



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

ADRIANO COSTA DE OLIVEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2013

ADRIANO COSTA DE OLIVEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido ao
Departamento 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.

Adriano Costa de Oliveira
Aluno

Professor Edson Guedes da Costa, Dr. Sc.
Orientador

Campina Grande, Paraíba
Abril de 2013

ADRIANO COSTA DE OLIVEIRA

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Relatório de Estágio Supervisionado submetido ao
Departamento 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.

Aprovado em / /

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande

Professor Genoilton Carvalho Almeida
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao meu pai, Alcônio, e à minha mãe, Miriam, por terem se empenhado tanto para me proporcionar uma boa educação, por terem sempre me apoiado e me ajudado a superar todas as adversidades durante minha vida.

Agradeço ao coordenador do Laboratório de Alta Tensão, Professor Genoilton Carvalho Almeida, pela oportunidade de estágio.

Agradeço ao Professor Edson Guedes da Costa pela supervisão e orientação.

Agradeço aos funcionários do LAT, mais especificamente a Adriano, Eduardo e Francisco, pela grande ajuda durante o estágio e pela paciência.

Agradeço a todos os professores que tive durante o curso de graduação pelo conhecimento transmitido.

Agradeço às amigas que fiz durante o curso.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Fotografia do Salão de Alta tensão [3].	10
Figura 2. Fotografia do transformador e do divisor de tensão capacitivo.	14
Figura 3. Esquema de montagem para ensaios de coberturas para condutores do tipo rígida [5].	14
Figura 4. Fotografia do ensaio em coberturas rígidas para condutores.	16
Figura 5. Fotografia do ensaio em coberturas flexíveis para condutores.	17
Figura 6. Esquema de montagem para ensaios de coberturas circulares [5].	18
Figura 7. Fotografia do ensaio em coberturas circulares.	18
Figura 8. Fotografia das coberturas circulares reprovadas.	19
Figura 9. Esquema de montagem para ensaios em cubas isolantes [5].	20
Figura 10. Fotografia do ensaio em cuba isolante.	21
Figura 11. Fotografia de luvas isolantes [1].	22
Figura 12. Esquema de montagem para ensaios em luvas isolantes [5].	22
Figura 13. Fotografia do ensaio em luva isolante.	23
Figura 14. Esquema de montagem para ensaio em mangas isolantes [5].	26
Figura 15. Fotografia do ensaio em manga isolante.	26
Figura 16. Fotografia de manga isolante reprovada.	27
Figura 17. Fotografia do ensaio em lençol isolante inteiriço.	28
Figura 18. Fotografia do ensaio em lençol isolante bipartido.	28
Figura 19. Representação de anél de guarda [5].	30
Figura 20. Esquema de montagem para ensaios em bastões de manobra [5].	30
Figura 21. Ensaio em bastão de manobra.	31
Figura 22. Fotografia da célula de acrílico preenchida com óleo mineral isolante [6].	33
Figura 23. Fotografia da montagem feita para realização de medição de descargas parciais.	34
Figura 24. Fotografia do gerador de impulso de corrente.	35
Figura 25. Fotografia da mesa de controle do gerador de impulso de corrente.	36
Figura 26. Esquema de montagem usado para ensaios em hastes de aterramento [4].	36
Figura 27. Formas de onda de corrente na haste de aterramento para tensões de carregamento de 10e 60 kV [4].	37
Figura 28. Fotografia da montagem para realização de ensaios de MRDC.	39
Figura 29. Fotografia do sistema de gatilhamento.	40
Figura 30. Sinais de tensão e corrente obtidos com o osciloscópio.	40
Figura 31. Curvas de resistência dinâmica para velocidade de abertura nominal.	41
Figura 32. Curvas de resistência dinâmica para aberturas de contatos com 10 e 20 Hz.	41
Figura 33. Manutenção em cadeia de isoladores usando linhas de mão feitas de corda [18].	43
Figura 34. Fotografia do ensaio em linhas de mão isolantes feitas de nylon.	44
Figura 35. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro limpo.	44
Figura 36. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro sujo.	45
Figura 37. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e limpo.	46
Figura 38. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e sujo.	46
Figura 39. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com uma intervenção.	47
Figura 40. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com cinco intervenções.	48
Figura 41. Fotografia do ensaio em materiais submetidos à um campo elétrico.	49

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Distância entre eletrodos para ensaio de coberturas para condutores [5].	15
Tabela 2. Tensões e tempos de ensaio para ensaios em coberturas para condutores [5].	15
Tabela 3. Resultados dos ensaios em coberturas rígidas para condutores.	16
Tabela 4. Resultados dos ensaios em coberturas flexíveis para condutores.	17
Tabela 5. Resultados dos ensaios em coberturas circulares.	19
Tabela 6. Tensões e tempos de ensaio para ensaios em cubas isolantes [5].	20
Tabela 7. Resultado de ensaio em cuba isolante.	21
Tabela 8. Tensões de ensaio e correntes de fuga máximos para ensaios em luvas isolantes [5].	23
Tabela 9. Resultados dos ensaios em luvas isolantes.	24
Tabela 10. Tensões de ensaio e distância entre eletrodos para ensaios em mangas isolantes [5].	25
Tabela 11. Resultado dos ensaios em mangas isolantes.	26
Tabela 12. Tensões de ensaio e distância entre eletrodos para ensaio em lençóis isolantes [5].	27
Tabela 13. Resultados dos ensaios em lençóis isolantes.	28
Tabela 14. Correntes de fuga máximas para ensaios em materiais tubulares de fibra [5].	29
Tabela 15. Resultados dos ensaios em bastões de manobra.	31
Tabela 16. Configurações de defeitos nos discos isolantes [6].	32
Tabela 17. Distâncias de segurança [17].	43
Tabela 18. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro limpo.	44
Tabela 19. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro sujo.	45
Tabela 20. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e limpo.	45
Tabela 21. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e sujo.	46
Tabela 22. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com uma intervenção.	47
Tabela 23. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com cinco intervenções.	47

SUMÁRIO

Agradecimentos	iv
Lista de Ilustrações	v
Lista de Tabelas	vi
Sumário	vii
1 Introdução	8
2 Laboratório de Alta Tensão	9
2.1 Salão de Alta Tensão	9
2.2 Sala do Laboratório de Materiais Elétricos	10
2.3 Sala do Gerador de Impulso de Corrente	10
2.4 Sala do Kit de Alta Tensão	11
2.5 Sala do Laboratório de Instalações Elétricas	11
2.6 Laboratório de Sistemas de Potência	12
2.7 Laboratório de Sistemas Elétricos	12
3 Atividades Desenvolvidas	12
3.1 Ensaios em Equipamentos para Manutenção em Linhas Energizadas	13
3.1.1 Ensaios em Coberturas Protetoras de Condutor	14
3.1.2 Ensaios em Coberturas Protetoras Circulares	17
3.1.3 Ensaio em Cuba/Liner Isolante	20
3.1.4 Ensaios em Luvas Isolantes	22
3.1.5 Ensaios em Mangas Isolantes	25
3.1.6 Ensaios em Lençóis Isolantes	27
3.1.7 Ensaios em Bastões de Manobra	29
3.2 Identificação de Falhas em Isolamentos Através da Medição de Descargas Parciais	32
3.3 Ensaios em um Sistema de Aterramento Utilizando um Gerador de Impulso de Corrente	34
3.4 Medição da Resistência Dinâmica dos Contatos de um Disjuntor (MRDC)	38
3.5 Ensaios em Linhas de Mão Isolantes	42
3.6 Estudo Sobre o Efeito do Campo Elétrico Sobre Diferentes Materiais	49
4 Conclusão	50
5 Referências Bibliográficas	51

1 INTRODUÇÃO

Durante as últimas décadas a sociedade presenciou uma grande evolução da regulamentação do setor elétrico. Requisitos mínimos como confiabilidade, continuidade de serviço, qualidade e segurança estão sendo cobrados cada vez mais das empresas. Sendo assim, houve um investimento em novas tecnologias que proporcionam diversas melhorias para os processos de geração, transmissão e distribuição de energia. Desse modo, tornou-se necessária a contratação de profissionais mais capacitados, atualizados e preparados para lidar com as novas exigências do mercado.

No curso de Graduação de Engenharia Elétrica diversos conhecimentos são adquiridos nas disciplinas, no entanto, apesar de algumas atividades práticas serem realizadas nos laboratórios, o desenvolvimento do caráter prático do aluno só é possível em sua vida profissional. O estágio curricular se destaca então como uma atividade essencial, que permite que o aluno ponha em prática o conhecimento teórico adquirido na sua formação acadêmica e possa aprimorar sua desenvoltura no âmbito profissional.

Este relatório apresenta as atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado do aluno Adriano Costa de Oliveira no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) durante o período de 19/11/2012 a 19/03/2013, sob a supervisão e orientação do Professor Edson Guedes da Costa.

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 m². Encontra-se atualmente sob a coordenação do Professor Genoilton Carvalho Almeida [3].

O LAT se destaca pela grande variedade de equipamentos disponíveis, muitos deles bastante sofisticados, e possui um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes. Tal combinação permite o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase de eletrotécnica.

Nos últimos 25 anos foram realizados um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas da região Nordeste, a exemplo da CHESF, PETROBRÁS, CELB, SAELPA, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, entre outras, têm solicitado os serviços do LAT.

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

2.1 SALÃO DE ALTA TENSÃO

O Salão de Alta Tensão é o principal ambiente dentro do LAT. Nele são realizados os ensaios que requerem níveis de tensão mais elevados, o que é possível devido a disponibilidade de equipamentos como o gerador de impulsos de alta tensão, de até 700 kV e 36 kJ, e dos transformadores de potência ligados em cascata, que permitem gerar até 600 kV com uma corrente de 1 A.

Os principais ensaios realizados neste salão são: ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas e ensaios de rotina feitos em equipamentos de manutenção em instalações energizadas (EPI).

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



Figura 1. Fotografia do Salão de Alta tensão [3].

2.2 SALA DO LABORATÓRIO DE MATERIAIS ELÉTRICOS

O Laboratório de Materiais Elétricos dá suporte à disciplina Laboratório de Materiais Elétricos e tem, como finalidade básica, a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Materiais Elétricos do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. Para realização dos experimentos o laboratório possui um kit Didático para Alta Tensão (100 kV), uma Ponte Schering e capacitores padrão.

Dentre os principais experimentos desenvolvidos na disciplina Laboratório de Materiais Elétricos tem-se:

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

2.3 SALA DO GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

O Gerador de Impulso de Corrente é um equipamento de fabricação da Haefely e é capaz de gerar impulsos de até 100 kA, 100 kV e 80 kJ com formas de onda de 8/20 μ s e 4/10 μ s. Durante o curso de graduação é utilizado apenas na disciplina Laboratório de Equipamentos

Elétricos, porém também é usado por alunos de pós-graduação em ensaios experimentais e projetos de pesquisa.

As principais atividades realizadas com o Gerador de Impulso de Corrente são: ensaios e pesquisa em para-raios, ensaios e pesquisa em hastes e malha de aterramento.

2.4 SALA DO KIT DE ALTA TENSÃO

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

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

O kit de alta tensão geralmente é utilizado por alunos das disciplinas de Materiais Elétricos, Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão. Além dos alunos de pós-graduação em aulas e na montagem de seus experimentos.

2.5 SALA DO LABORATÓRIO DE INSTALAÇÕES ELÉTRICAS

O Laboratório de Instalações Elétricas dá suporte à disciplina Laboratório de Instalações Elétricas e tem, como finalidade básica, a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Instalações Elétricas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. O Laboratório de Instalações Elétricas também oferece cursos de extensão e de treinamento ministrados pelos professores do LAT.

Atualmente os experimentos realizados na disciplina são:

- Fotometria;
- Instalações prediais;
- Instalações industriais;
- Comandos elétricos (acionamento de motores).

2.6 LABORATÓRIO DE SISTEMAS DE POTÊNCIA

O Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) foi criado em 1986, com a instalação de um minicomputador VAX-750, doado pelo Governo Alemão. Com a era dos PCs, as atividades desenvolvidas no LSP passaram a ser realizadas utilizando microcomputadores adquiridos através de convênios com empresas do setor elétrico e de recursos próprios [3].

O LSP tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino e pesquisa, com ênfase no estudo e desenvolvimento de métodos para simulação digital do GSE. O LSP é utilizado por professores, alunos de graduação, pós-graduação e iniciação científica.

2.7 LABORATÓRIO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

O Laboratório de Sistemas Elétricos complementa a disciplina Sistemas Elétricos, do curso de graduação em Engenharia Elétrica, e tem como finalidade básica sedimentação dos conhecimentos adquiridos na mesma. As principais atividades realizadas no laboratório são ensaios de correção de fator de potência e medições de potência ativa e reativa em circuitos trifásicos.

3 ATIVIDADES DESENVOLVIDAS

Durante o período de estágio foram feitos ensaios de rotina em equipamentos para manutenção em linhas energizadas, requisitados pelas empresas Energisa e PRENER. Também houve participação e acompanhamento de projetos de alunos de doutorado, envolvendo medições de descargas parciais, medição de resistência dinâmica dos contatos de disjuntores e avaliação de sistemas de aterramento. Além disso, foram feitos ensaios em linhas de mão isolantes para a concessionária de energia CHESF e estudos sobre o efeito de campo elétrico em diferentes materiais. Todas as atividades foram devidamente acompanhadas por professores, técnicos ou alunos de pós-graduação.

3.1 ENSAIOS EM EQUIPAMENTOS PARA MANUTENÇÃO EM LINHAS ENERGIZADAS

Com a crescente demanda de energia, surge a exigência de qualidade por parte das empresas responsáveis por geração, transmissão e distribuição de energia. Nesse aspecto, alguns requisitos básicos, como a continuidade do serviço, devem ser atendidos. Sendo assim, os serviços de reparo, limpeza e manutenção de equipamentos em linhas energizadas são atividades de grande importância e são realizados por empresas do setor energético em todo o mundo.

Devido à necessidade de contato com condutores energizados, a utilização de equipamentos de proteção individual (EPI) é obrigatória. Tais equipamentos proporcionam maior segurança, pois evitam que os trabalhadores sejam submetidos a uma diferença de potencial, sofrendo choques elétricos. Um EPI pode ser do tipo isolante ou condutivo, com a finalidade de equalizar o potencial entre a rede, as partes metálicas e o electricista.

Os equipamentos devem ser submetidos a ensaios periódicos para avaliar se estão em conformidade com os critérios determinados por normas. Os ensaios devem estar de acordo com a legislação vigente com as normas reguladoras NR-10 e NR-6 e também obedecendo as especificações do fabricante. Além disso, devem ser realizados por pessoas qualificadas, ou seja, pessoas com posse de um diploma técnico reconhecido pelo sistema oficial de ensino e competência profissional específica.

Os ensaios descritos a seguir foram realizados no LAT e foram solicitados por empresas do setor elétrico, como a Energisa e a PRENER. Para tais ensaios foram utilizados um transformador de tensão CA, 120 kV, um divisor de tensão capacitivo, um multímetro digital e um termo higrômetro. Na Figura 2 é mostrada uma fotografia do transformador e o divisor capacitivo utilizados.



Figura 2. Fotografia do transformador e do divisor de tensão capacitivo.

3.1.1 ENSAIOS EM COBERTURAS PROTETORAS DE CONDUTOR

As coberturas protetoras para condutor são amplamente utilizadas em trabalhos em linhas energizadas, mais especificamente em linhas de alta e baixa tensão, pelo fato de oferecerem uma maior área de proteção. São produzidas em plástico de alta rigidez dielétrica e resistência a ozônio. Geralmente são da cor laranja, o que permite uma boa visualização, proporcionando além da proteção isolante a identificação da área sob intervenção. Possuem também uma área de encaixe macho/fêmea para conexão de duas ou mais unidades permitindo isolar uma área maior [2].

Os ensaios de cobertura para condutor devem ser realizados de acordo com o arranjo mostrado na Figura 3. Um eletrodo cilíndrico, onde a cobertura ficará apoiada, deve ser colocado sobre plataformas isolantes, e um eletrodo de mesmo formato da cobertura isolante deve encobri-la. A tensão de ensaio deve ser aplicada no eletrodo interno e o eletrodo externo deve ser aterrado. A periodicidade dos ensaios deve ser de no máximo 12 meses, podendo ser reduzida dependendo das condições de trabalho [5].

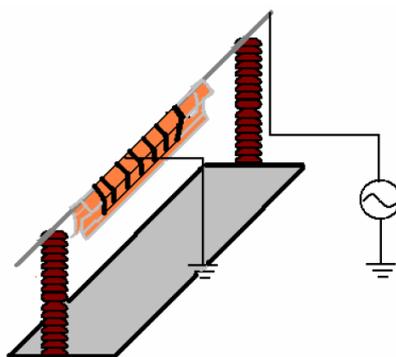


Figura 3. Esquema de montagem para ensaios de coberturas para condutores do tipo rígida [5].

A Tabela 1 especifica os diâmetros mínimos e máximos dos eletrodos internos a serem utilizados nos ensaios.

Tabela 1. Distância entre eletrodos para ensaio de coberturas para condutores [5].

Classe	Diâmetro dos eletrodos internos (mm)	
	Mínimo	Máximo
2	6,4	19,1
3	6,4	19,1
4	6,4	19,1
5	12,7	38,1
6	19,1	50,8

As tensões de ensaio, bem como os tempos de ensaio referentes a cada classe de isolamento são mostradas na Tabela 2.

Tabela 2. Tensões e tempos de ensaio para ensaios em coberturas para condutores [5].

Classe	Tensão de ensaio (kV)		
	Fase-Terra (60 Hz)	CC	Tempo (s)
2	13	18	60
3	24	34	60
4	32	45	60
5	42	60	30
6	64	91	15

O arranjo utilizado no LAT para realização dos ensaios em coberturas protetoras para condutor do tipo rígida pode ser visto na fotografia mostrada na Figura 4.



Figura 4. Fotografia do ensaio em coberturas rígidas para condutores.

Ao fim do período de ensaio, deve-se verificar se o equipamento apresenta algum sinal de falha, geralmente caracterizadas por perfurações do material. Caso seja constatado algum sinal, a cobertura não pode mais ser utilizada por não atender aos requisitos da norma e é considerada reprovada ou inapta para o uso. Os resultados dos ensaios estão mostrados na Tabela 3.

Tabela 3. Resultados dos ensaios em coberturas rígidas para condutores.

Fabricante	N° de série	Condições	Laudo
RITZ	09-01131	Usada	Aprovada
RITZ	03335-1	Usada	Aprovada
RITZ	09-01649	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	09-01137	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada
RITZ	12960	Usada	Aprovada
RITZ	-	Usada	Aprovada

Uma consideração importante a ser feita é que a tensão de ensaio utilizada no LAT foi de 20 kV, diferentemente do valor determinado por norma. Outra divergência observada entre os procedimentos adotados e a norma foi o fato de que o eletrodo aterrado no laboratório foi o eletrodo interno.

Os procedimentos experimentais adotados para realização dos ensaios em coberturas flexíveis foram semelhantes aos de coberturas rígidas, mudando apenas o formato dos eletrodos externos. Na Figura 5 é mostrada uma fotografia da montagem dos ensaios feitos no LAT.



Figura 5. Fotografia do ensaio em coberturas flexíveis para condutores.

A Tabela 4 mostra os resultados dos ensaios feitos em coberturas flexíveis.

Tabela 4. Resultados dos ensaios em coberturas flexíveis para condutores.

Fabricante	Condições	Laudos
Horizon	Usada	Aprovada
Horizon	Usada	Aprovada
Horizon	Usada	Aprovada

As mesmas considerações feitas sobre os ensaios de coberturas rígidas no que diz respeito a divergências entre procedimentos de ensaio estabelecidos pela norma e os procedimentos adotados também se aplicam aos ensaios de coberturas flexíveis.

3.1.2 ENSAIOS EM COBERTURAS PROTETORAS CIRCULARES

Coberturas protetoras circulares são geralmente utilizadas para isolamento da extremidade de postes, porém devido ao seu formato também são utilizadas em outros itens como, por exemplo, para-raios. No entanto, sempre se deve ter atenção especial e verificar se a cobertura está isolando adequadamente todo o equipamento.

As coberturas são produzidas em plástico de alta rigidez dielétrica e resistência a ozônio [2] e também possuem certa resistência mecânica dificultando um pouco a sua colocação. Por isso, as coberturas possuem alças em corda para facilitar sua aplicação e remoção. Sua cor

laranja permite uma excelente visualização proporcionando identificação da área sob intervenção.

O arranjo utilizado para realização das coberturas protetoras circulares, mostrado na Figura 6 é similar ao arranjo utilizado com as coberturas para condutores, usando as mesmas tensões de ensaio estabelecidas na Tabela 2 e mudando apenas o formato dos eletrodos.

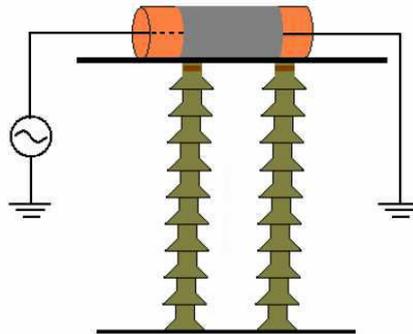


Figura 6. Esquema de montagem para ensaios de coberturas circulares [5].

No laboratório, assim como nos ensaios de coberturas protetoras para condutores, os eletrodos internos foram aterrados e os externos colocados ao potencial. A montagem feita no LAT pode ser vista na fotografia mostrada na Figura 7. Foram utilizados fios como artifício para ajustar melhor os eletrodos, proporcionando um melhor contato entre os eletrodos e os objetos de ensaio.



Figura 7. Fotografia do ensaio em coberturas circulares.

Após o ensaio, deve-se averiguar se o equipamento apresenta alguma falha. Nos ensaios feitos no LAT duas coberturas protetoras circulares foram reprovadas. Uma estava quebrada e foi possível fazer a avaliação apenas por inspeção visual e a outra apresentou uma perfuração durante a aplicação de tensão. Os equipamentos reprovados podem ser vistos na fotografia

mostrada na Figura 8. Os resultados dos ensaios em coberturas circulares feitos no LAT estão mostrados na Tabela 5.



Figura 8. Fotografia das coberturas circulares reprovadas..

Tabela 5. Resultados dos ensaios em coberturas circulares.

Diâmetro	Comprimento (mm)	Fabricante	Condições	Laudo
150 mm	300	RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
	510	RITZ	Usada	Aprovada
	600	RITZ	Usada	Reprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
	1000	RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
RITZ		Usada	Aprovada	
300 mm	1800	RITZ	Usada	Reprovada
		RITZ	Usada	Aprovada
		RITZ	Usada	Aprovada

3.1.3 ENSAIO EM CUBA/LINER ISOLANTE

A cuba é um componente projetado para ser acomodado dentro da caçamba, plataforma ou suporte similar e que é capaz de modificar as propriedades elétricas da caçamba/plataforma. Pode ser de natureza isolante, destinada a garantir a sua isolação elétrica, aplicável de acordo com a classe de isolação e método de trabalho, ou condutiva, destinada a equalizar o potencial entre a rede, as partes metálicas e o eletricista. De acordo com a classe de isolação, podem ser classificadas como: Categoria A, que proporcionam isolação suficiente para que o trabalhador atue ao potencial (sem luvas isolantes); Categoria B, para classes de tensão superiores à 46 kV e requerem o uso de luvas isolantes; Categoria C, para classes de tensão inferiores à 46 kV e também requerem o uso de luvas. Durante o período de estágio só foram realizados ensaios em cubas de natureza isolante.

As cubas isolantes usadas nas caçambas devem ser imersas em um líquido condutivo que servirá como eletrodo, em seguida devem ser preenchidas com o líquido, cujo nível nas partes internas e externas deve estar a 150 mm abaixo do topo da cuba [5], como pode ser visto na Figura 9.

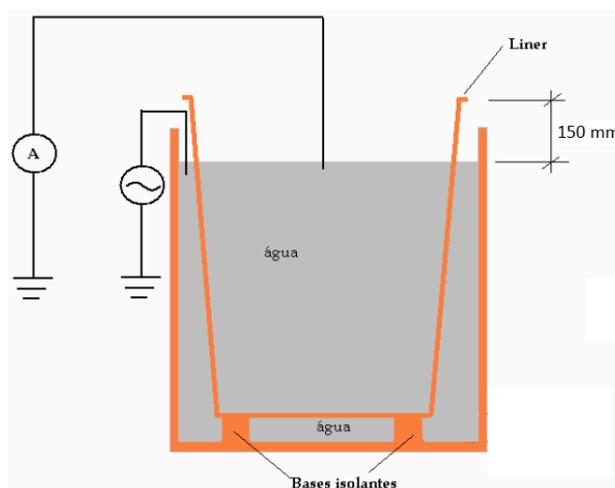


Figura 9. Esquema de montagem para ensaios em cubas isolantes [5].

As tensões de ensaio e os tempos de ensaio são especificados na Tabela 6.

Tabela 6. Tensões e tempos de ensaio para ensaios em cubas isolantes [5].

Tensão	Tensão de ensaio	Duração
Ensaio com tensão alternada	35 kV (valor eficaz)	1 minuto
Ensaio com tensão contínua	100 kV	3 minutos

Nos ensaios feitos no LAT, a tensão de ensaio foi de 30 kV, diferentemente do valor especificado na norma, o que provavelmente ocorreu devido à utilização de uma versão mais antiga da norma. A montagem para ensaios pode ser vista na fotografia mostrada na Figura 10. O resultado do ensaio realizado está mostrado na Tabela 7.



Figura 10. Fotografia do ensaio em cuba isolante.

Tabela 7. Resultado de ensaio em cuba isolante.

Nº de série	Fabricante	Tensão aplicada (kV)	Laudo
306796	RITZ	30	Aprovado

Um das complicações que esse tipo de ensaio apresenta é a necessidade de utilização de um recipiente muito grande e resistente o suficiente para acomodar a cuba e o líquido condutivo. Também há um grande desperdício visto que toda a água usada no ensaio é descartada após sua conclusão. Além disso, é necessária a utilização de uma bomba d'água para retirar a água do recipiente ao fim do ensaio.

Para evitar tais inconveniências, o método alternativo de ensaio descrito na norma da ABNT NBR 16092:2012 poderia ser adotado. Toda a superfície interior e exterior da cuba isolante, até 150mm do topo, pode ser ensaiada usando outros eletrodos condutores, como esponjas de celulose úmida, toalhas de pano molhadas ou folhas de metal. Os eletrodos devem aderir às superfícies internas e externas. Cada um dos lados e a parte inferior da cuba podem ser ensaiados separadamente, contanto que se garanta que a área em todos os cantos seja ensaiada. Os níveis de tensão aplicados no método alternativo são os mesmo que os níveis aplicados no método convencional.

3.1.4 ENSAIOS EM LUVAS ISOLANTES

Luvras isolantes (Figura 11) são amplamente utilizadas em manutenções em linha viva. São produzidas em material isolante de borracha com o objetivo de proteger o eletricitista contra choques elétricos. Devem cobrir completamente a mão, pulso e parte do antebraço do usuário.



Figura 11. Fotografia de luvas isolantes [1].

Para realização de ensaios, a luva é colocada em um recipiente com um líquido condutivo, geralmente água, e o interior da luva também é preenchido com água, de modo que os níveis de água no interior da luva e no recipiente coincidam. A luva deve ser fixada por um dispositivo de material isolante. O eletrodo pelo qual será aplicada a tensão deve ser introduzido centralizadamente no interior da luva, de modo que a tensão seja aplicada uniformemente sobre toda a área ensaiada sem produzir efeito corona ou esforços mecânicos [5]. O esquema de montagem para realização de ensaios de luvas deve estar de acordo com o da Figura 12. Ensaios periódicos devem ser realizados a cada seis meses para luvas em uso, de forma a garantir que o equipamento esteja em condições de uso.

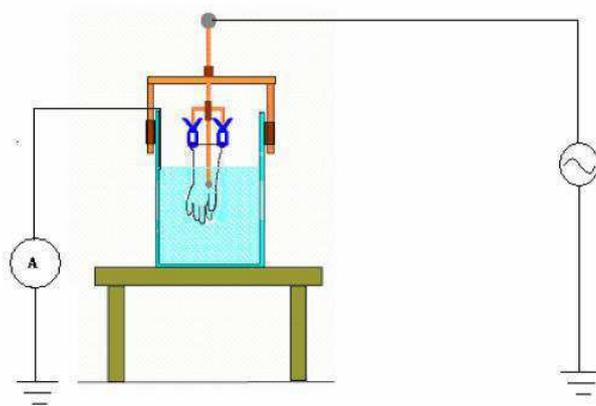


Figura 12. Esquema de montagem para ensaios em luvas isolantes [5].

A montagem feita no LAT pode ser vista na fotografia mostrada na Figura 13.



Figura 13. Fotografia do ensaio em luva isolante.

Observa-se que o dispositivo escolhido para fixação da luva foi um conjunto de fios de nylon, que é bom isolante elétrico, com prendedores.

Deve-se aumentar gradualmente a tensão, à razão aproximada de 3 kV/s, até atingir a tensão de ensaio, especificada na Tabela 8, que deve ser mantida por 1 (Um) minuto, e em seguida diminuir a tensão até zero, também gradualmente.

Tabela 8. Tensões de ensaio e correntes de fuga máximas para ensaios em luvas isolantes [5].

Classe das luvas	Tensão de ensaio (V)	Tensão máxima de uso	Distância H (mm)	Cor	Corrente máxima de fuga			
					(mA)			
					L=267	L=356	L=406	L=457
00	2500	500	38	Bege	6	10	12	14
0	5000	1000	38	Vermelha	8	12	14	16
1	10000	7500	38	Branca	-	14	16	18
2	20000	17000	64	Amarela	-	16	18	20
3	30000	26500	89	Verde	-	18	20	22
4	40000	36000	127	Laranja	-	-	22	24

Notas:

1. Exceto para luvas de classe 0 e 00, a tensão máxima de uso deve ser baseada na fórmula:
tensão máxima de uso = 0,95 da tensão de ensaio - 2000 V.
2. Os valores de tensão (V) referem-se a valores eficazes.
3. L = Comprimento da luva em milímetros.
4. A distância H refere-se a parte emersa da luva (tolerância de 8 mm).

As luvas devem ter marcações de forma clara e permanente no seu dorso contendo informações sobre sua classe e cor, permitindo a identificação quanto ao valor da tensão de ensaio [5], conforme a tabela 8.

A corrente de fuga deve ser medida ao final do período de ensaio e se ultrapassar o valor máximo aceitável, mostrado na Tabela 8, o equipamento deve ser reprovado. A ocorrência de ruptura elétrica ou perfuração da luva são outros critérios de reprovação. A Tabela 9 mostra os resultados de alguns dos ensaios realizados em luvas isolantes solicitados pela empresa PRENER.

Tabela 9. Resultados dos ensaios em luvas isolantes.

N° de série	Fabricante	Lado	Tamanho	Corrente (mA)	Laudo
11063303	ORION	D	10	8,8	Aprovada
11063260	ORION	E	10	9,1	Aprovada
11063297	ORION	D	10	9,0	Aprovada
11063251	ORION	E	10	8,2	Aprovada

Algumas irregularidades observadas no procedimento dos ensaios feitos no LAT devem ser mencionadas. A parte da luva acima do nível da água deve ser rigorosamente seca, algo que não foi feito no ensaio de uma das luvas. Como consequência a corrente de fuga medida apresentou um valor bem maior que as outras luvas do mesmo lote, apesar de não ultrapassar o valor máximo aceitável. Outro procedimento recomendado e que não foi seguido no LAT é a limpeza da luva com produtos neutros, que deve ser feita cerca de 24 horas antes do ensaio, e a secagem das luvas sem o uso de estufas [5]. Caso a limpeza não seja feita, o acúmulo de poeira ou outros poluentes na luva podem fazer com que a corrente de fuga seja acima do normal. Durante a limpeza inicial da luva, e após o ensaio, deve-se inspecionar o equipamento com o objetivo de verificar a presença de fissuras, riscos, furos ou processos de degradação. Toda e qualquer alteração deve ser relatada no laudo do ensaio, no entanto, nos ensaios realizados no LAT esse procedimento não foi realizado. Como pode ser visto na figura 13, o eletrodo introduzido na água no interior da luva nem sempre estava devidamente centralizado, o que não é recomendado, pois pode causar esforços mecânicos ou produzir efeito corona.

3.1.5 ENSAIOS EM MANGAS ISOLANTES

Mangas isolantes são equipamentos de proteção para os braços que protegem o eletricitista contra choques e arcos elétricos em trabalhos em linhas energizadas. Durante seu processo de fabricação as luvas podem ou não passar por um tratamento halógeno, que torna o equipamento mais agradável ao tato evitando reações alérgicas, dermatites, e demais problemas da pele. Mangas isolantes podem ser fabricadas em forma reta ou em forma curvada. A Tabela 10 especifica as tensões de ensaio para cada classe de isolamento.

Tabela 10. Tensões de ensaio e distância entre eletrodos para ensaios em mangas isolantes [5].

Classe de manga	Tensão máxima de uso (kV)	Tensão de ensaio CA (kV)	Tensão de ensaio CC (kV)	Distância entre eletrodos (mm)
0	1	5	20	76
1	7,5	10	40	76
2	17	20	50	127
3	26,5	30	60	178
4	36	40	70	254

Para realização do ensaio de tensão aplicada, várias montagens são sugeridas, em função da classe de isolamento da manga e seu tipo. No LAT optou-se por fazer a montagem do tipo invertida, mostrada na Figura 14, onde se deve inverter meia manga, puxando o punho através da sua parte interna até formar uma cuba anular, onde será colocado um eletrodo para aplicação da tensão. Em seguida mergulha-se, parcialmente, a manga na água contida numa cuba, preenchendo com água o recipiente formado pela inversão da manga de modo que as extremidades (ombro e punho) permaneçam emersas. O nível da água no interior e no exterior da manga deve coincidir e as partes da manga que ficarem acima do nível da água devem estar rigorosamente secas. Mangas isolantes de borracha devem ser submetidas a ensaios a cada doze meses, ou quando se achar necessário em função de suspeita do isolamento oferecido pela ferramenta [5].

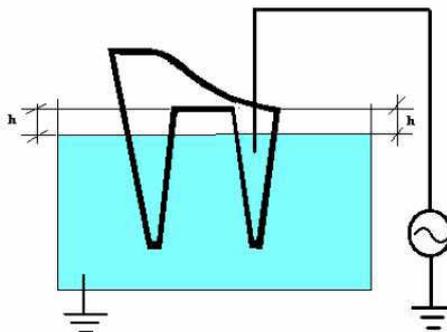


Figura 14. Esquema de montagem para ensaio em mangas isolantes [5].

Antes de realizar o ensaio, é recomendável fazer um processo de limpeza e secagem das mangas de acordo com o procedimento descrito no ensaio de luvas isolantes. As mangas ensaiadas no LAT não passaram por processos de limpeza.

A tensão deve ser aplicada conforme os níveis indicados na Tabela 10. Após atingir a tensão nominal de ensaio, a tensão deverá permanecer aplicada por um tempo de 1 (Um) minuto. Ao fim do período de ensaio, se alguma perfuração do material ou outro indicativo de falha for detectado, a manga deverá ser reprovada. Na Figura 15 é mostrada uma fotografia da montagem feita no LAT. A Tabela 11 mostra os resultados dos ensaios feitos no LAT.



Figura 15. Fotografia do ensaio em manga isolante.

Tabela 11. Resultado dos ensaios em mangas isolantes.

Nº de série	Fabricante	Lado	Tamanho	Laudo
2002255	ORION	E	10	Reprovada
2002296	ORION	D	10	Aprovada
2002302	ORION	D	10	Aprovada
-	ORION	E	10	Aprovada

Observa-se que a luva isolante de número de série 2002255 foi reprovada. Isso aconteceu devido a presença de uma perfuração do equipamento, como pode ser visto na fotografia mostrada na Figura 16.



Figura16. Fotografia de manga isolante reprovada.

3.1.6 ENSAIOS EM LENÇÓIS ISOLANTES

Lençóis isolantes são fabricados em borracha natural, e, portanto seguem as mesmas classes de isolamento das luvas e mangas isolantes. São utilizados no isolamento elétrico temporário de cabos, barramentos e ferragens irregulares da rede elétrica de alta tensão. Podem ser classificados como lençóis inteiros ou lençóis bipartidos.

O procedimento de ensaio de lençóis isolantes se resume ao posicionamento do lençol entre dois eletrodos. O eletrodo inferior deve estar devidamente aterrado e o superior deve acompanhar o formato do lençol respeitando os limites de afastamento entre os eletrodos, mostrados na Tabela 12.

Tabela 12. Tensões de ensaio e distância entre eletrodos para ensaio em lençóis isolantes [5].

Classe de isolamento	Tensão de ensaio (V)	Distância entre eletrodos (mm)
0	5000	76
1	10000	76
2	20000	127
3	30000	178
4	40000	178

Em seguida, deve-se aplicar a tensão de ensaio, também especificada na Tabela 12, através do eletrodo superior referente à classe de isolamento de cada lençol durante um período de 1 (Um) minuto [5].

As Figuras 17 e 18 mostram fotografias das montagens feitas no LAT para realização dos ensaios em lençóis inteiros e de entalhe, respectivamente. Foram utilizadas duas chapas metálicas no devido formato como eletrodos.



Figura 17. Fotografia do ensaio em lençol isolante inteiro.



Figura 18. Fotografia do ensaio em lençol isolante bipartido.

Ao fim do ensaio deve-se verificar se houve algum processo indicativo de falhas, como rachaduras e perfurações do material isolante, e caso sejam constatados o lençol deve ser reprovado. A Tabela 13 mostra os resultados dos ensaios realizados.

Tabela 13. Resultados dos ensaios em lençóis isolantes.

N° de série	Classe/Tipo	Fabricante	Condições	Laudo
1063*	4/2	RITZ	Usado	Aprovado
1043	4/2	RITZ	Usado	Aprovado

*Lençol bipartido

Deve-se também observar que a região considerada como isolada é apenas a região efetivamente ensaiada. As regiões não atingidas pelos eletrodos não podem ser tratadas como isoladas.

Segundo o manual de instruções técnicas da COPEL, em casos de lençóis com entalhes e furos, é conveniente que sejam colocados tampões de borracha nas áreas sem material isolante. Tal recomendação não foi seguida nos ensaios.

3.1.7 ENSAIOS EM BASTÕES DE MANOBRA

Bastões de manobra são equipamentos utilizados para manobras em redes energizadas ou não. São produzidos em fibra de vidro e resina epóxi e apresentam alta resistência mecânica e dielétrica. São equipamentos muito versáteis e podem ser utilizados em diversas ocasiões, como operações de grampo em linha viva, grampos de aterramento e corte de galhos de árvores próximos a redes energizadas.

As norma que regem os ensaios em material tubular de fibra são a NBR 14540 e a NBR 11854. Na Tabela 14 são fornecidos os valores de tensão de ensaio e os limites máximos de correntes de fuga aceitáveis de acordo com o diâmetro dos bastões.

Tabela 14. Correntes de fuga máximas para ensaios em materiais tubulares de fibra [5].

Diâmetro (mm)	Corrente elétrica de fuga (μA)	
	100 kV	50 kV
32	10	5
38	12	6
51	15	8
64	20	10

Para realização de ensaios em bastões de manobra, é necessário utilizar anéis de guarda (Figura 19), que servem para eliminar as correntes elétricas de ionização do ar, que podem aumentar aproximadamente 200% o valor real da corrente de fuga. Os anéis devem ser produzidos em cobre ou latão, com uma área vazada de 8 cm de diâmetro maior que o maior diâmetro dos bastões que se pretende ensaiar. O anel deve ser dividido em dois e possuir grampos para conectar as duas partes do eletrodo. Deve-se ter um tubo também de cobre ou latão de 1,1 cm de diâmetro nas bordas do anel. Além disso, anéis de nylon bipartidos de diferentes diâmetros devem ser adquiridos para colocar no centro do anel de guarda de modo a fixar os bastões.

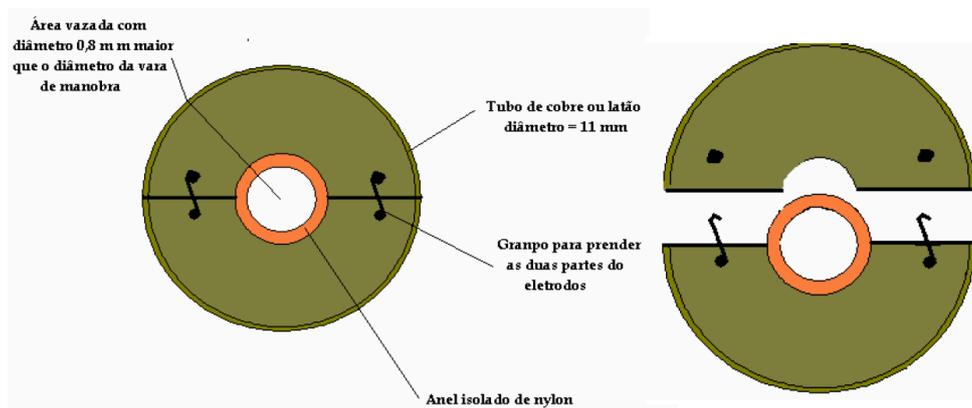


Figura 19. Representação de anél de guarda [5].

Para realização dos ensaios deve-se inicialmente fazer uma limpeza, removendo qualquer acúmulo de poeira ou outros poluentes da superfície do bastão, algo que não foi feito nos ensaios no LAT. Em seguida, duas tiras de chapa de alumínio devem ser colocadas, uma na extremidade do bastão, onde será colocado o anel de guarda e também de onde será feito o aterramento e de onde sairá um cabo para medição da corrente de fuga, e outra tira de alumínio a uma distância de 300 mm da outra, onde será aplicada a tensão de ensaio. A Figura 20 ilustra o esquema de montagem descrito na norma. A montagem feita no LAT pode ser vista na fotografia mostrada na Figura 21.

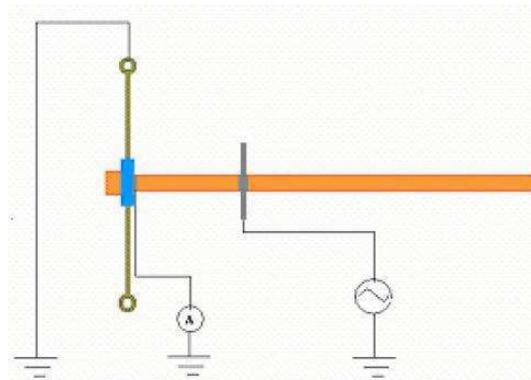


Figura 20. Esquema de montagem para ensaios em bastões de manobra [5].



Figura 21. Ensaio em bastão de manobra.

A tensão de ensaio utilizada foi 100 kV. Observa-se que alguns dos anéis isolantes não eram feitos de nylon, portanto não se pode garantir que o material utilizado possui isolamento suficiente. Os resultados obtidos estão mostrados na Tabela 15.

Tabela 15. Resultados dos ensaios em bastões de manobra.

Fabricante	Tipo/Diâmetro (mm)	Corrente de fuga (μA)	Laudo
RITZ	Cruzeta auxiliar/64	14,3	Aprovado
RITZ	Mastro	15,4	Aprovado
RITZ	Bastão "pega tudo"/32	15,2	Aprovado
RITZ	Bastão catraca/25	8,3	Aprovado
RITZ	Punho/38	7,1	Aprovado
RITZ	Intermediária/38	7,1	Aprovado
RITZ	Intermediária/38	7,1	Aprovado
RITZ	Intermediária/38	7,1	Aprovado
RITZ	Ponta/32	6,7	Aprovado

3.2 IDENTIFICAÇÃO DE FALHAS EM ISOLAMENTOS ATRAVÉS DA MEDIÇÃO DE DESCARGAS PARCIAIS

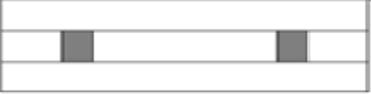
Falhas em isolamentos internos de equipamentos utilizados em sistemas de potência podem ser causadas por defeitos durante a fabricação, por atividades térmicas, mecânicas, elétricas ou químicas durante a operação. As falhas podem ocasionar o aparecimento de pequenas cavidades no interior ou nas extremidades dos isoladores, que reduzem localmente a rigidez dielétrica. Com a presença das cavidades, há o surgimento de pequenas descargas elétricas nessas regiões, chamadas de descargas parciais, sem que hajam descargas totais entre os eletrodos.

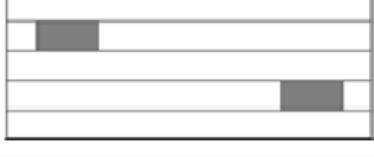
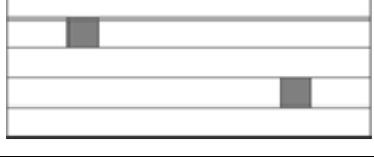
As descargas parciais se caracterizam por pequenos pulsos de corrente de grande taxa de crescimento e pequena duração, geralmente na faixa de nanossegundos. O caráter das descargas parciais pode ser útil para distinguir o tipo e o grau dos defeitos em isoladores.

No projeto de pesquisa do doutorando Euler Cássio Tavares de Macêdo, ele pretende utilizar uma rede neural para determinar uma relação entre o padrão das descargas parciais e o tipo e grau dos defeitos de isolamento.

Para realização da pesquisa foram adquiridos vários discos isolantes de fenolite de 1,6 mm de espessura e 28 mm de diâmetro. Todos foram intencionalmente fabricados com falhas de isolamento, caracterizadas pela presença de cavidades, que possuem 1 ou 2 mm de diâmetro. A Tabela 16 ilustra os 10 tipos diferentes de configurações das falhas encontradas nas isolações, diferenciadas pelo posicionamento das cavidades e o diâmetro das mesmas.

Tabela 16. Configurações de defeitos nos discos isolantes [6].

Objeto de teste	Diâmetro da cavidade (mm)	Configuração
1	2	
2	1	
3	2	
4	1	

5	2	
6	1	
7	2	
8	1	
9	2	
10	1	

Os discos isolantes foram submetidos a tensões alternadas de 10 kV e 20 kV, com frequência de 60 Hz durante um período de 10 segundos. Para isso, foi necessário adquirir uma célula de acrílico que pode ser preenchida com óleo mineral isolante para evitar descargas superficiais. Dentro da célula, existem dois eletrodos circulares paralelos e planos que podem ser ajustados para fixar os isoladores. Na Figura 22 é mostrada uma fotografia da célula de acrílico preenchida com óleo mineral isolante.

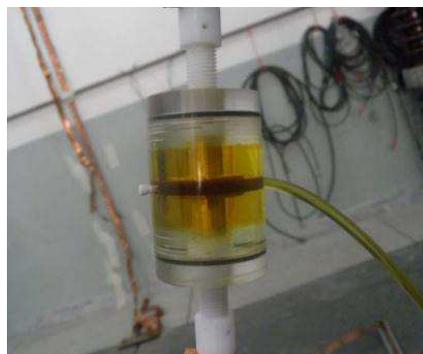


Figura 22. Fotografia da célula de acrílico preenchida com óleo mineral isolante [6].

Para execução do projeto foi utilizado um transformador, cuja tensão nos terminais secundários era aplicada ao isolador, um resistor com a finalidade de limitar a corrente em caso

de curto-circuito, um capacitor de acoplamento usado para aumentar a sensibilidade da medição, permitindo apenas o fluxo de pequenos pulsos de corrente das descargas parciais, e por fim um dispositivo de acoplamento capaz de transformar os sinais de corrente das descargas parciais em sinais proporcionais de tensão, que podem então ser amplificados, medidos ou armazenados. Na Figura 23 é mostrada uma fotografia da montagem feita no LAT.



Figura 23. Fotografia da montagem feita para realização de medição de descargas parciais.

As medições foram realizadas com o LDS-6 que monitora descargas parciais e possui um sistema de diagnósticos. Devido a alta presença de ruídos nos sinais medidos, foi necessária a aplicação de um filtro digital. Alguns operadores estatísticos usados para classificação de descargas parciais foram obtidos para cada isolador ensaiado, como valor de pico, média e desvio padrão. A partir desses dados, a rede neural foi capaz de mapear as estatísticas dos pulsos de descargas parciais em 10 diferentes configurações de defeitos em isoladores.

3.3 ENSAIOS EM UM SISTEMA DE ATERRAMENTO UTILIZANDO UM GERADOR DE IMPULSO DE CORRENTE

Um sistema de aterramento é algo indispensável em uma instalação elétrica, pois fornece segurança para as pessoas que transitam no local e para os próprios componentes do sistema elétrico. O aterramento tem por objetivo controlar a tensão dentro de limites previsíveis. Isso é feito através da criação de um caminho de escoamento para circulação de corrente em casos adversos como descargas atmosféricas, descargas de manobra ou correntes devido ao desequilíbrio das fases de um transformador.

Para avaliação de sistemas de aterramento, uma série de ensaios e medições é necessária. Entre elas, a medição de resistência de aterramento, feita mediante a utilização de

um terrômetro, equipamento que tem seu princípio de funcionamento baseado no método da queda de potencial. Além disso, são realizados ensaios de impulso de corrente, para obtenção dos sinais de tensão e corrente, e a medição do valor de impedância impulsiva.

O aterramento é, essencialmente, uma conexão elétrica à terra, onde o valor da resistência de aterramento representa a eficácia desta ligação. Algumas aplicações exigem baixos valores de resistência de aterramento, da ordem de alguns ohms, sendo assim, estudos vêm sendo direcionados para a validação do revestimento de hastes de aterramento com concreto, ou concreto dopado com bentonita, como um método eficaz para diminuir um possível alto valor de resistência.

No projeto de pesquisa da doutoranda Malone Soares de Castro, ela pretende comparar o desempenho de hastes de aterramento convencionais com hastes revestidas por concreto ou concreto dopado com bentonita. Além disso, pretende-se avaliar o comportamento da resistência de aterramento das hastes, a suportabilidade das estruturas de concreto para impulsos de altas correntes, a impedância impulsiva de aterramento e o comportamento das tensões e correntes provocados pelos impulsos injetados no solo. Para realização dos ensaios foi utilizado um gerador de impulso de corrente da fabricante Haefely (80 kJ/100 kV), capaz de gerar impulsos de corrente com forma de onda de 8/20 μ s, 4/10 μ s entre outras.

Nas Figuras 24 e 25 são mostradas, respectivamente, fotografias do gerador de impulso de corrente e da bancada de controle.



Figura 24. Fotografia do gerador de impulso de corrente.



Figura 25. Fotografia da mesa de controle do gerador de impulso de corrente.

Para as medições dos sinais de tensão e corrente foi utilizado um osciloscópio digital Tektronix modelo TDS 2012. Para medição da tensão foi necessário o uso de um divisor capacitivo com relação de divisão de 16,5 para reduzir os níveis de tensão nas pontas de prova. Para medição da corrente, um dos canais do osciloscópio foi conectado a um resistor shunt, com resistência conhecida de $5,488 \text{ m}\Omega$. Conhecendo-se o valor da resistência, foi possível obter o sinal de corrente a partir da onda de tensão registrada, ou seja, a corrente foi calculada, ponto a ponto, através da divisão da tensão pela resistência.

A Figura 26 ilustra de maneira simplificada o esquema de montagem feito no LAT.

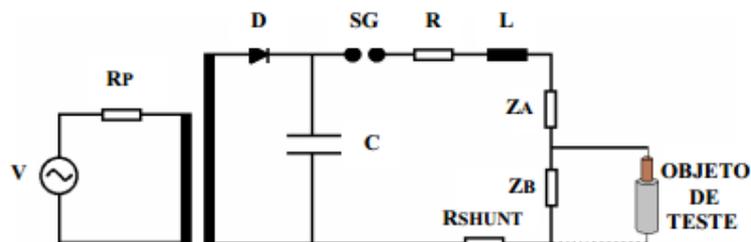


Figura 26. Esquema de montagem usado para ensaios em hastes de aterramento [4].

Diversos impulsos com diferentes tensões de carregamento nos capacitores foram aplicados. A Figura 27 mostra as formas de onda da corrente de uma haste revestida por concreto com 5% de aditivo de bentonita, para tensões de carregamento dos capacitores do gerador de impulso de 10 kV e 60 kV.

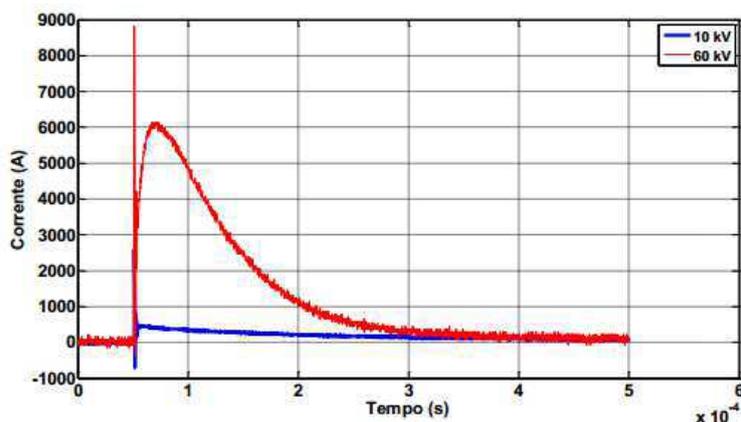


Figura 27. Formas de onda de corrente na haste de aterramento para tensões de carregamento de 10e 60 kV [4].

Observa-se que não houve variação no comportamento das formas de onda para o primeiro impulso aplicado, com tensão de carregamento de 10 kV, e o último impulso aplicado, com tensão de carregamento de 60 kV. Tais resultados evidenciam que não houve dano na estrutura de concreto das hastes com revestimento, já que estudos anteriores mostram que, quando ocorrem fraturas no concreto, os sinais de tensão e corrente apresentam oscilações ou spikes [4], ou seja, a estrutura de revestimento apresentou boa suportabilidade a impulsos de alta corrente.

A partir das formas de onda de tensão e corrente é possível calcular a impedância impulsiva de aterramento, parâmetro dado pela razão entre os valores de pico das ondas de tensão V_p e de corrente I_p . O cálculo pode ser feito com o auxílio do software Matlab. A impedância impulsiva de aterramento é um dado utilizado para representar o comportamento do sistema de aterramento. Observou-se que, para todas as hastes, as resistências de aterramento medidas foram maiores que os valores de impedância impulsiva do aterramento calculados, evidenciando o efeito das correntes capacitivas do solo.

Com as medições de resistência de aterramento, foi possível concluir que o uso de hastes de aterramento sem revestimento de concreto é ainda a melhor alternativa. No entanto, Os mesmos ensaios devem ser realizados em épocas diferentes do ano para verificar se existe um padrão nos resultados.

Durante os ensaios, o estagiário realizou a calibração e o ajuste do sistema de gatilhamento do osciloscópio para obtenção dos sinais de tensão e corrente. Além disso, foi possível aprender como utilizar a bancada de controle, onde se pode fazer o carregamento dos capacitores do gerador de impulso de corrente e também é possível aplicar o impulso através da aproximação dos centelhadores.

3.4 MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA DINÂMICA DOS CONTATOS DE UM DISJUNTOR (MRDC)

Disjuntores são equipamentos de proteção responsáveis por manobras em sistemas elétricos de potencia e são capazes de interromper correntes de curto circuito, por isso contribuem em grande parte para a confiabilidade, economia e continuidade da operação. Sendo assim, a realização de manutenções adequadas para permitir que os disjuntores possam exercer suas funções é uma atividade primordial.

Durante a separação dos contatos fixo e móvel existe a formação de arcos elétricos devido a um processo de ionização térmica. Esses arcos possuem temperatura muito elevada, podendo atingir cerca de 25000 K, e são os principais responsáveis pela degradação dos contatos.

Atualmente método utilizado para avaliar o grau de degradação dos contatos de um disjuntor é a medição da resistência estática, feitas com os contatos fechados. Utiliza-se para esse tipo de medição, equipamentos portáteis chamados de microhmímetros, que fazem as medições individualmente em cada fase do disjuntor a partir da injeção de corrente contínua e medição da queda de tensão. No entanto, este é um método inconclusivo, pois ainda apresenta falsos resultados.

De modo a tornar a análise da resistência dos contatos mais conclusiva, pesquisas estão sendo direcionadas para a medição da resistência dinâmica dos contatos (MRDC), com a finalidade de validá-la como uma técnica preditiva de medição eficiente e tentando encontrar um modelo conclusivo que correlacione as curvas de resistência dinâmica com o estado real de desgaste dos contatos.

Existem alguns padrões que determinam o nível mínimo de corrente contínua que deve ser aplicada no disjuntor para que as medições apresentem resultados aceitáveis, entre eles temos o padrão da IEC de 50 A e o padrão da ANSI de 100 A. Além disso, alguns estudos indicam que a velocidade de abertura dos contatos nos ensaios de obtenção da curva de resistência dinâmica exercem uma certa influência nos resultados.

No LAT foi feito o acompanhamento do projeto de pesquisa do doutorando Ronimack Trajano de Souza que tem como objetivos: desenvolver um método eficiente para realização de ensaios de MRDC; projetar um sistema de injeção de corrente contínua com controle de amplitude; avaliar a influência da amplitude da corrente de ensaio e da velocidade de abertura dos contatos nos resultados.

Para realização dos ensaios foram utilizados os seguintes equipamentos:

- Disjuntor trifásico do tipo PVO, modelo PL 15C, classe de tensão 15 kV, corrente nominal 630 A, de fabricação da Siemens;
- Resistor de Níquel-Cromo regulável ($60 \text{ m}\Omega - 1,4 \Omega / 3 \text{ kW}$);
- Shunt de corrente ($500 \text{ A} / 60 \text{ mV}$);
- Transdutor de tensão/tensão ($60 \text{ mV} / 5 \text{ V}$);
- Osciloscópio digital acoplado à um computador;
- Inversor de frequência;
- Motor assíncrono;
- Bateria estacionária de 12 V.

O sistema de injeção de corrente é composto pela bateria estacionária em conjunto com o resistor de Níquel-Cromo, onde o nível de corrente era determinado pelo ajuste do resistor. A medição de corrente era feita por um shunt de corrente e um transdutor que transformavam o sinal de corrente em um sinal de tensão de 0 V a 5V.

Para fazer o controle de velocidade de abertura dos contatos do disjuntor foi utilizado um inversor de frequência em conjunto com um motor assíncrono. Para isso, a alavanca, normalmente acionada por um sistema de molas para abrir e fechar os contatos, foi retirada e o eixo do motor foi fixado no seu lugar. A velocidade do motor era controlada pelo inversor de frequência. Para baixas velocidades ($f < 10 \text{ Hz}$) o torque não foi suficiente para abrir os contatos. Na Figura 28 é mostrada uma fotografia da montagem feita no LAT.

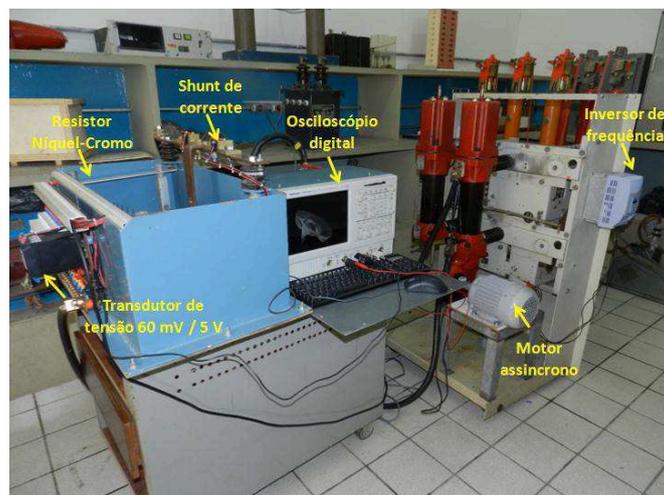


Figura 28. Fotografia da montagem para realização de ensaios de MRDC.

Para a sincronização do osciloscópio para que fosse possível capturar os sinais de tensão e corrente no exato momento de abertura dos contatos, foi utilizada uma braçadeira de eletrodutos de parede, que foi fixada no eixo do motor. Na braçadeira foi colocado um pequeno

gancho condutor em contato com uma haste fixa, que por sua vez era colocada ao potencial de 12 V da bateria. O sinal de gatilhamento do osciloscópio era obtido a partir do gancho, de modo que quando ocorre a separação dos contatos, o sinal de tensão canal do sinal de gatilhamento assumia o potencial de 0 V. Portanto, para sincronizar o osciloscópio, o gatilho do osciloscópio foi ajustado para um valor entre 12 V e 0 V. Na Figura 29 é mostrada uma fotografia onde é possível observar o arranjo feito para o sistema de gatilhamento.



Figura 29. Fotografia do sistema de gatilhamento.

Na Figura 30 é mostrada uma das medições feitas com uma corrente contínua de 150 A e com uma frequência de 10 Hz, que resultava numa velocidade de abertura de contatos de cerca de 70 mm/s. O sinal do canal 1 (amarelo) mostra o sinal utilizado para o gatilhamento, o canal 2 (azul) mostra a queda de tensão entre os contatos e o canal 3 (rosa) mostra o sinal de corrente.

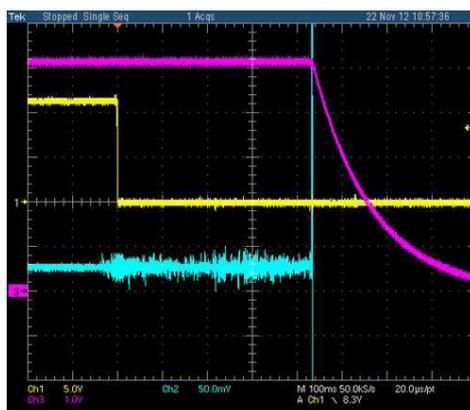


Figura 30. Sinais de tensão e corrente obtidos com o osciloscópio.

Fica claro que há um erro de medição de corrente, pois no instante da interrupção de corrente ela deveria ser zero, no entanto a medição mostra um decaimento da mesma. Isso se deve ao tempo de resposta do transdutor que é muito lento. Observa-se também a grande presença de ruídos na medição, dificultando a análise dos resultados.

Os sinais medidos foram exportados para um computador onde foram submetidos a um filtro digital feito no software Matlab para redução do ruído. Para obtenção da curva de resistência dinâmica, foi feita a divisão, ponto a ponto, do sinal de tensão pelo sinal de corrente. Na Figura 31 são mostradas as curvas de resistência dinâmica para velocidade de abertura nominal e diferentes níveis de corrente.

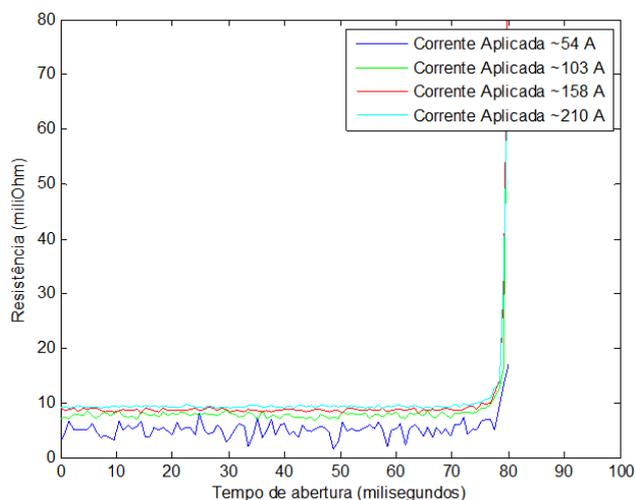


Figura 31. Curvas de resistência dinâmica para velocidade de abertura nominal.

Observa-se que as curvas de MRDC não apresentam claramente os pontos de separação dos contatos de arco, apresentando basicamente as mesmas informações do ensaio de resistência estática, sendo necessário um aumento no nível da corrente de ensaio e maior redução da velocidade de abertura de contatos.

Na Figura 32 são mostradas as curvas de MRDC para uma corrente contínua de 200 A e diferentes velocidades de abertura.

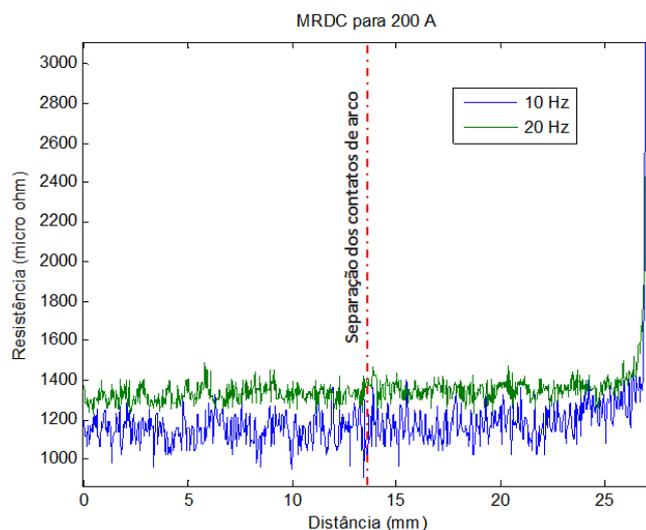


Figura 32. Curvas de resistência dinâmica para aberturas de contatos com 10 e 20 Hz.

Nota-se que as curvas de MRDC com velocidade controlada em 20 Hz e 10 Hz apresentam comportamento diferente das curvas obtidas em velocidade nominal, sendo necessário mais ensaios para analisar se há um padrão nos resultados.

As contribuições do estagiário para este projeto foram: Exportação das medições do osciloscópio para um computador; Aplicação de filtros digitais para redução de ruídos; Elaboração de uma rotina no Matlab para obtenção das curvas de resistência dinâmica e cálculo das velocidades de abertura dos contatos.

3.5 ENSAIOS EM LINHAS DE MÃO ISOLANTES

Durante trabalhos em linhas energizadas, sejam eles de manutenção ou troca de equipamentos, muitas vezes é necessário utilizar linhas de mão para içar os materiais até o local da intervenção. Atualmente são utilizadas para essas atividades cordas de tecido, feitas de seda ou sisal. No entanto, devido à baixa rigidez dielétrica das cordas, elas não podem ser consideradas como isolantes, e por isso várias precauções devem ser tomadas, respeitando as distâncias de segurança (Tabela 17). Isso implica em um maior período de tempo e esforço que deve ser dedicado para realizar estas atividades. A Figura 33 ilustra uma situação hipotética, onde os eletricitistas devem deslocar os equipamentos a serem substituídos ou consertados até a linha de mão, utilizando bastões de manobra. Visando encontrar uma solução para estes problemas, a concessionária de energia CHESF está realizando estudos sobre a possibilidade de substituir as cordas por fios de nylon.

A utilização de fios de nylon apresenta diversas vantagens em relação ao uso de cordas, pois, devido à sua alta rigidez dielétrica e fácil manuseamento, é possível realizar trabalhos em linhas energizadas em menos tempo. Estima-se que o tempo gasto para realizar a troca de cadeia de isoladores seria reduzido em aproximadamente 50%. Além disso, a própria constituição das cordas faz com que a poeira, fuligem e outros poluentes fiquem incrustados, dificultando o processo de limpeza. Cordas também possuem uma maior capacidade de absorção e retenção de umidade, diminuindo ainda mais a sua capacidade de isolação.

Tabela 17. Distâncias de segurança [17].

Tensão nominal (kV)	Distância de segurança (m)
De 11,9 até 69	0,95
138	1,19
230	1,55
500	3,40

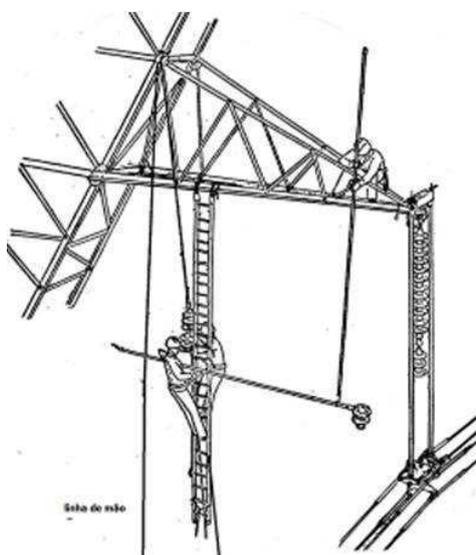


Figura 33. Manutenção em cadeia de isoladores usando linhas de mão feitas de corda [18].

Durante o período de estágio o engenheiro eletricista Alexandre Manoel de Medeiros Borja Gomes da CHESF veio ao laboratório para realizar ensaios de isolamento em fios de nylon com o objetivo de validar o material isolante nos trabalhos em instalações energizadas.

Foram realizados testes semelhantes aos ensaios em bastões de manobra, aplicando uma tensão de ensaio de 100 kV, com frequência de 60 Hz, efetuando medições das correntes de fuga. Foram realizados ensaios em diversos segmentos de fios de nylon, cada um com um comprimento de aproximadamente 300 mm e 3 mm de diâmetro. Além disso, diferentes amostras foram ensaiadas, uma sem uso (nova), outra com dez manobras (uma intervenção) e outra com 50 manobras (meio dia de trabalhos - 5 intervenções). Na Figura 34 é possível visualizar uma fotografia do arranjo de montagem feito no laboratório.



Figura 34. Fotografia do ensaio em linhas de mão isolantes feitas de nylon.

Para efeito de comparação também foram realizados ensaios em bastões de manobra de 51 mm de diâmetro. Para avaliar o comportamento dos equipamentos quando sujos, os mesmos foram borrifados com uma mistura de água com areia.

A Figura 35 e a Tabela 18 mostram os resultados das medições feitas em um bastão de manobra de 51 mm de diâmetro limpo.

Tabela 18. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro limpo.

Data:	Temp:	URA =	Rshunt =
18/12	28,1°C	52%	1 k Ω
Bastão de Manobra de 51mm LIMPO			
Corrente de fuga (true RMS)			11,9 μ A
Corrente de fuga (pico)			19,6 μ A

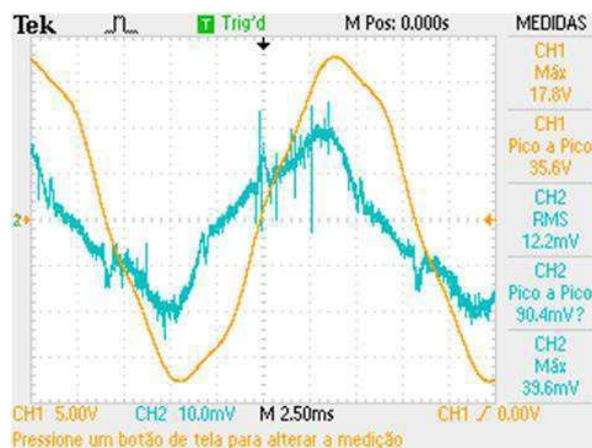


Figura 35. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro limpo.

A Figura 36 e a Tabela 19 mostram os resultados das medições feitas em um bastão de manobra de 51 mm de diâmetro borrifado com a mistura de água e areia.

Tabela 19. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro sujo.

Data:	Temp:	URA =	Rshunt =
18/12	28,1°C	52%	1 k Ω
Bastão de Manobra de 51mm SUJO			
Corrente de fuga (true RMS)			40 μ A
Corrente de fuga (pico)			70 μ A

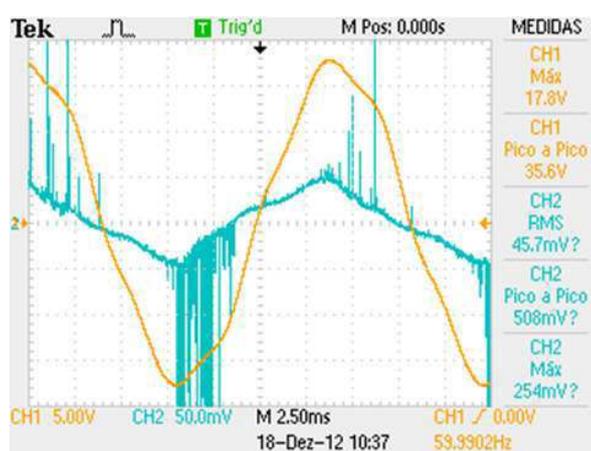


Figura 36. Medição de corrente de fuga de um bastão de 51 mm de diâmetro sujo.

A Figura 37 e a Tabela 20 mostram os resultados das medições feitas em um fio de nylon de 3 mm de diâmetro sem uso e limpo.

Tabela 20. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e limpo.

Data:	Temp:	URA =	Rshunt =
18/12	28,1°C	52%	1 k Ω
Linha de mão isolante de 3 mm LIMPA (segmento 1 amostra nova)			
Corrente de fuga (true RMS)			4,12 μ A
Corrente de fuga (pico)			9,6 μ A

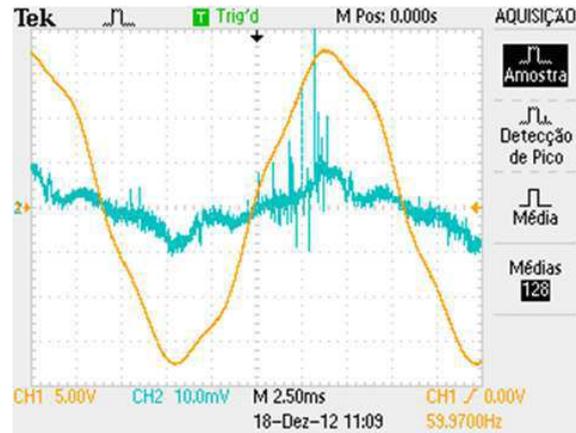


Figura 37. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e limpo.

A Figura 38 e a Tabela 21 mostram os resultados das medições feitas em um fio de nylon de 3 mm de diâmetro sem uso e borrifado com a mistura de água e areia.

Tabela 21. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e sujo.

Data: 18/12	Temp: 28,1°C	URA = 52%	Rshunt = 1 k Ω
Linha de mão isolante de 3 mm SUJA (segmento 1 amostra nova)			
Corrente de fuga (true RMS)		4,95 μ A	
Corrente de fuga (pico)		10 μ A	

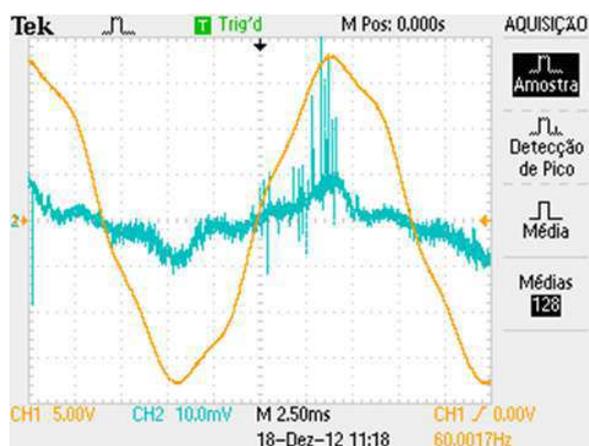


Figura38. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon novo e sujo.

A Figura 39 e a Tabela 22 mostram os resultados das medições feitas em um fio de nylon de 3 mm de diâmetro com uma intervenção feita e limpo.

Tabela 22. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com uma intervenção.

Data:	Temp:	URA =	Rshunt =
18/12	29°C	45%	10 k Ω
Linha de mão isolante de 3 mm (segmento 1 amostra 1 intervenções)			
Corrente de fuga (true RMS)	2,43 μ A		
Corrente de fuga (pico)	4,48 μ A		

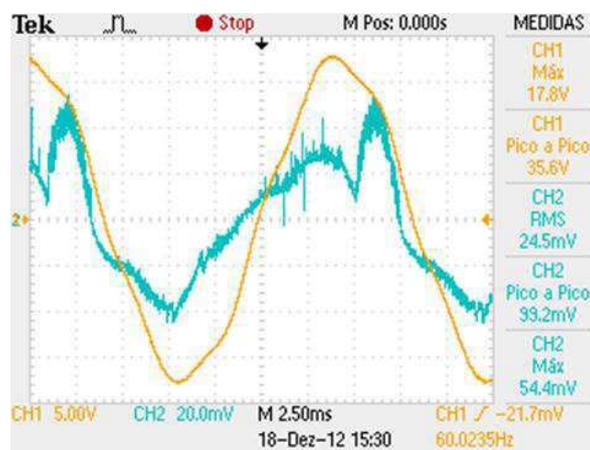


Figura 39. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com uma intervenção.

A Figura 40 e a Tabela 23 mostram os resultados das medições feitas em um fio de nylon de 3 mm de diâmetro com cinco intervenções feitas e limpo.

Tabela 23. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com cinco intervenções.

Data:	Temp:	URA =	Rshunt =
19/12	27,6°C	58%	10 k Ω
Linha de mão isolante de 3 mm (segmento 1 amostra 5 intervenções)			
Corrente de fuga (true RMS)	2,9 μ A		
Corrente de fuga (pico)	4,4 μ A		

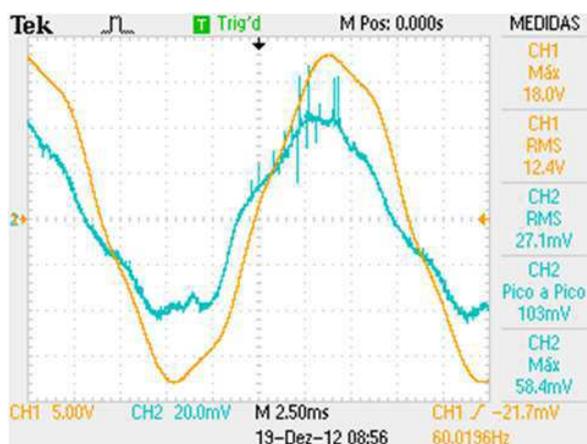


Figura 40. Medição de corrente de fuga de um fio de nylon com cinco intervenções.

Diversas conclusões podem ser feitas a partir dessas medições. Os resultados mostrados nas tabelas diferem um pouco dos resultados obtidos com o osciloscópio, pois os das tabelas foram obtidos utilizando a função que calcula a média dos valores, e nos gráficos foram apresentadas telas com valores mostrados no momento da medição, sendo estes muito influenciados pelo ruído. A mudança do resistor shunt de 1 k Ω para um de 10 k Ω ajudou a reduzir um pouco a presença de ruídos. As correntes de fuga em todos os ensaios respeitaram o limite mostrado na Tabela 14 de 15 μ A, com exceção do ensaio feito com bastão de manobra com água e areia. As correntes de fuga medidas nos fios de nylon foram consideravelmente menores que as dos bastões de manobra, demonstrando num primeiro momento que a linha de mão isolante possui maior rigidez dielétrica que o próprio bastão. Os ensaios indicam que a realização de uma intervenção pouco influencia no desempenho da linha de mão. As correntes de fuga medidas nas amostras de linha de mão com uma intervenção foram ligeiramente menores que as correntes de fuga das amostras novas, o que provavelmente deve-se ao fato de que a umidade relativa do ar (URA) era menor. Os ensaios com linhas de mão com cinco intervenções apresentaram uma corrente de fuga ligeiramente maior que as outras amostras, o que provavelmente ocorreu devido ao fato de que os ensaios foram realizados em um horário com URA maior. Em um dos ensaios com uma amostra de linha de mão com cinco intervenções e borrifado com a mistura de água e terra, ocorreu formação de um arco elétrico, por isso nos ensaios seguintes a elevação do nível de tensão foi feita de forma gradual e não houve mais formação de arco.

Esses ensaios trazem grande expectativa do uso de linhas de mão isolantes nos trabalhos em linha viva, no entanto, futuramente planeja-se realizar ensaios em novas amostras, com maiores tempos de intervenção e com maior diâmetro, visando validar definitivamente o material isolante nos trabalhos em instalações energizadas.

3.6 ESTUDO SOBRE O EFEITO DO CAMPO ELÉTRICO SOBRE DIFERENTES MATERIAIS

Esta etapa do estágio consistiu no estudo sobre o efeito do campo elétrico sobre diferentes tipos de materiais. Esperava-se que os materiais ensaiados apresentassem alterações na sua coloração quando submetidos a um campo elétrico de alta intensidade. Se tal expectativa fosse atendida, surgiria então a possibilidade de criar algum sistema capaz de detectar a existência de campos elétricos de alta intensidade, indicando assim, possíveis anormalidades no sistema. Os seguintes materiais foram ensaiados:

- Fita de európio 5:1;
- Fitas de NiZn de 2 g;
- Fita de alumina;
- Pó de NiZn;
- Pó de alumina dopada com európio;
- Pó de hematita.

Para realização dos ensaios, os materiais foram fixados na superfície de um dos isoladores de uma cadeia de isoladores de vidro, mediante o uso de fitas adesivas e, em seguida, uma tensão de aproximadamente 75 kV foi aplicada, como pode ser visto na fotografia mostrada na Figura 41.



Figura 41. Fotografia do ensaio em materiais submetidos à um campo elétrico.

Nenhuma alteração foi observada na coloração dos materiais. Esta linha de pesquisa foi abandonada por tempo indeterminado.

4 CONCLUSÃO

O estágio realizado foi extremamente importante, pois contribuiu substancialmente para o desenvolvimento do caráter prático do aluno, que por meio da realização de atividades de acompanhamento e participação em diferentes projetos de pesquisa, e de ensaios técnicos em equipamentos para manutenção em instalações energizadas, pôde se envolver nas mais diferentes áreas da engenharia, tais como aterramentos, geração de impulsos de corrente, descargas parciais, disjuntores, ensaios em equipamentos de proteção, dentre outros.

As contribuições técnicas do estágio para o aluno foram: Experiência com trabalho em equipe; Aprendizado de técnica para identificação de falhas em isoladores, mediante a medição de descargas parciais; Aprendizado de um novo método para avaliação do estado de degradação de contatos de disjuntores, mediante a medição da resistência dinâmica dos contatos; Aprendizado dos procedimentos técnicos adotados para ensaios de rotina em equipamentos para manutenção em linhas energizadas; Aprendizado de métodos de avaliação de um sistema de aterramento, mediante a aplicação de impulsos de corrente.

Nos ensaios em EPI, utilizados para manutenções em linhas energizadas de 13,8 kV e 69 kV, foram observadas algumas divergências entre o procedimento descrito pela norma e o procedimento adotado. Nenhum dos equipamentos passou por um processo de limpeza e secagem, o que pode ter ocasionado falsos resultados, como elevadas correntes de fuga. As distâncias entre os eletrodos e as distâncias entre o nível de água e a parte superior dos equipamentos, especificadas por normas, não foram rigorosamente verificadas. Não foi verificado se os níveis da água na parte interna e externa dos equipamentos coincidem. Normalmente, não eram realizadas inspeções visuais nos equipamentos, com o objetivo de verificar se existem fissuras, riscos, furos ou processos de degradação.

O aluno então foi capaz de alcançar seus objetivos com a realização do estágio. São eles: Colocar em prática os seus conhecimentos teóricos, adquirir experiência e aperfeiçoar sua desenvoltura no âmbito profissional.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] **Casa dos EPI's**, 2013. Disponível em <<http://www.casadosepis.com.br/>>.
- [2] **Leal: indústria & comércio**, 2013. Disponível em <<http://leal.com.br/>>.
- [3] **Grupo de Sistemas Elétricos**, 2012. Disponível em:<<https://sites.google.com/a/dee.ufcg.edu.br/gse/>>.
- [4] RODRIGUES, M. A. O.; DA COSTA, E. G.; DE CASTRO, M. S.; TROVÃO, L. G. C.. Avaliação do Desempenho de um Novo Sistema de Aterramento Submetido a Impulsos de Corrente. **Simpósio Brasileiro de Sistemas Elétricos**, 2012.
- [5] Manual de Instruções Técnicas. Procedimentos de Ensaios de ferramentas e Equipamentos de Linha Viva. COPEL Distribuição, MIT 161703,2006.
- [6] MACEDO, E. C. T.. Identification of Insulation Defect Configuration using a Neural Network to Classify Partial Discharge Signals, 2012.
- [7] NBR 16092:2012 Cestas aéreas.
- [8] Normativo Chesf NM-MN-LT-L.2002
- [9] Normativo Chesf IM-MN-LT-M.2002