por ele.

Em condições ideais, as técnicas de monitoramento devem possibilitar que desmontagens desnecessárias sejam evitadas. Durante as etapas de desmontagem e remontagem, novos problemas podem surgir, como a introdução de impurezas no óleo ou a danificação de juntas de vedação, tornando o disjuntor susceptível a falhas de operação, conseqüentemente reduzindo a confiabilidade do sistema elétrico (OLIVEIRA, 2015).

Geralmente, os disjuntores seguem um padrão de manutenção cuja periodicidade é determinada com base no número de manobras efetuadas ou no tempo de serviço do equipamento. As técnicas de monitoramento devem ser capazes de produzir dados precisos para o correto diagnóstico do estado do disjuntor, tanto em relação a parte elétrica como a parte mecânica.

Um programa de manutenção bem definido e corretamente implementado minimiza acidentes, reduz interrupções não planejadas, e aumenta o tempo médio entre falhas de equipamentos elétricos, reduzindo os custos com reparos, bem como o tempo de inatividade do equipamento.

A frequência da realização de inspeções/manutenções em disjuntores pode aumentar de acordo com a presença dos seguintes fatores (GILL, 2008):

- Atmosfera agressiva (presença de elementos que favoreçam a oxidação dos equipamentos);
- Temperatura ambiente alta;
- Excesso de poeira, sujeira ou fuligem;
- Umidade alta;
- Equipamentos mais antigos;
- Alta frequência de interrupção de falhas.

Dependendo do diagnóstico fornecido pelas técnicas de monitoramento, alguns serviços de manutenção podem ser necessários. Neste caso, o disjuntor é submetido a uma rotina de ajustes ou reparos, e posteriormente é submetido a novos ensaios para verificar se os defeitos foram corrigidos.

De modo geral, as manutenções em disjuntores avaliam três aspectos do equipamento: o meio isolante; a parte mecânica e os contatos.

2.2.3.1 AVALIAÇÃO DO MEIO ISOLANTE

Os disjuntores possuem um meio dielétrico com a função de promover o isolamento entre suas partes energizadas e a terra e entre os polos, e um meio dielétrico com a função de promover a extinção dos arcos elétricos, conhecidos como meio isolante e meio extintor, respectivamente.

Nos casos de disjuntores em que o meio isolante permanece separado do meio extintor, o meio isolante geralmente sofre um processo de deterioração relativamente lento, visto que o mesmo é submetido a poucos agentes contaminantes. Já o meio extintor tende a deteriorar-se mais rapidamente, devido à contaminação proveniente de gases e subprodutos gerados durante a extinção do arco elétrico.

Os meios isolantes e extintor podem, ou não, ser constituídos do mesmo material. Em alguns casos, os disjuntores possuem os meios isolante e extintor separados, com o objetivo de reduzir o tempo de manutenção, visto que apenas a parte do dielétrico deteriorado precisa ser substituída ou tratada (SANTOS, 2013).

Para avaliar o isolamento de disjuntores, os seguintes testes são realizados:

- Teste de rigidez dielétrica do óleo mineral isolante;
- Verificação da pressão do gás (SF_6 ou ar comprimido);
- Análise físico química para detecção de agentes contaminantes;
- Verificação da concentração de gases dissolvidos no óleo mineral isolante a partir de uma análise cromatográfica.

2.2.4 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DO CONTATO EM DISJUNTORES

A resistência elétrica dos contatos dos disjuntores aumenta à medida que eles vão se desgastando, o que os torna idealmente piores do que deveriam ser. Por isso, existem técnicas de verificação do grau de degradação dos contatos, baseadas na medição de suas respectivas resistências. Dependendo da fabricação dos contatos, também é possível que a degradação provoque erosão nos contatos, reduzindo seu comprimento.

O principal fator contribuinte para a degradação dos contatos são os arcos elétricos (PANCU *et al*, 2009). O desgaste dos contatos resulta em um aumento da resistência elétrica entre os mesmos, portanto, as principais técnicas utilizadas para diagnosticar o estado dos contatos se baseiam na medição de resistência.

Anormalidades nos valores medidos das resistências podem ser um indicativo da existência de algum material estranho na superfície dos contatos, do desgaste excessivo dos contatos, da perda de pressão nos dedos dos contatos ou da perda de conexão das buchas. Qualquer um destes problemas pode ocasionar o surgimento de um ponto quente, o desgaste acelerado dos contatos ou até mesmo a falha do disjuntor.

Essas medições podem ser feitas observando os valores de resistência estática e dinâmica do contato. O ensaio de Medição de Resistência Estática de Contato (MRE) é implementado com a injeção de um sinal de corrente contínua através dos contatos principais do disjuntor e medindo-se a queda de tensão sobre os mesmos, sem a necessidade de remoção do meio isolante da câmara de extinção de arco (GILL, 2008). A resistência é obtida mediante a aplicação direta da Lei de Ohm.

Entretanto, com o objetivo de obter dados melhores e, assim, produzir um diagnóstico mais preciso do estado dos contatos dos disjuntores, a abordagem da Medição de Resistência Dinâmica de Contato (MRD) tem tido uma aplicação maior na avaliação dos contatos dos disjuntores.

O ensaio de MRD, que foi o realizado neste Estágio Supervisionado, é bastante semelhante ao ensaio de MRE, no entanto, a resistência é medida durante o processo de abertura dos contatos, resultando numa curva de resistência R (ohm) em função do tempo de abertura (s) ou da distância dos contatos (mm).

A curva de resistência resultante da MRD é obtida com a aplicação de uma corrente contínua de teste através dos contatos. O valor da queda de tensão entre os contatos é então medida simultaneamente durante uma operação de abertura, e então a resistência é calculada pela aplicação direta da lei de Ohm (LANDRY *et al*, 2006). As curvas de resistência dinâmica permitem a avaliação individual dos contatos principais e de arco.

Pesquisas sobre MRD sugerem que os resultados dos ensaios efetuados com velocidade nominal de abertura dos contatos não se reproduzem de um ensaio para outro, sendo necessária a aplicação de altas correntes ou a redução da velocidade de abertura dos contatos (LANDRY *et al*, 2008; TURCOTTE & GAUTHIER, 2008; LANDRY *et al*, 2006).

A MRD pode ser realizada tanto no fechamento quanto na abertura dos contatos do disjuntor, entretanto, as medições não apresentam bons resultados durante operações de fechamento, visto que a corrente contínua existente no momento do contato galvânico dos contatos de arco gera um ruído indesejável, que compromete os resultados (LANDRY *et al*, 2008; LANDRY *et al*, 2006).

Apesar de ainda não existir um modelo conclusivo de análise das curvas de resistência, pesquisas sobre MRD mostram que é possível correlacionar o padrão das curvas de resistência dinâmica com o estado real dos contatos de disjuntores, mediante a aplicação de técnicas de análise e bancos de dados, resultando em um diagnóstico mais preciso e eficiente (LANDRY *et al*, 2006; LANDRY *et al*, 2008).

3 ATIVIDADES REALIZADAS

No LAT foram executadas diversas atividades, sendo em sua maioria de participação e acompanhamento de projetos desenvolvidos por alunos da Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. O estágio iniciou-se com o estudo do Termovisor do laboratório, objetivando a aquisição de imagens em tempo real num computador, de modo a criar arquivos de vídeo de longa duração para inspeção de ensaios também de longa duração. Em seguida, o tratamento do óleo isolante dos disjuntores foi realizado, uma vez que a limpeza dos disjuntores já havia sido realizada.

Posteriormente, fabricou-se antenas para uso em monitoramento dos disjuntores por meio do sinal eletromagnético irradiado pelo arco elétrico, seguido de ensaios de MRD dos contatos dos disjuntores.

Por fim, foi realizado um estudo sobre o processo de acreditação de um laboratório para ensaios e calibrações.

3.1 ESTUDO DO TERMOVISOR

O Termovisor FLIR ThermaCam P65, da série P (Figura 5), foi estudado nas atividades de modo a realizar uma atualização de seus softwares e drivers, possibilitando o melhor tratamento das imagens adquiridas com o equipamento. As câmeras dessa série

são ideais para manutenção preditiva, desenvolvimento de produtos, ensaios não destrutivos e controle de qualidade (FLIR, 2017).

Seus detectores de alta resolução e com alta sensibilidade e lentes de alta qualidade produzem resultados de maior confiabilidade. Na Figura 6, tem-se uma imagem capturada pelo Termovisor estudado.

Figura 5 - Termovisor Thermacam P65 e Acessórios.



Fonte: Próprio autor.

Figura 6 - Exemplo de Imagem Capturada pela Thermacam P65.



Fonte: ILNEC, 2017.

Foram buscados softwares mais atualizados e alguns outros compatíveis com a tecnologia do Termovisor do LAT, propiciando aquisição de imagens em tempo real,

permitindo a gravação de vídeos mais extensos, necessários para a avaliação de ensaios de longa duração.

3.2 MANUTENÇÃO DE DISJUNTORES

A manutenção dos disjuntores utilizados no projeto de pesquisa do doutorando Adriano Costa de Oliveira foi iniciada pela estagiária Laysa Lúcia de Souza, que realizou a limpeza dos três disjuntores trifásicos do tipo PVO, modelo PL 15C, classe de tensão 15 kV, corrente nominal 630 A, de fabricação da Siemens (Figura 7).

Figura 7 - Disjuntor Trifásico do Tipo PVO.



Fonte: Próprio autor.

Uma vez que a limpeza dos polos foi efetuada, prosseguiu-se com a etapa do tratamento do óleo isolante. O óleo foi submetido à análise para avaliação da tensão de ruptura por meio de um teste de sua rigidez dielétrica, utilizando o *Transformer Oil BDV Tester* (Figura 8).

Figura 8 – Sistema de Análise de Óleos Isolantes.



(a)



(b)

(a) Óleo em Análise no Transformer Oil BDV Tester e (b) Dados Obtidos na Análise.

Fonte: Próprio autor.

Observa-se na Figura 8b a importância de realizar mais de um teste na amostra de óleo, no intuito de obter um valor médio da tensão de ruptura do mesmo (o teste de número 4 ficou muito abaixo dos outros valores da amostra, indicando alguma interferência, provavelmente alguma impureza entre os eletrodos).

De acordo com a norma IEC60156 para análise da característica de rigidez dielétrica do óleo isolante, se faz necessário, para um eletrodo de disco (que foi o utilizado no teste), um valor mínimo de tensão disruptiva de 30 kV, que não alcançado em nenhum dos 6 testes aplicados, justificando a necessidade do óleo passar por um tratamento.

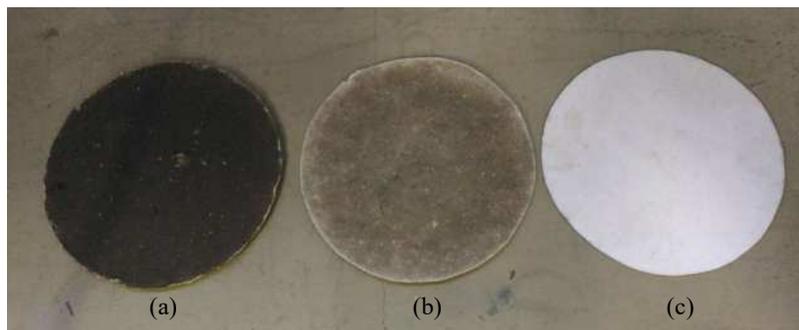
Após esta análise, o óleo foi colocado em estufa por pelo menos 24 horas, eliminando a umidade e a possível presença de bolhas de ar, que acarretam na diminuição da capacidade isolante do óleo. Em seguida, o óleo foi tratado na bomba a vácuo (Figura 9), utilizando papel para filtro prensa, executando a separação das impurezas de maior porte. Na Figura 10 observa-se os estados dos filtros utilizados no tratamento do óleo.

Figura 9 - Bomba a Vácuo Utilizada no Tratamento do Óleo



Fonte: Próprio autor.

Figura 10 - Filtros Utilizados no Tratamento do Óleo.



(a) Utilizado no Tratamento do Óleo mais próximo do Fundo do Recipiente, (b) Utilizado no Óleo mais próximo da Superfície do Recipiente e (c) Filtro novo ainda não utilizado.

Fonte: Próprio autor.

O filtro da Figura 9a foi utilizado para filtrar o óleo que estava visivelmente mais sujo, mas mesmo após a realização do tratamento de limpeza (inclusive passando por um filtro mais limpo), esse óleo foi descartado.

Tal procedimento é necessário pois a concentração de impurezas no óleo pode tornar o disjuntor susceptível a falhas de operação, devido à alteração nas propriedades isolantes do óleo, consequentemente reduzindo a confiabilidade do sistema elétrico.

3.3 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DINÂMICA DOS CONTATOS DE UM DISJUNTOR (MRD)

A MRD pode ser realizada no fechamento ou na abertura dos contatos do disjuntor, entretanto, as medições não apresentam bons resultados durante operações de fechamento, visto que a corrente contínua existente no momento do contato galvânico dos contatos de arco gera um ruído indesejável (LANDRY *et al*, 2008; LANDRY *et al*, 2006).

Para realização dos ensaios de MRD em laboratório, foi utilizado um sistema de medição originalmente desenvolvido por Souza & Costa (2014) e aprimorado na pesquisa do doutorado, de modo a possibilitar a realização dos ensaios com redução/controla da velocidade de abertura dos contatos. No sistema proposto, a injeção da corrente de teste é implementada a partir da associação de uma bateria estacionária (12 V / 220 Ah) em série com um resistor ajustável de cromo-alumínio-ferro ($0,040 \Omega \sim 1,2 \Omega / 4 \text{ kW}$). O sistema de carregamento da bateria é feito através da fonte de tensão apresentada na Figura 11, já o resistor ajustável pode ser visualizado na Figura 12.

Figura 11 - Sistema de Carregamento da Bateria Estacionária.



Fonte: Próprio autor.

Figura 12 - Sistema de Acionamento dos Resistores Ajustáveis de Cromo-Alumínio-Ferro.

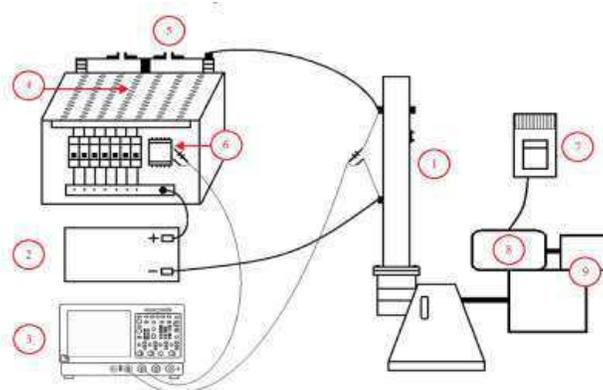


Fonte: Próprio autor.

O sistema de medição de corrente consiste em um *shunt* de corrente combinado a um transdutor de tensão, fornecendo um sinal de tensão proporcional a corrente de teste (com relação 500 A/5 V). A aquisição deste sinal de tensão é feita com um dos canais de um osciloscópio digital. O valor da queda de tensão sobre os contatos é obtido simultaneamente por meio da medição direta com um dos canais do osciloscópio (OLIVEIRA, 2015).

O sistema proposto para realização de ensaios de MRD em laboratório é representado de forma simplificada pela ilustração apresentada na Figura 13. Na Figura 14 é apresentada uma fotografia do arranjo real montado em laboratório.

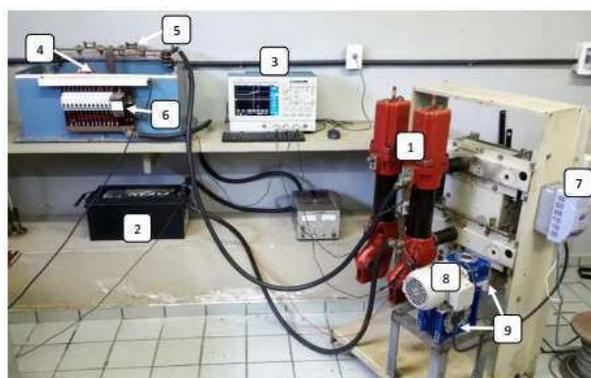
Figura 13 - Ilustração do Arranjo Adotado para Ensaio de MRD.



1 - Disjuntor; 2 - Bateria Estacionária; 3 - Osciloscópio Digital; 4 - Resistores de Cromo-Ferro-Alumínio; 5 - Shunt de corrente; 6 - Transdutor de Tensão; 7 - Inversor de Frequência; 8 - Motor Síncrono; 9 - Redutor de Velocidade

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

Figura 14 – Arranjo Experimental utilizado nos Ensaio de MRD.

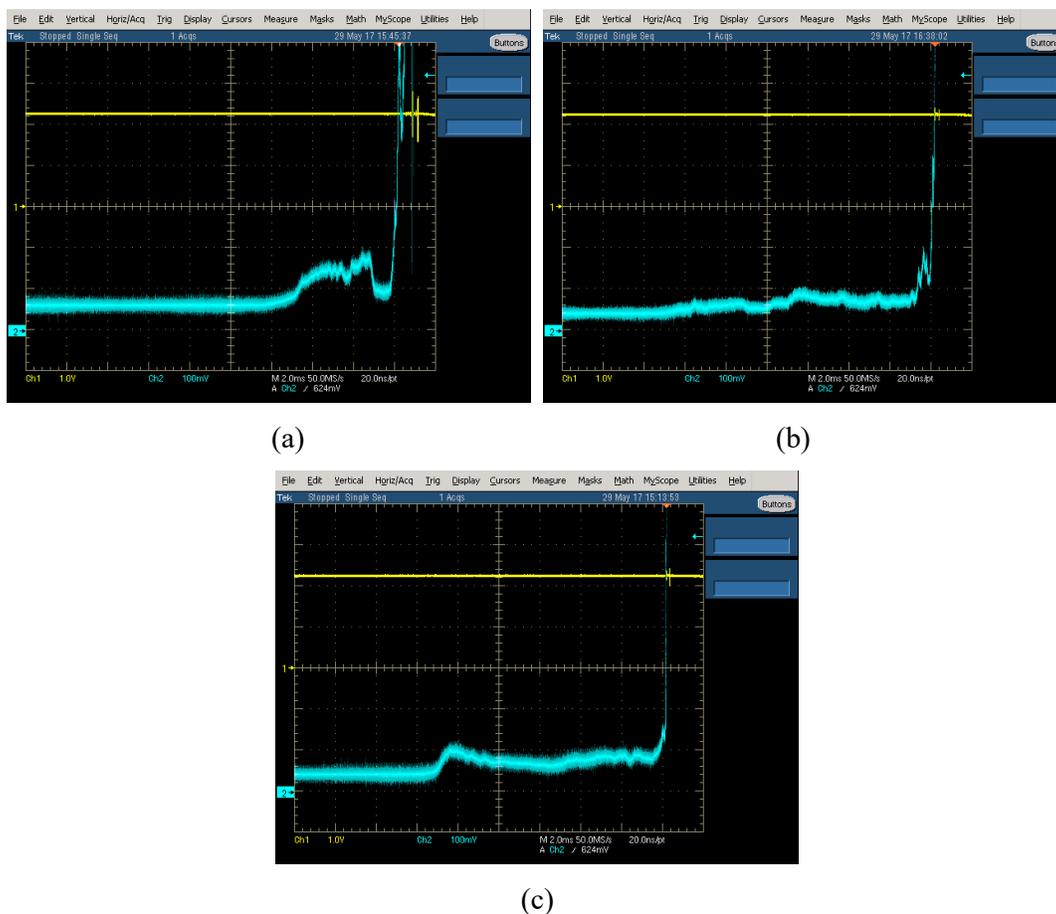


1 - Disjuntor; 2 - Bateria Estacionária; 3 - Osciloscópio Digital; 4 - Resistores de Cromo-Ferro-Alumínio; 5 - Shunt de corrente; 6 - Transdutor de Tensão; 7 - Inversor de Frequência; 8 - Motor Síncrono; 9 - Redutor de Velocidade.

Fonte: OLIVEIRA, 2015.

Foram realizados ensaios nos três disjuntores objetos de estudo da pesquisa, observando os sinais de tensão nos terminais do disjuntor, bem como a tensão de saída do transdutor, que é proporcional à corrente aplicada, que foi de aproximadamente 240 A. As curvas obtidas foram semelhantes entre si, diferenciando apenas devido ao estado de degradação dos contatos dos próprios disjuntores, inerentes à idade dos mesmos e às características do óleo isolante de cada um. Na Figura 15 observa-se os gráficos correspondentes às grandezas medidas em cada disjuntor estudado (amarelo: tensão nos terminais do disjuntor / azul: tensão de saída no transdutor).

Figura 15 - Sinais de Tensão nos Terminais dos Disjuntores e da Tensão de Saída no Transdutor.



(a) Sinais do contato C4 do primeiro disjuntor, (b) Sinais do contato C5 do segundo disjuntor e (c) Sinais do contato C8 do terceiro disjuntor.

Fonte: Próprio autor.

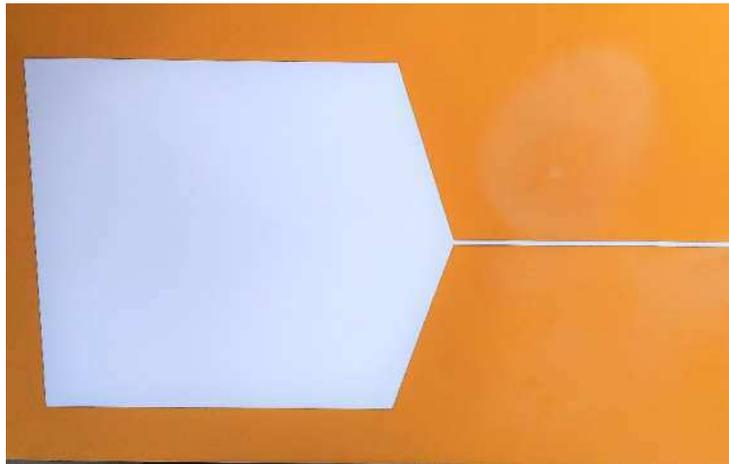
Observa-se que a tensão nos terminais do disjuntor cresce bruscamente no momento de abertura do contato, entretanto, os contatos C4 e C8 apresentam um aumento

no valor de tensão pouco antes do momento esperado, indicando um maior desgaste nesses contatos. O contato C4 apresentou um valor de tensão indesejada mais elevado, apesar de ter se manifestado em um tempo posterior ao do contato C5, que apresentou um valor de tensão indesejada inferior ao do contato C4.

3.4 FABRICAÇÃO DE ANTENAS PARA DETECÇÃO DE IRRADIAÇÃO ELETROMAGNÉTICA DO ARCO ELÉTRICO

O processo de fabricação de antenas do tipo *Patch*, Figura 16, se deu através do uso de placas de cobre utilizadas para a fabricação de circuitos impressos. Seu desenho foi moldado com fita adesiva, de modo que, quando o processo de corrosão ocorresse, essa parte permanecesse intacta. O processo de corrosão foi feito utilizando uma solução de cloreto férrico.

Figura 16 - Antena Tipo Patch após Corrosão do Cobre da Placa.



Fonte: Próprio autor.

3.5 MONITORAMENTO DE DISJUNTORES POR MEIO DO SINAL ELETROMAGNÉTICO IRRADIADO

O monitoramento dos disjuntores através da irradiação eletromagnética dos arcos elétricos no interior dos disjuntores é uma das atividades da tese de doutorado desenvolvidas pelo aluno Adriano Costa de Oliveira.

Os sinais irradiados são capturados por antenas e apresentados na tela do osciloscópio, indicando a intensidade do arco gerado no interior do disjuntor monitorado. Foram utilizadas as Antenas Tipo *Patch* confeccionadas durante o estágio, além da Antena Direcional Log-Periódica de Banda Larga, semelhante à apresentada na Figura 17. Na Figura 18 tem-se o arranjo experimental utilizado para a medição do sinal eletromagnético com a Antena Tipo *Patch* perpendicular à Antena Direcional.

Figura 17 - Antena Direcional Log-Periódica de Banda Larga.



Fonte: Getrotech, 2017.



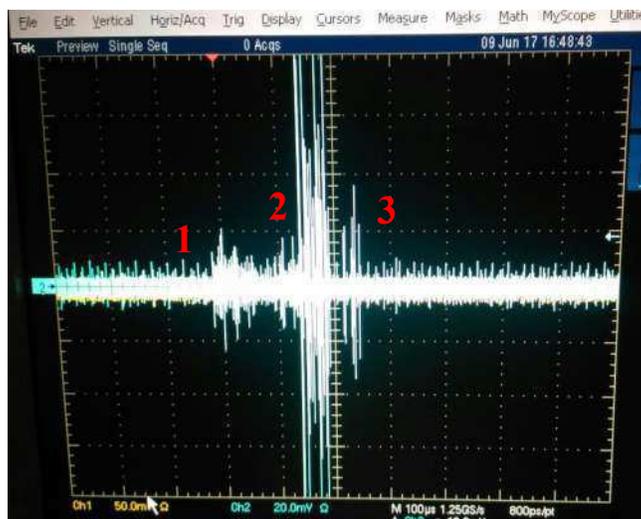
Figura 18 - Arranjo Experimental para Medição do Sinal Eletromagnético com a Antena Tipo *Patch* Perpendicular à Antena Direcional.

Fonte: Próprio autor.

Como resultado de uma das medições em um dos disjuntores, tem-se o sinal apresentado na Figura 19, com o ruído detectado pela Antena Tipo *Patch* fabricado no LAT semelhante ao ruído detectado pela Antena Direcional.

Nos instantes indicados em numeração vermelha na Figura 19, pode-se observar: no instante 1, é iniciada a formação do arco elétrico no interior do disjuntor, indicando o primeiro estágio de abertura dos contatos; no instante 2, tem-se os arcos elétricos de maior intensidade (momento de maior esforço elétrico dos contatos e maior susceptibilidade a desgaste do material) e no instante 3, tem-se a extinção do arco elétrico, indicando uma abertura do contato suficiente para interrupção de corrente.

Figura 19 - Sinal Eletromagnético Detectado pelas Antenas Posicionadas Perpendicularmente Entre Si.



Fonte: Próprio Autor.

3.6 ESTUDO SOBRE O PROCESSO DE ACREDITAÇÃO DE UM LABORATÓRIO

Um estudo dirigido foi realizado sobre o processo de acreditação de laboratórios, fazendo um levantamento das informações necessárias à realização do processo.

A acreditação de laboratórios, segundo os requisitos estabelecidos na norma ABNT NBR ISO/IEC 17025:2005, é aplicável a laboratórios de calibração e de ensaio. A CGCRE (Coordenação Geral de Acreditação do Inmetro) concede acreditação para laboratórios que realizam serviços de calibração e/ou ensaios em instalações permanentes, móveis, e/ou de clientes. No caso de mais de uma instalação permanente, a acreditação deve ser realizada individualmente.

A direção deve se organizar com a entidade legalmente responsável, de modo a suprir os requisitos da Norma ABNT NBR ISO/IEC 17025 e atender às necessidades dos clientes. O laboratório deve contar com a presença de pessoal técnico e gerencial, estar livre de pressões e influências, ter proteção de informações confidenciais, prover supervisão adequada dos ensaios, calibrações e treinamentos em execução.

Se faz necessário também, como requisitos da diretoria, a existência de sistemas de gestão, controle de documentos, análise crítica de pedidos, propostas e contratos, sub-

contratação de ensaios e calibração (por razões imprevistas), aquisição de serviços e suprimentos, atendimento ao cliente, controle de ensaios e calibração não-conforme e melhorias, controle de registros e auditorias internas.

Como requisitos técnicos é necessário pessoal devidamente qualificado, referente à formação, treinamento, experiência e habilidades específicas, bem como acomodações adequadas às condições ambientais, seleção correta dos métodos de ensaio e calibração a serem realizados na instalação, aparelhagem necessária para o desempenho adequado do laboratório, garantindo a qualidade dos resultados dos ensaios e calibrações e seus respectivos relatórios e certificados.

A solicitação da acreditação deve ser feita à DICLA (Divisão de Acreditação de Laboratórios e de Provedores de Ensaio de Proficiência), através do e-mail planav@inmetro.gov.br, bem como do acesso ao sistema ORQUESTRA, cujo endereço é <http://orquestra.inmetro.gov.br/>.

No preenchimento dos formulários relacionados ao escopo da proposta de solicitação, devem ser considerados, no caso de laboratório de calibração, uma consulta à NIT-DICLA-012, para o preenchimento do FOR-CGCRE-011 e a utilização do formulário FOR-CGCRE-011 para cada grupo de serviços de calibração e local de realização.

Já no caso de laboratório de ensaio, consulta à NIT-DICLA-016, para preenchimento do FOR-CGCRE-012 (Formulário - Proposta Escopo da Acreditação) e utilização das tabelas contidas no formulário eletrônico de solicitação, utilização do formulário FOR-CGCRE-012 distinto para cada local de realização do serviço e a inclusão da amostragem no FOR-CGCRE-012, caso o laboratório realize amostragem relacionada aos ensaios objeto da solicitação.

O laboratório deve apresentar todos os documentos requeridos. No caso de falta de algum documento é concedido um prazo de 20 (vinte) dias, para complementação da documentação. O seu não cumprimento acarreta a não aceitação da solicitação e a devolução da documentação.

A decisão sobre a concessão da acreditação é tomada pelo Coordenador da CGCRE, com base nas recomendações da equipe de avaliação, do Chefe de Núcleo e da Comissão da Acreditação.

A formalização ocorre por meio de ofício enviado ao laboratório, acompanhado do Certificado de Acreditação e do Escopo da Acreditação, emitidos pela CGCRE. Também são encaminhados o Símbolo da Acreditação e a autorização para seu uso. Quando da concessão da acreditação, é providenciada a inserção do laboratório no catálogo de

laboratórios acreditados disponível na Internet, no endereço <http://www.inmetro.gov.br/credenciamento/laboratoriosAcreditados.asp>.

4 CONCLUSÕES

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

As atividades desenvolvidas 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 de ensaio de disjuntores proporcionou a aprendizagem e o contato do estagiário com um novo assunto e com a Pós-Graduação, agregando ainda mais conhecimento.

As demais atividades, apesar de serem abordadas em algumas disciplinas durante a Graduação, foram importantes devido ao cunho prático verificado, reforçando a teoria vista em sala de aula.

Alguns assuntos/práticas utilizados durante o estágio não haviam sido vistos com propriedade pelo estagiário, como o contato com as antenas e a relação da área de Telecomunicações com Sistemas de Potência, o que dificultou a realização de algumas atividades por parte do mesmo.

No entanto, o contato com o LAT durante 4 anos da graduação facilitou a realização de outras, como o manuseio do osciloscópio, que não é tão praticado durante a graduação, tendo em vista que as práticas realizadas na maioria dos laboratórios são bastante mecanizadas. Com isso o aluno tem dificuldade em pensar e agir de acordo com as necessidades impostas pela análise de um determinado circuito ou sistema.

Houve também a possibilidade de conhecer outras pesquisas do laboratório com as quais o estagiário não tinha contato, como as pesquisas com transformadores.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO R. L. *Disjuntores*. Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento. Paraná, 2001.

CARVALHO A. C. C. *et al. Disjuntores e chaves: aplicação em sistemas de potência*. Niterói-RJ: EDUFF, 1995.

D'AJUZ A.; RESENDE F. M.; CARVALHO F. M. S.; NUNES I. G. *Equipamentos Elétricos: Especificação e Aplicação em Subestações de Alta Tensão*. FURNAS/UFF. 1985

FLURSCHEIM C. H. *Power circuit breaker theory and design. V. 1*. The Institution of Engineering and Technology. London, 2008.

FRONTIM S. O. *Equipamentos de alta tensão – prospecção e hierarquização de inovações tecnológicas*. Brasília: Teixeira, 2013.

GARZON R. D. *High voltage circuit breakers: Design and applications*. CRC Press, New York, 2002.

GILL P. *Electrical power equipment maintenance and testing*. Boca Raton: CRC Press, 2008.

GREMMEL H. *Switchgear Manual*. Central-Druck Trost GmbH & Co. 10° ed, Berlin, 2002.

LANDRY M.; MERCIER A.; OUELLET G.; RAJOTTE C.; CARON J.; ROY M.; BRIKCI F. *A New Measurement Method of the Dynamic Contact Resistance of HV Circuit Breakers*. IEEE PES Transmission and Distribution Conference and Exposition, pp. 1002-1009, 2006.

LANDRY M.; TURCOTTE O.; BRIKCI F. *A Complete Strategy for Conducting Dynamic Contact Resistance Measurements on HV Circuit Breaker*. IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 23, pp. 710-716, 2008

MCDONALD J. D. *Electric Power Substations Engineering*. CRC Press, Florida, 2003

NBR ISO/IEC 17025:2005. *Requisitos Gerais para a Competência de Laboratórios de Ensaio e Calibração*, ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas, São Paulo, 2006.

OLIVEIRA A. C. *Ensaio de Resistência Dinâmica em Disjuntores: Análise de Sensibilidade da Corrente e da Velocidade de Abertura dos Contatos*. Dissertação (Mestrado). Campina grande, Brasil: Universidade Federal de Campina Grande, 2015.

PANCU C.; BARABOI A.; ADAM M. *New Approach Regarding the Electroerosion Estimation of the Circuit Breakers Contacts*. WSEAS Transactions on Circuits and Systems, Vol. 8, pp. 157-166, 2009.

SANTOS D. T. *Sistema inteligente para apoio a programação da manutenção de disjuntores de alta tensão*. Dissertação (Mestrado). Florianópolis, Brasil: Universidade Federal de Santa Catarina, 2013.

SOUZAR. T. & COSTA E. G. *Diagnóstico da Condição dos Contatos em Disjuntores Através da Resistência Dinâmica*. Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos (SBSE), Montevidéu, 2014.