



Universidade Federal de Campina Grande

Centro de Engenharia Elétrica e Informática

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

TIAGO OLIVEIRA DE MEDEIROS

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande, Paraíba
Dezembro de 2012

TIAGO OLIVEIRA DE MEDEIROS

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.*

Área de Concentração: Processamento de Energia

Orientador:

Professor Edson Guedes da Costa, DSc.

Campina Grande, Paraíba
Dezembro de 2012

TIAGO OLIVEIRA DE MEDEIROS

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.

Área de Concentração: Processamento de Energia

Aprovado em / /

Professor Avaliador

Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Edson Guedes da Costa, DSc.

Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho a meus pais. Sem a ajuda, a paciência, a compreensão e o amor deles, eu não teria conseguido concluir este trabalho e este curso.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Deus Pai, Filho e Espírito Santo pelos dons do discernimento e perseverança, por ter me colocado e recolocado em Seu caminho por tantas, insistentemente, e por todas as maravilhas que tem feito.

Agradeço a meus pais, Marcos e Rossana, por todos os esforços que fizeram para me criar, dando boa educação, tanto em termos acadêmicos como em termos de caráter. Por terem cuidado tão bem de minha saúde e de minha alimentação. Por terem me dado todo o suporte que precisei durante minha vida. E por todo o amor que me deram.

Agradeço meus irmãos, Lucas e Paulo, e a toda minha família, por todo apoio e carinho que me deram.

Agradeço aos amigos que fiz na universidade, que comigo compartilharam tantas horas e noites de estudo, e tantos aborrecimentos e alegrias.

Agradeço à família de Adamastor Júnior, seu pai Adamastor, sua mãe Cássia, seus irmãos Eduardo, Mariana e Clara, e seus tios Zezinho e Rosa, por terem me acolhido tão prontamente quando cheguei a Campina Grande.

Agradeço aos de minha unidade *gen*: Bruno, Rodrigo, Enoque, Thiago, Júnior, Arthur, Wendell, Danilo e Luís. Todos foram de grande importância para meu crescimento como pessoa durante esses anos de curso.

Agradeço a meu colega de curso Rairon e aos técnicos do LAT, Eduardo, Adriano e Chico. Sem eles este trabalho não teria condições de ser realizado.

Agradeço ao professor Edson Guedes pela oportunidade de estágio, orientação e supervisão.

E enfim, agradeço a todos que de alguma forma passaram em minha vida contribuindo em minha formação.

*“Existem dois meios
de se alcançar a verdade.
Eu decidi seguir ambos.”*

Pe. Georges Lamaître.

RESUMO

Neste relatório, são apresentadas atividades desenvolvidas pelo aluno Tiago Oliveira de Medeiros durante realização de Estágio Supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação e supervisão do professor Edson Guedes da Costa, no período de 2 de abril a 29 de junho de 2012. São listadas atividades de: detecção e medição de descargas parciais em amostras de fenolite, para simulação de descargas em isoladores poliméricos; ensaios de equipamentos para trabalho em linhas vivas, requisitados pelo Grupo Energisa; e manutenção de um transformador para ensaios em Alta Tensão, que apresentava defeito de descarga elétrica em seu interior.

Palavras-chave: Estágio, Transformador, LAT, Ensaios, Isoladores, Descargas Parciais.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1. Salão de Alta Tensão. Fonte: (SISTEMAS ELÉTRICOS, 2006).	13
Figura 2. Laboratório de Materiais Elétricos.	14
Figura 3. Fotografia de amostras de fenolite.	18
Figura 4. Fotografia da Célula de Teste.	19
Figura 5. Fotografia de inserção de óleo na Célula de Teste.	20
Figura 6. Circuito para medição de detecção de Descargas Parciais. Fonte: (IEC, 2000),	20
Figura 7. Fotografia do circuito para medição e detecção de DP montado no Laboratório de Materiais do LAT.	21
Figura 8. Detalhe do transformador de corrente usado para amplificação da corrente de fuga do objeto de teste.	22
Figura 9. Imagem gerada pelo LDS-6.	22
Figura 10. Fotografia do carro da energisa chegando ao LAT.	25
Figura 11. Ensaio de luvas isolantes de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. Fonte: (COPEL, 2006).	26
Figura 12. Ensaio de manga isolante de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. (COPEL, 2006)	28
Figura 13. Ensaio de cobertura para condutores rígida. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006).	30
Figura 14. Fotografia de ensaio de proteção para condutores tipo flexível.	31
Figura 15. Fotografia de ensaio de cobertura protetora circular para postes.	32
Figura 16. Esboço de um anel de guarda para ensaio de varas de manobra. Fonte: (COPEL, 2006).	33
Figura 17. Ensaio de vara de manobra. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006).	34
Figura 18. Ensaio de <i>Liner</i> . (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006).	35
Figura 19. Fotografia dos dados de placa de um transformador do LAT.	36
Figura 20. Fotografia do transformador do LAT para ensaios em Alta Tensão.	37
Figura 21. Fotografia da parte ativa do transformador.	38
Figura 22. Fotografia de uma estufa.	38
Figura 23. Detalhe da localização do defeito no transformador.	39
Figura 24. Fotografia do circuito para medição de relação de tensão do transformador.	40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Diâmetro e localização dos defeitos nas amostas de fenolite.	17
Tabela 2. Variáveis para ensaio de luvas isolantes de borracha.	25
Tabela 3. Laudo técnico de ensaio de luvas isolantes de borracha.	27
Tabela 4. Variáveis para ensaio de Mangas Isolantes de Borracha.....	27
Tabela 5. Laudo técnico de ensaio de mangas isolantes de borracha.....	28
Tabela 6. Tensão de uso de coberturas protetoras em função da classe de isolamento.	29
Tabela 7. Laudo técnico de ensaio de cobertura de condutor rígida.	30
Tabela 8. Laudo técnico de ensaio de cobertura de condutor flexível.	31
Tabela 9. Laudo técnico de ensaio de coberturas protetoras circular.....	32
Tabela 10. Corrente de fuga para ensaios em hastes e tubos de fibra.	33
Tabela 11. Laudo técnico de ensaio de bastões isolantes.	34

SUMÁRIO

1	Introdução	11
2	Apresentação das Instituições	12
2.1	Grupo de Sistemas Elétricos	12
2.2	Laboratório de Alta Tensão	12
2.2.1	Sala de Alta Tensão	13
2.2.2	Laboratório de Materiais Elétricos	14
2.3	Grupo Energisa	14
3	Descargas Parciais	16
3.1	Amostras de Fenolite	16
3.2	Célula de Teste	18
3.3	Circuito do Experimento	19
3.4	Procedimento Experimental	21
4	Ensaio em Equipamentos para Trabalho com Linhas Vivas	24
4.1	Luvas Isolantes de Borracha	25
4.2	Mangas Isolantes de Borracha	27
4.3	Coberturas Protetoras	29
4.3.1	Cobertura Protetora para Condutores Rígida	29
4.3.2	Cobertura Protetora para Condutores Tipo Flexível	30
4.3.3	Cobertura Protetora Circular	31
4.4	Bastões de Manobra	33
4.5	Cuba Isolante (<i>Liner</i>)	35
5	Manutenção de Transformador para Ensaios em Alta Tensão	36
5.1	Localização do Defeito	37
5.2	Relação de Transformação	39
6	Conclusão	42
7	Bibliografia	Erro! Indicador não definido.

1 INTRODUÇÃO

Neste relatório, são apresentadas atividades desenvolvidas pelo aluno Tiago Oliveira de Medeiros durante realização de Estágio Supervisionado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), sob orientação e supervisão do professor Edson Guedes da Costa, no período de 2 de abril a 29 de junho de 2012.

Durante o curso de Engenharia Elétrica na universidade, o aluno tem amplas oportunidades de engrandecer seu conhecimento teórico, formando uma base sólida para sua vida profissional. No entanto, engenharia se faz com teoria e prática. Apesar de atividades de algumas disciplinas de laboratório, o aluno só virá a desenvolver definitivamente este caráter prático em sua vida profissional. O Estágio Curricular é então, um importante ponto inicial para o desenvolvimento de conhecimentos práticos, contribuindo grandemente para o aperfeiçoamento da desenvoltura do aluno no âmbito profissional.

Neste relatório, são listadas atividades de: detecção e medição de descargas parciais em amostras de fenolite; ensaios de equipamentos para trabalho em linhas vivas, requisitado pelo Grupo Energisa; e manutenção de um transformador para ensaios em Alta Tensão. O primeiro item, de detecção de descargas parciais em amostras de fenolite, tem importância na simulação de descargas parciais em isoladores poliméricos. O segundo item, de ensaios em equipamentos da Energisa, é a descrição ensaios de rotina em equipamentos para uso em linhas energizadas, visando a segurança dos trabalhadores e cumprimento das normas vigentes. O terceiro item é a manutenção de um transformador que estava fora de atividade no laboratório, por ocasião de defeitos.

2 APRESENTAÇÃO DAS INSTITUIÇÕES

2.1 GRUPO DE SISTEMAS ELÉTRICOS

O Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) da Universidade Federal de Campina Grande é o resultado da fusão dos antigos grupos de Sistemas de Potência e Alta Tensão, ocorrida em 1999. A fusão dos dois grupos resultou na incorporação de novas linhas de pesquisa, além da consolidação e fortalecimento das linhas de pesquisa existentes. O GSE tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão relacionadas à ênfase eletrotécnica. As atividades de extensão incluem projetos, ensaios, cursos e consultorias para empresas de energia. Abaixo estão algumas linhas de pesquisa do GSE:

- Análise de Sistemas Elétricos de Potência (SEP) em regime permanente;
- Dinâmica e controle de SEP;
- Dinâmica de mercado em SEP;
- Qualidade da energia;
- Análise de transitórios eletromagnéticos em SEP;
- Análise de fluxo de harmônicos em SEP;
- Equipamentos e técnicas de alta tensão;
- Cálculo de campos eletromagnéticos;
- Métodos de otimização aplicados a SEP;
- Técnicas de inteligência artificial aplicadas a SEP.

2.2 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.

O LAT possui equipamentos sofisticados, cujos valores ultrapassam três milhões de dólares e um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos dos mais qualificados e experientes. Nos últimos 25 anos, foi realizado um grande número de ensaios elétricos, de recebimentos e pós-reparos eletromecânicos, além de apoio às pesquisas de desenvolvimento de equipamentos. Várias empresas tais como, a PETROBRAS, Chesf, Energisa, CEAL, JPW, CEMEC, ALCACE, têm solicitado os serviços do LAT (SISTEMAS ELÉTRICOS, 2006).

2.2.1 SALA DE ALTA TENSÃO

O Salão de Alta Tensão é o principal ambiente dentro do LAT, podendo ser visto na fotografia da Figura 1. Neste ambiente são realizados os ensaios mais exigentes em termos de potência, visto que possui equipamentos como transformadores de potencial em cascata, que permitem a geração de até 600 kV, e o gerador de impulsos de alta tensão (700 kV), com o qual se realizam ensaios em transformadores, isoladores, disjuntores e chaves. A cascata de transformadores pode suprir tensões de até 600 kV com uma corrente de 1 A. Dentre os ensaios realizados neste salão tem-se: ensaios de validação de modelos computacionais, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas, e ensaios de verificação de isolamento em equipamentos manutenção de linha viva. Além disso, há também nesse ambiente uma câmara de névoa, útil em ensaios envolvendo umidade ou névoa salina, a qual é utilizada em ensaios em isoladores.



Figura 1. Salão de Alta Tensão. Fonte: (SISTEMAS ELÉTRICOS, 2006).

2.2.2 LABORATÓRIO DE MATERIAIS ELÉTRICOS

O Laboratório de Materiais Elétricos, que pode ser visto na fotografia da , dá suporte à disciplina Laboratório de Materiais Elétricos. Tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina Materiais Elétricos do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica.



Figura 2. Laboratório de Materiais Elétricos.

2.3 GRUPO ENERGISA

O Grupo Energisa tem na distribuição de energia elétrica a principal base de seu negócio. Com cinco distribuidoras no Brasil, das quais três na região Nordeste (Energisa Sergipe - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de Energipe, no Estado de Sergipe, Energisa Paraíba - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de Saelpa e Energisa Borborema - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CELB na Paraíba), uma na Zona da Mata de Minas Gerais (Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CFLCL) e uma em Nova Friburgo, no Estado do Rio de Janeiro (Energisa Nova Friburgo - Distribuidora de Energia S/A nova denominação de CENF), abrange 91.180 km² de área coberta. Ao todo, são aproximadamente 2,4 milhões de consumidores e uma população atendida de 6,7 milhões de habitantes em 352 municípios. Atualmente, mais de 5,0 mil colaboradores diretos e indiretos fazem parte das suas empresas (ENERGISA, 2009).

Fundado em 1905, a Energisa Minas Gerais - Distribuidora de Energia S/A (nova denominação da Companhia Força e Luz Cataguazes-Leopoldina - CFLCL) é a empresa que originou o Grupo Energisa e que, até fevereiro de 2007, era a holding operacional. Com a conclusão do processo de desverticalização, a Energisa passou a ser a nova controladora de todas as empresas do Grupo.

3 DESCARGAS PARCIAIS

Descargas Parciais (DP) são pulsos de corrente de alta frequência que ocorrem no interior de equipamentos elétricos de alta tensão. Originam-se pelo processo de ionização de um meio gasoso submetido a um elevado campo elétrico (NASTTRASS, 1988).

O estudo de DP encontra vasto uso na detecção de falhas em isoladores poliméricos. Neste equipamento, o meio gasoso onde ocorrem as DP encontra-se no interior do meio dielétrico. Sua presença deve-se principalmente a imprecisões na fabricação, que acabam por deixar pequenas cavidades com bolhas de ar no interior do isolador. Tais cavidades, a depender do nível de tensão a qual estão submetidas e do seu próprio formato, podem gerar campos elétricos muito intensos, podendo até superar a rigidez dielétrica do meio. É neste caso que ocorrem DP, pois a descarga não é sustentada.

No caso específico de isoladores poliméricos, a energia liberada por DP pode comprometer as ligações entre os átomos de suas moléculas. Em consequência, o local onde ocorre a DP sofre carbonização. Com o passar do tempo, esta falha pode vir a crescer devido às sucessivas descargas ocorrendo no mesmo local. Neste caso, é criado um caminho preferencial para circulação de corrente através do isolador, comprometendo o equipamento.

3.1 AMOSTRAS DE FENOLITE

O experimento consiste em simular a ocorrência de descargas parciais em isoladores poliméricos com bolhas de ar no seu interior através da aplicação de alta tensão em amostras de fenolite. Os dados obtidos pelas simulações tem como finalidade o tratamento por uma Rede Neural. Somente as condições do experimento e a coleta de dados são dispostas neste relatório.

A posição das bolhas de ar no material polimérico dos isoladores é aleatória. Assim, para simular o isolador, foram usadas 10 diferentes amostras de fenolite com cavidades em seus interiores. Cada amostra é formada pela superposição de alguns discos de fenolite colados. Para formar as cavidades, são feitos alguns furos em discos centrais. Na Figura 3, é mostrada uma fotografia de algumas amostras. Na Tabela 1, são mostradas as 10 amostras e a localização das cavidades em cada uma.

Tabela 1. Diâmetro e localização dos defeitos nas amostras de fenolite.

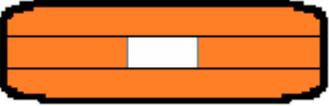
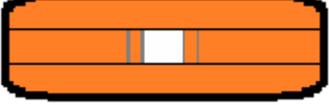
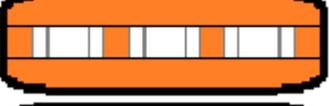
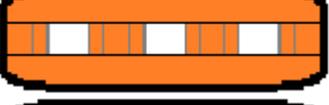
Amostra	Diâmetro da cavidade (mm)	Local das cavidades
1	2	
2	1	
3	2	
4	1	
5	2	
6	1	
7	2	
8	1	
9	2	
10	1	



Figura 3. Fotografia de amostras de fenolite.

3.2 CÉLULA DE TESTE

Para aplicação de alta tensão nas amostras de fenolite faz-se uso de uma Célula de Teste, que pode ser vista na fotografia da Figura 4. É construída em acrílico, PVC e cobre. Para que se evite o surgimento de descargas elétricas fora da amostra de fenolite em teste, esta é imersa em óleo de transformador. Os orifícios laterais da Célula de Teste servem para a inserção e retirada de óleo de transformador, como pode ser visto na fotografia da Figura 5. É preciso ter cuidado para que não reste nenhuma bolha de ar dentro do óleo, pois poderiam ser um meio para a ocorrência de descargas fora da amostra.



Figura 4. Fotografia da Célula de Teste.

3.3 CIRCUITO DO EXPERIMENTO

Para medição e detecção de descargas parciais nas amostras de fenolite, faz-se uso de um circuito proposto pela norma internacional IEC 60270:2000, o qual pode ser visto na Figura 6.

Para implementação do circuito fez-se uso de equipamentos presentes no Laboratório de Materiais do LAT. A montagem do circuito neste laboratório pode ser vista na fotografia da Figura 7. A tensão de entrada U_{\sim} que é aplicada na entrada do transformador varia de 0 a 220 V, sendo controlada por uma mesa e operação. A tensão de saída do transformador varia numa faixa de 0 a 100 kV.

A detecção de descargas parciais é feita através da amplificação de pulsos de corrente que podem eventualmente aparecer na saída do objeto de teste. Tais pulsos são amplificados por um transformador de corrente, como pode se visto na Figura 8.



Figura 5. Fotografia de inserção de óleo na Célula de Teste.

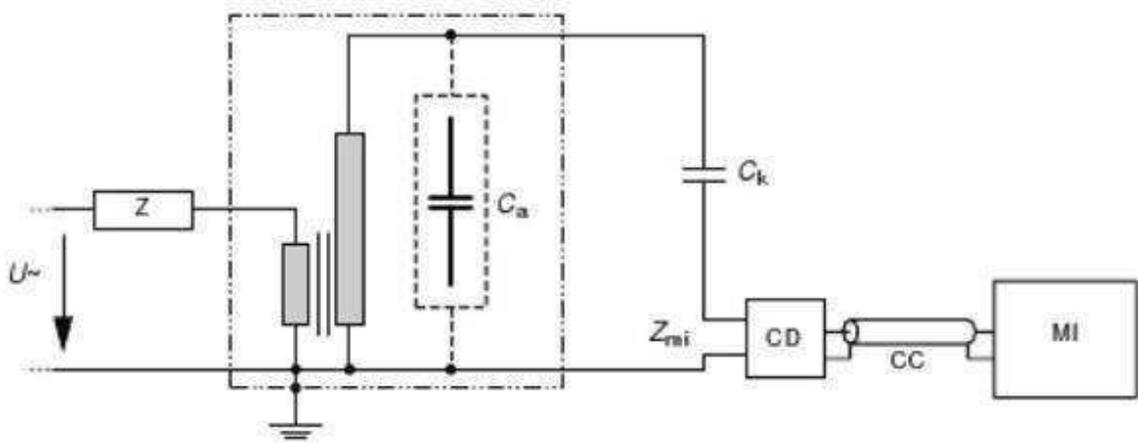


Figura 6. Circuito para medição de detecção de Descargas Parciais. Fonte: (IEC, 2000),

em que U_{\sim} é a tensão de entrada da rede, que varia de 0-220 V; Z é um filtro de contaminações por imperfeições da rede; é o objeto de teste; é um capacitor de acoplamento; CD é um dispositivo de acoplamento; é a impedância de entrada do sistema de medição; CC é um cabo coaxial; e MI é o instrumento de medição.

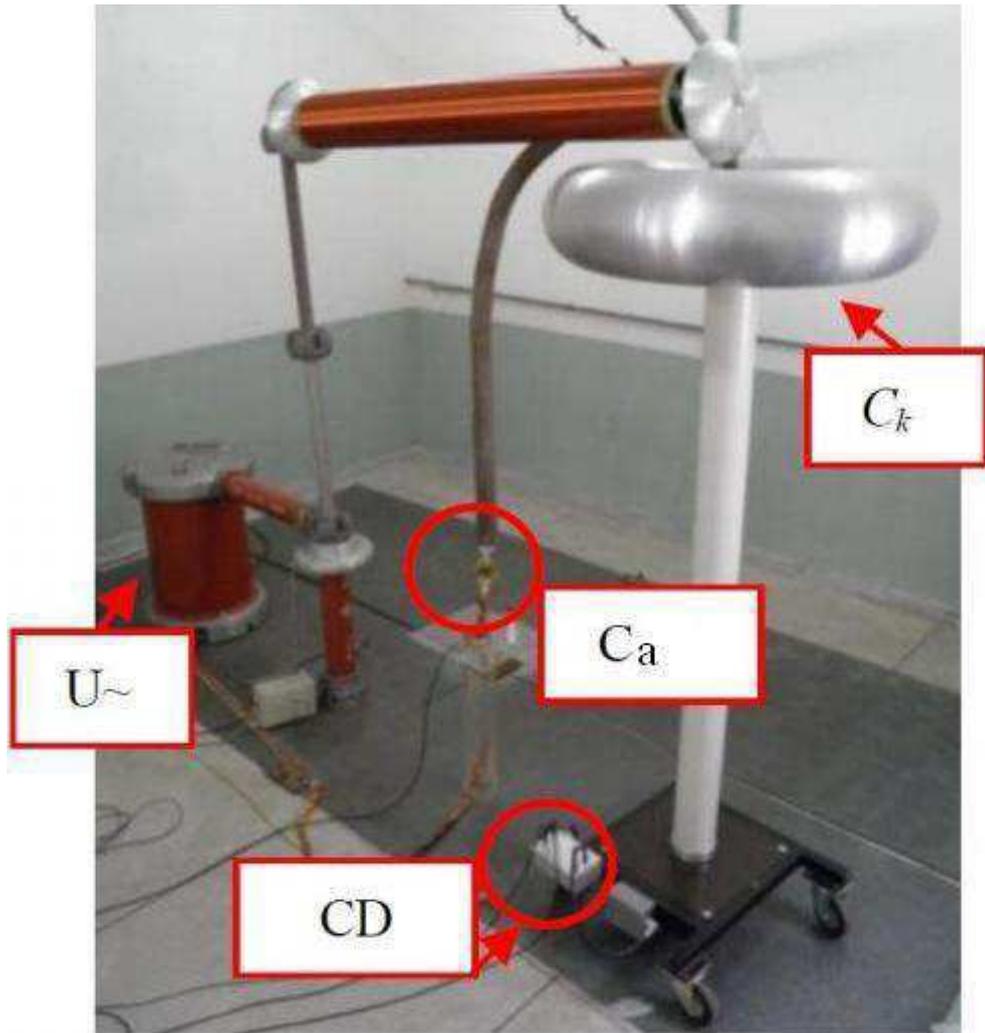


Figura 7. Fotografia do circuito para medição e detecção de DP montado no Laboratório de Materiais do LAT.

3.4 PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

A detecção de Descargas Parciais é feita através do LDIC® da Lemke®, equipamento comercial detector de DP. É capaz de detectar sinais que representem uma carga na faixa de 1 pC a 100.000 pC com largura de banda de 100 kHz a 1000 kHz. O sinal de DP é transmitido do LDIC® através de uma conexão de rede, sendo recebido por um *notebook* com o *software* LDS-6® instalado. Este é quem faz a coleta e a organização dos dados relativos às DP.

Um ensaio de uma amostra de fenolite caracteriza-se pela aplicação de uma tensão de 20 kV. A medição do sinal de DP é feita logo após a elevação do nível de tensão e depois de um intervalo de tempo de 5 minutos imediatamente depois do término da primeira. Cada medição é feita durante um intervalo de tempo de 1200 ciclos de tensão, ou seja, 20 segundos para 60 Hz. O LDS-6® gera um arquivo por medição, sendo portanto, dois por ensaio. Cada

amostra foi testada cinco vezes, gerando um total de 100 arquivos. Cada arquivo contém os dados relativos a: número do ciclo, fase da ocorrência da descarga, intensidade da descarga e tensão aplicada no momento da detecção. Na Figura 9, é mostrada uma imagem gerada pelo LDS-6®.



Figura 8. Detalhe do transformador de corrente usado para amplificação da corrente de fuga do objeto de teste.

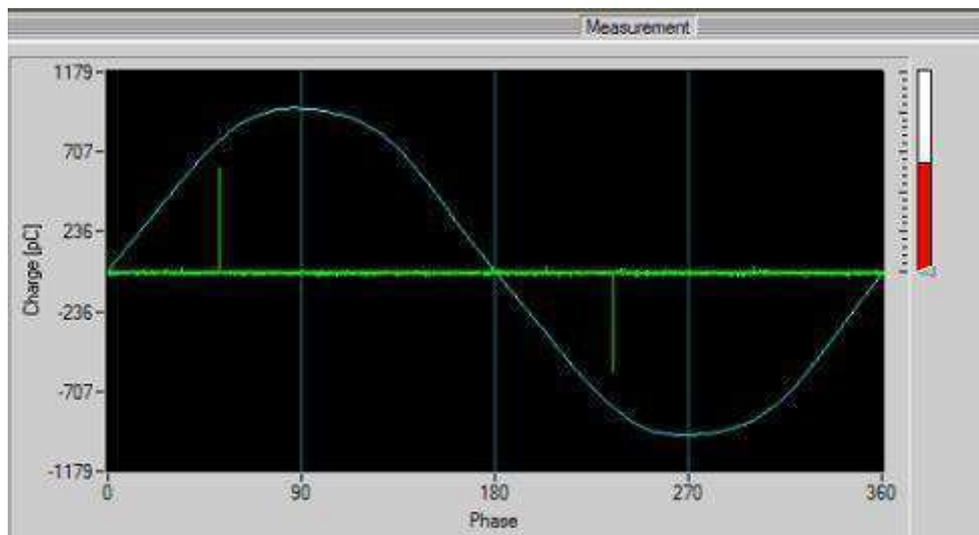


Figura 9. Imagem gerada pelo LDS-6.

A maioria dos pulsos de DP concentra-se nas vizinhanças das fases 0° e 180° . Nestes locais é onde ocorrem as descargas parciais em cavidades, pois é onde a variação de tensão dv/dt é mais brusca.

4 ENSAIO EM EQUIPAMENTOS PARA TRABALHO COM LINHAS VIVAS

Atualmente, há no mundo uma forte tendência ao serviço em linhas energizadas (ou linhas vivas). Este serviço é executado por trabalhadores que devem estar protegidos por equipamentos, ferramentas e dispositivos isolantes ou equipados com materiais isolantes, destinados ao trabalho em alta tensão. Porém, caso não sejam tomadas medidas preventivas, há um alto risco de ocorrência de acidentes. Por isto, por questões de segurança, os equipamentos devem ser submetidos a testes elétricos periódicos, obedecendo-se as especificações do fabricante e a legislação vigente, como as normas regulamentadoras NR 10:2004 (Segurança em instalações e serviços em eletricidade) e NR 6:2011 (Equipamentos de Proteção Individual – EPI) (COPEL, 2006).

A NR 10, com suas alterações feitas em 2004, dispõe sobre as diretrizes básicas para a implementação de medidas de controle e sistemas preventivos. Estas são destinadas a garantir saúde e segurança aos trabalhadores que direta ou indiretamente trabalham em instalações elétricas e serviços com eletricidade. A norma abrange o trabalho nas áreas de geração, transmissão, distribuição e consumo, incluindo as etapas de projeto, construção, montagem, operação, manutenção das instalações elétricas, e quaisquer trabalhos realizados em suas proximidades.

Os ensaios realizados com os EPI têm como objetivo verificar a integridade da isolamento do equipamento. O princípio dos métodos de ensaio é basicamente o mesmo para todos: aplica-se um determinado nível de tensão no equipamento e mede-se a corrente de fuga ou se avalia se a tensão aplicada causou-lhe algum dano visível. Os níveis de tensão aplicados e a intensidade da corrente de fuga dependem do equipamento e são definidos pelo fabricante e por suas respectivas normas.

O Grupo Energisa frequentemente recorre ao LAT para a realização dos ensaios periódicos em seus equipamentos. Os ensaios descritos nesta seção foram solicitados pela empresa Energisa Borborema. Na Figura 10, pode-se ver uma fotografia do carro da Energisa no momento que chegou ao LAT.



Figura 10. Fotografia do carro da Energisa chegando ao LAT.

4.1 LUVAS ISOLANTES DE BORRACHA

Ensaio em luvas isolantes de borracha regulamentam-se nas normas ASTM D120-95 (2010), NBR 122 (2005) e NBR 10622 (1989). O primeiro teste é uma inspeção visual. As luvas devem ser isentas de irregularidades prejudiciais que possam ser constatadas através de inspeção visual, como pequenos furos. Devem cobrir totalmente a mão, pulso e parte do antebraço do usuário, permitindo a interdependência de movimentos entre os dedos. Na Tabela 2, são especificadas os níveis de tensão a 60 Hz para cada classe de luva, bem como a máxima corrente suportada no ensaio. Esta corrente tem características predominantemente capacitivas, sendo a água os dois eletrodos, e a luva o meio dielétrico.

Tabela 2. Variáveis para ensaio de luvas isolantes de borracha.

Classe	Tensão de Ensaio (V)	Tensão Máxima de Uso (V)	Altura H (mm)	Corrente Máxima (mA)			
				Luva de 267 mm	Luva de 356 mm	Luva de 406 mm	Luva de 457 mm
00	2500	500	38	6	10	12	14
0	5000	1000	38	10	14	16	18
1	10000	7500	38	-	16	18	20
2	20000	17000	64	-	18	20	22
3	30000	26500	89	-	20	22	24
4	40000	36000	127	-	-	24	26

Notas:

1. Os valores de tensão referem-se a valores eficazes.
2. A altura H refere-se à parte emersa da luva (tolerância de +/- 8 mm).

Fonte: (COPEL, 2006)

O esquema para ensaio das luvas de borracha é mostrado na Figura 11. A luva objeto de teste é parcialmente submersa em água em um recipiente grande. Para que não submerja totalmente, é presa a um suporte que a mantenha na altura correta. Seu interior é parcialmente preenchido com água, de forma a deixar uma determinada altura H (vide Tabela 2) entre a superfície da água e a extremidade fora da água da luva. Um eletrodo em forma de bastão é colocado dentro da luva, de modo que haja uniformidade na tensão elétrica aplicada em toda a área ensaiada, sem produzir efeito corona em nenhum ponto ou esforços mecânicos na luva. A água e a carcaça do tanque devem ser aterradas.

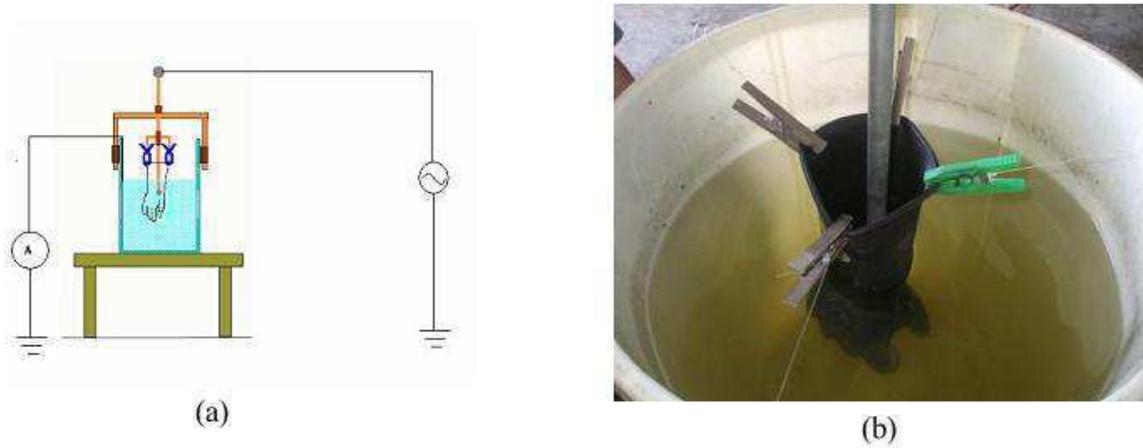


Figura 11. Ensaio de luvas isolantes de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. Fonte: (COPEL, 2006)

Um determinado valor de tensão é aplicado no eletrodo. Iniciando em zero, a tensão deve ser elevada gradualmente, até atingir o valor da tensão de ensaio da Tabela 2, o qual deve ser mantido por um minuto. Em seguida deve-se também gradualmente, retornar a tensão ao valor zero. A água usada neste ensaio deve ser renovada a cada lote de no máximo 50 luvas ou quando tornar-se necessário, devendo estar isenta de bolhas de ar ou material em suspensão. O ensaio deve ser executado à temperatura ambiente.

A ocorrência de disrupção elétrica ou perfuração do material são motivos de reprovação. Mede-se também a corrente de fuga no equipamento, que deve estar abaixo do limite aceitável listado na Tabela 2. Durante um ensaio, foram testadas 10 luvas de classe 4, tipo II, com tensão aplicada de 40 kV (60 Hz) durante 1 minuto. Apenas uma foi reprovada, pois perfurou. O laudo pode ser visto na Tabela 3.

Recomenda-se que haja ensaios com periodicidade de seis meses para luvas em uso. A depender das características de trabalho, tipo de utilização ou outro motivo que possa causar alguma deterioração anormal, este intervalo de tempo pode ser reduzido. A luva deve ser sempre ensaiada antes de ser colocada em uso.

Tabela 3. Laudo técnico de ensaio de luvas isolantes de borracha.

Fabricante	Item	Nº de Série ou Identificador	Lado	Tamanho (pol.)	Corrente (mA)	Laudo
Orion	01.01	1168677	Direito	10	Perfurou	Reprovada
Orion	01.02	1168666	Esquerdo	10	9,6 / 9,5	Aprovada
Orion	01.03	1303975	Direito	10 ½	8,2 / 8,1	Aprovada
Orion	01.04	1303960	Esquerdo	10 ½	8,6 / 8,5	Aprovada
Orion	01.05	1314086	Direito	9 ½	8,9 / 8,8	Aprovada
Orion	01.06	1314059	Esquerdo	9 ½	8,5 / 8,4	Aprovada
Salisbury	01.01	000925	Direito	10	10,6 / 10,5	Aprovada
Salisbury	01.02	001267	Esquerdo	10	10,5 / 10,4	Aprovada
Salisbury	01.03	-	Direito	10	10,5 / 10,4	Aprovada
Salisbury	01.04	-	Esquerdo	10	10,6 / 10,5	Aprovada

4.2 MANGAS ISOLANTES DE BORRACHA

Ensaio em mangas isolantes são regulamentados pelas normas ASTM D1051-95 (2000) e NBR 10623 (1989). Assim como as luvas, as mangas isolantes devem ser inspecionadas visualmente, a fim de encontrar pequenos defeitos que a inviabilizariam. Na Tabela 4 são mostrados o nível de tensão e a distância entre os eletrodos para o ensaio de tensão aplicada do equipamento.

Tabela 4. Variáveis para ensaio de Mangas Isolantes de Borracha

Classe	Tensão máxima de uso (kV)	Tensão de ensaio CA (kV)	Tensão de ensaio CC (kV)
0	1	5	20
1	7,5	10	40
2	17	20	50
3	26,5	30	30
4	36	40	70

Fonte: (COPEL, 2006)

Para a realização deste ensaio, várias montagens são sugeridas em função da classe de isolamento da manga. No ensaio realizado no LAT, adotou-se a montagem invertida, que consiste em inverter meia manga, puxando o punho através de sua parte interna,

até formar uma cuba anular, como é mostrado na Figura 12. O procedimento experimental deste ensaio se assemelha ao da luva isolante descrito anteriormente.

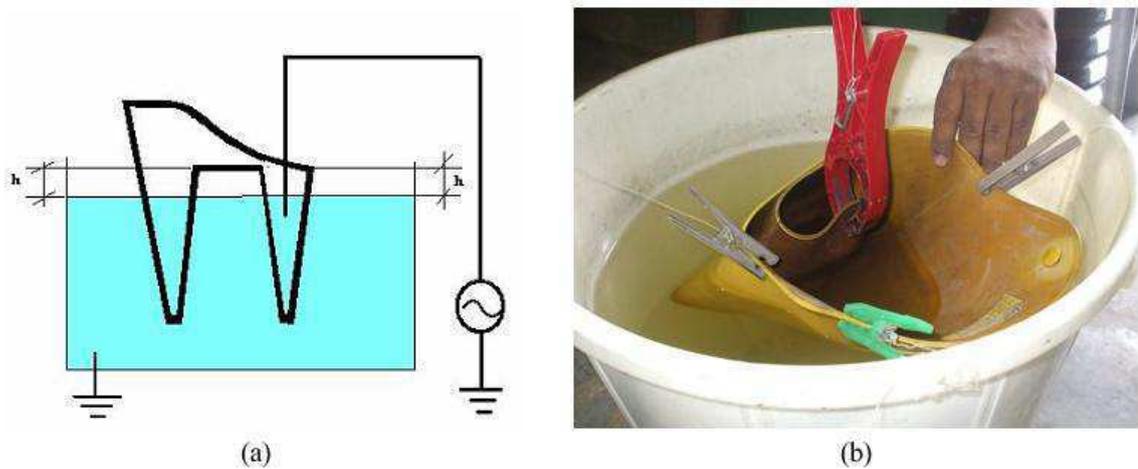


Figura 12. Ensaio de manga isolante de borracha. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema. (COPEL, 2006)

Mergulha-se parcialmente a manga na água. Enche-se a cuba anular com água até que os níveis de dentro e fora da cuba sejam iguais. Coloca-se um eletrodo em forma de bastão no interior da cuba. Após atingir a tensão nominal de ensaio, a tensão deverá permanecer aplicada por um tempo de um minuto. Foi realizado ensaio em 8 mangas classe 2, tipo I, com tensão aplicada de 20 kV (60 Hz) durante 1 minuto. O laudo encontra-se na Tabela 5.

A manga será reprovada caso ocorra ruptura elétrica ou perfuração do material. Este tipo de equipamento deve ser ensaiado a cada doze meses ou quando se achar necessário em função de suspeita de comprometimento de seu isolamento.

Tabela 5. Laudo técnico de ensaio de mangas isolantes de borracha.

Item	Nº de Série	Fabricante	Lado	Tamanho (mm)	Resultado
10.01	-	Salisbury	Direito	Médio	Aprovada
10.02	-	Salisbury	Esquerdo	Médio	Reprovada
10.03	DJ 529	Salisbury	Direito	Médio	Aprovada
10.04	DJ 527	Salisbury	Esquerdo	Médio	Aprovada
10.05	EE 317	Salisbury	Direito	Médio	Aprovada
10.06	EE 317	Salisbury	Esquerdo	Médio	Aprovada
10.07	DJ 534	Salisbury	Direito	Médio	Aprovada
10.08	DJ 534	Salisbury	Esquerdo	Médio	Reprovada

4.3 COBERTURAS PROTETORAS

Coberturas protetoras são ferramentas usadas para evitar contatos acidentais do trabalhador com partes energizadas. Oferecem grande área de proteção em áreas energizadas, sendo por isso, as mais utilizadas em trabalhos em linha viva. São disponíveis em vários modelos para atender aos diversos tipos de instalações elétricas com tensões nominais até 48,3 kV. Suas extremidades são dotadas de sistemas de encaixe macho/fêmea que permitem a conexão de duas ou mais unidades ou com outras coberturas. Na Tabela 6, são listadas as tensões de uso das coberturas protetoras para cada classe de isolamento, considerando as configurações de fase-fase e fase-terra.

Tabela 6. Tensão de uso de coberturas protetoras em função da classe de isolamento.

Classe	Tensão de uso (kV)	
	Fase-fase	Fase-terra
2	14,6	8,4
3	26,4	15,3
4	36,6	21,1
5	48,3	27,0
6	72,5	41,8

Fonte: (COPEL, 2006)

Existem diferentes tipos de coberturas de proteção para trabalhos em linha viva. No entanto, no LAT foram realizados ensaios apenas para coberturas protetoras para condutor tipo rígido e tipo flexível e para coberturas protetoras circulares.

4.3.1 COBERTURA PROTETORA PARA CONDUTORES RÍGIDA

Os ensaios em cobertura para condutores tipo rígida são regulamentados pelas normas ASTM F712-06 (2011) e ASTM F968 (2002). O esquema utilizado na realização do ensaio está representado na Figura 13.

O eletrodo interno à cobertura, em forma de bastão, é aterrado. O eletrodo externo é um molde no mesmo formato do objeto de teste. Os eletrodos interno e externo devem estar perfeitamente ajustados sobre a cobertura a ser ensaiada, evitando ao máximo vazios. Uma tensão alternada à frequência de 60 Hz é aplicada ao eletrodo externo. Eleva-se o nível de tensão até o valor determinado na Tabela 6 em função da classe de isolamento da ferramenta. A tensão aplicada deve ser mantida pelo tempo de um minuto.

Após a realização do ensaio, deve-se observar se o material não apresenta processos de degradação, como perfurações. Em caso positivo deve-se reprovar o equipamento. Foram testadas 12 coberturas rígidas classe 3, com 24 kV (60 Hz) de tensão aplicada, durante 1 minuto. O laudo técnico é mostrado na Tabela 7.

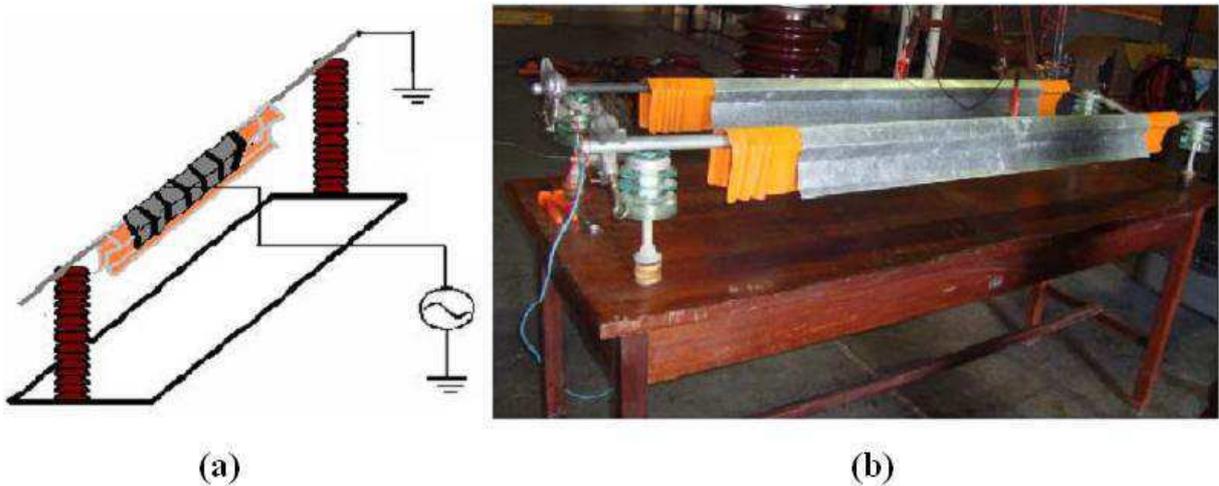


Figura 13. Ensaio de cobertura para condutores rígida. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006)

Tabela 7. Laudo técnico de ensaio de cobertura de condutor rígida.

Item	Nº de Série	Comprimento (mm)	Condições	Laudo
03.01	1644	1500	Usada	Aprovada
03.02	1645	1500	Usada	Aprovada
03.03	1647	1500	Usada	Aprovada
03.04	1648	1500	Usada	Aprovada
03.05	1650	1500	Usada	Aprovada
03.06	1655	1500	Usada	Aprovada
03.07	168660-02	1500	Usada	Aprovada
03.08	168660-05	1500	Usada	Aprovada
03.09	168660-67	1500	Usada	Aprovada
03.10	168660-69	1500	Usada	Aprovada
03.11	-	1500	Usada	Aprovada
03.12	-	1500	Usada	Aprovada

4.3.2 COBERTURA PROTETORA PARA CONDUTORES TIPO FLEXÍVEL

Os ensaios em cobertura para condutores do tipo flexível são regulamentados pela norma ASTM D1049 (2010). O esquema utilizado na realização do ensaio é mesmo usado para coberturas protetoras rígidas. A diferença é que neste, é eletrodo onde a tensão é aplicada é diferente. Enquanto que no primeiro usou-se um molde metálico, neste usa-se papel

alumínio. Este papel é enrolado na cobertura, envolvendo-a. Na Figura 13, pode-se ver uma fotografia do ensaio. Foram ensaiadas 6 coberturas flexíveis classe 3, tipo II, com tensão aplicada de 30 kV (60 Hz) durante 1 minuto. O laudo técnico é mostrado na Tabela 8.



Figura 14. Fotografia de ensaio de proteção para condutores tipo flexível.

Tabela 8. Laudo técnico de ensaio de cobertura de condutor flexível.

Item	Nº de Série	Comprimento (mm)	Condições	Laudo
04.01	EJ 2557	1400	Usada	Aprovada
04.02	-	1400	Usada	Aprovada
04.03	-	1400	Usada	Aprovada
04.04	-	900	Usada	Aprovada
04.05	-	700	Usada	Aprovada
04.06	-	700	Usada	Aprovada

4.3.3 COBERTURA PROTETORA CIRCULAR

Este tipo de ensaio é regulamentado pelas normas ASTM F712-06 (2011) e a ASTM F968-93 (2002). O esquema de ensaio é o mesmo usado para as coberturas de condutores rígida e flexível. Na Figura 15, pode-se ver uma fotografia do ensaio.

Este tipo de cobertura é utilizado para proteção de extremidades de postes, de cruzetas, de para-raios etc. Por não possuir uma aplicação específica, cada utilização merece cuidado especial, a fim de se certificar da real proteção que a cobertura oferece. Possui alça de corda sintética para facilitar sua instalação e remoção.

Para que se moldem perfeitamente, os eletrodos interno e externo tem o mesmo formato do objeto de teste. Enquanto o interno é aterrado, ao externo é aplicado um nível de tensão igual ao determinado na Tabela 6. O nível de tensão aplicado deve ser elevado gradualmente, do zero ao exigido. Após chegar ao máximo, o nível de tensão em valor eficaz deve permanecer constante por um minuto. Foram ensaiadas 10 coberturas circulares com diâmetro de 150 mm, com tensão aplicada de 15 kV (60 Hz) durante 1 minuto. O laudo técnico é mostrado na Tabela 9.



Figura 15. Fotografia de ensaio de cobertura protetora circular para postes.

Tabela 9. Laudo técnico de ensaio de coberturas protetoras circular.

Item	Nº de Série	Comprimento (mm)	Condições	Laudo
06.02	26057	900	Usada	Aprovada
06.01	169914-28	900	Usada	Aprovada
06.03	-	900	Usada	Aprovada
06.04	-	900	Usada	Aprovada
06.05	-	900	Usada	Aprovada
06.06	1581	600	Usada	Aprovada
06.07	25990	900	Usada	Aprovada
06.08	169914-29	600	Usada	Aprovada
06.09	-	600	Usada	Aprovada
06.10	-	300	Usada	Aprovada

4.4 BASTÕES DE MANOBRA

Originalmente, os bastões de manobra eram usados em operações de grampos de linha viva e grampos de aterramento. Porém, devido à sua versatilidade, possuem hoje múltiplas aplicações, principalmente na manutenção de instalações elétricas energizadas.

Os ensaios para este tipo de equipamento são regulamentados pela norma NBR 11854 (1992). Segundo estas normas, eletrodos para realização de ensaios em hastes ou tubos isolantes confeccionados em fibra devem possuir anel de guarda. Estes servem para eliminar correntes elétricas de ionização do ar, que podem aumentar em até 200 % o valor real de corrente de fuga. Um esboço de um anel de guarda é ilustrado na Figura 16.

O ensaio é feito segundo esquema apresentado na Figura 17. Os eletrodos devem distar um do outro de 15 cm para 50 kV, e de 30 cm para 100 kV. O tempo de duração da tensão aplicada deve ser de um minuto. Na Tabela 10, são listados os valores de corrente de fuga para cada tipo de aplicação de tensão referidos a cada diâmetro da haste. Os bastões foram ensaiados com tensão aplicada de 100 kV (60 Hz) durante 1 minuto. O laudo técnico encontra-se na Tabela 11.

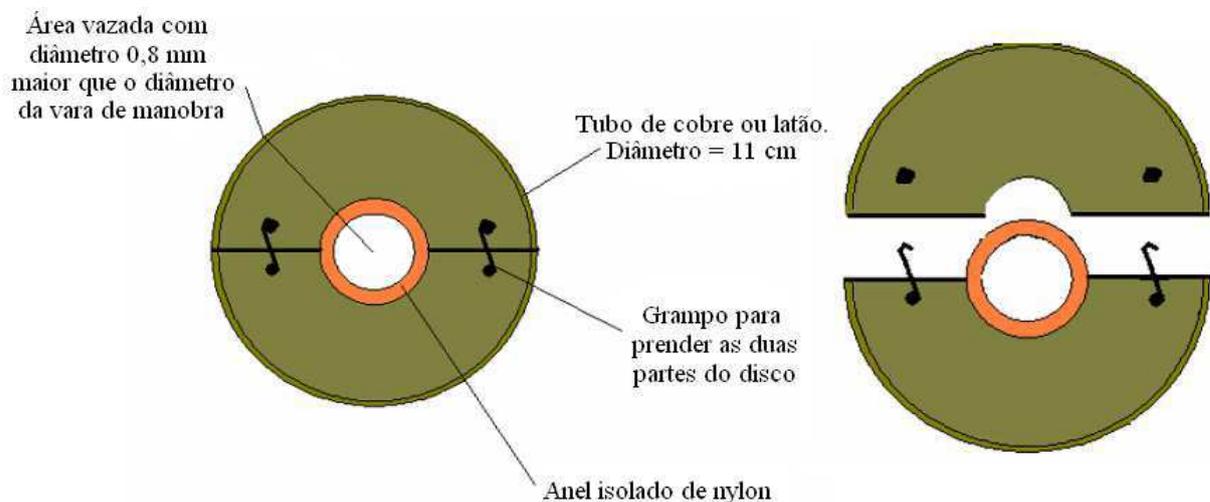


Figura 16. Esboço de um anel de guarda para ensaio de varas de manobra. Fonte: (COPEL, 2006)

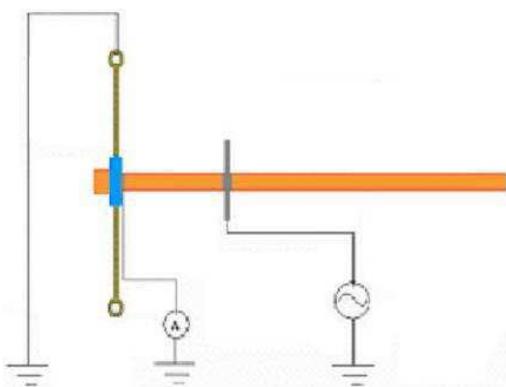
Tabela 10. Corrente de fuga para ensaios em hastes e tubos de fibra.

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

Fonte: (COPEL, 2006)

Tabela 11. Laudo técnico de ensaio de bastões isolantes.

Item	Tipo / Diâmetro (mm)	Comprimento Ensaiado (mm)	Corrente de fuga (μA)	Resultado
09.01	Tração / 32 **	150	7,4 / 7,3	Aprovado
09.02	Torção / 32	1000	57,0 / 56,0	Aprovado
09.03	Universal / 32	300	7,1 / 7,0	Aprovado
09.04	Universal / 32	300	6,6 / 6,5	Aprovado
09.05	Pega Tudo / 32	1200	63,0 / 62,0	Aprovado
09.06	Pega Tudo / 32	1500	46,0 / 45,0	Aprovado
09.07	Garra / 38	300	8,1 / 8,0	Aprovado
09.08	Mastro / 64	300	17,5 / 17,4	Aprovado
09.09	Suporte p/Bypass / 32 **	150	8,0 / 7,9	Aprovado
09.10	Cruzeta Auxiliar / 64	300	16,1 / 16,0	Aprovado
09.11	Cruzeta Auxiliar / 64	300	15,5 / 15,4	Aprovado
09.12	Catraca de Elevação / 38	300	8,5 / 8,4	Aprovado
09.13	Alicarte à Distância / 38	1100	72,0 / 71,0	Aprovado
09.14	Tesourão: Braço a / 32	300	7,9 / 7,8	Aprovado
	Tesourão: Braço b / 32	300	9,0 / 8,9	Aprovado
09.15	Tesourão: Braço a / 32	300	7,3 / 7,2	Aprovado
	Tesourão: Braço b / 32	300	9,3 / 9,2	Aprovado



(a)



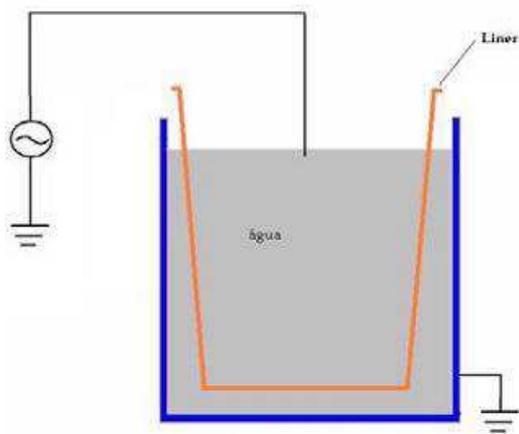
(b)

Figura 17. Ensaio de vara de manobra. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006)

4.5 CUBA ISOLANTE (*LINER*)

Liner é uma cuba isolante que acomoda uma pessoa. Geralmente, é colocado num braço mecânico em cima de um caminhão, para que o operador seja levado até a linha viva.

A tensão suportada no ensaio deve ser de no mínimo: 30 kV à frequência de 60 Hz durante um minuto; ou 100 kV em corrente contínua durante três minutos. O esquema de ensaio pode ser visto na Figura 18. O ensaio foi realizado para apenas um item, com tensão aplicada de 30 kV (60 Hz) durante 1 minuto. O item foi aprovado.



(a)



(b)

Figura 18. Ensaio de *Liner*. (a) Esquema de ensaio. (b) Fotografia do esquema de ensaio. Fonte: (COPEL, 2006)

5 MANUTENÇÃO DE TRANSFORMADOR PARA ENSAIOS EM ALTA TENSÃO

Foi realizado um trabalho de manutenção em um transformador para ensaios em Alta Tensão do LAT. O equipamento é de três enrolamentos: primário, secundário e terciário. De acordo com seus dados de placa, que podem ser vistos em fotografia na Figura 19, o transformador tem potência nominal de 5 kVA e relação de tensão nominal de 2x0,22/100/0,22 kV.



Figura 19. Fotografia dos dados de placa de um transformador do LAT.

O transformador, que pode ser visto na Figura 20, apresentou defeitos de ruptura de isolamento e do condutor da bobina de alta tensão. Foi levado então para fazer um rebobinamento. No entanto, mesmo depois deste processo, continuou apresentando defeito. Sempre que lhe era aplicada uma tensão, o disjuntor de proteção do circuito de alimentação abria em decorrência de um curto circuito. O transformador foi então aberto para a localização do defeito. Após este passo, calculou-se sua relação de transformação.



Figura 20. Fotografia do transformador do LAT para ensaios em Alta Tensão.

5.1 LOCALIZAÇÃO DO DEFEITO

Para localização do defeito, o transformador foi aberto e seu óleo retirado, deixando à mostra sua parte ativa como pode ser visto na fotografia da Figura 21. Foram feitas medições das dimensões desta parte, além de uma inspeção visual.

Durante o tempo que permaneceu aberto, o transformador foi mantido dentro de uma estufa, que pode ser vista na fotografia da Figura 22. Este procedimento é importante para que não se acumule partículas de água no transformador. O equipamento só era retirado durante os períodos de trabalho.

O defeito causava descargas elétricas no interior do transformador. Por inspeção visual, descobriu-se que o problema se encontrava na emenda entre um dos terminais do secundário e do terciário. Tal emenda pode ser vista na fotografia da Figura 23. Por ser grande, ficava suspensa, passando ao lado de toda extensão da lateral da bobina de alta tensão.

A bobina de alta tensão tem um de seus terminais aterrados, ou seja, em potencial de 0 V. Este é mostrado pelo fio branco na Figura 23. O terminal superior, mostrado pelo fio preto, está sempre em alta tensão. Como a emenda entre os enrolamentos secundário (alta tensão) e terciário estava caída ao lado dessa bobina, um fio com alta tensão ficava muito próximo ao enrolamento primário, de baixa tensão, e às espiras de tensão mais baixa do

secundário. A solução mais simples encontrada foi encaixar a emenda entre as bobinas dos enrolamentos secundário e terciário.



Figura 21. Fotografia da parte ativa do transformador.



Figura 22. Fotografia de uma estufa.



Figura 23. Detalhe da localização do defeito no transformador.

5.2 RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO

A relação de transformação de um transformador é dada por sua relação de espiras. A medição desta relação geralmente é feita através de um instrumento de precisão chamado MRT. A relação de tensão em um transformador é dada pela razão entre a tensão de saída e a tensão de entrada. É próxima da relação de espiras, mas não igual, pois existem perdas ôhmicas nos enrolamentos. A relação de espiras esperadas do transformador é de, aproximadamente:

$$\frac{V_2}{V_1} = \frac{N_2}{N_1}$$

Esta relação é muito alta, indo além da capacidade de medição do MRT. Assim, a relação de transformação será aproximada pela relação de tensão. Para a medição, fez-se uso do circuito mostrado na fotografia da Figura 24.



Figura 24. Fotografia do circuito para medição de relação de tensão do transformador.

O funcionamento do circuito é simples. Um transformador em perfeitas condições (à esquerda na Figura 24) aplica um determinado nível de tensão nos terminais do enrolamento secundário do transformador objeto de teste (à direita na Figura 24). O nível de tensão é controlado por uma mesa de controle exterior ao circuito. Um multímetro medindo tensão é ligado aos terminais do primário do objeto de teste. Assim, de posse da tensão no primário e da tensão no secundário do transformador objeto de teste, calcula-se sua relação de tensão.

Aplicando-se 12 kV no secundário do objeto de teste, são medidos 43,8 V no primário. Assim, a relação de tensão é:

$$\frac{V_1}{V_2} = \frac{N_1}{N_2}$$

Esta relação é bem menor do que aquela esperada. De imediato, pode-se concluir que a tensão nominal do enrolamento secundário do objeto de teste é menor do que 100 kV. Sua tensão nominal é calculada por regra de três:

De posse destes dados, conclui-se que o processo de rebobinamento do enrolamento de alta não recuperou integralmente o número de espiras do transformador, mas apenas cerca de 60% delas.

6 CONCLUSÃO

O Estágio Curricular é um importante ponto inicial para o desenvolvimento de conhecimentos práticos por parte do aluno, contribuindo para o aperfeiçoamento de sua desenvoltura no âmbito profissional. Através desta experiência, foi possível se ter uma maior ideia das facilidades e dificuldades dos problemas a serem solucionados por engenheiros no Brasil.

Neste sentido, o estágio trouxe grandes contribuições ao aluno em sua formação prática, como um maior desenvolvimento na aplicação de conhecimentos teóricos em experimentos práticos, e uma maior desenvoltura na liderança e condução de atividades experimentais. Nos experimentos de detecção e medição de descargas parciais, bem como na manutenção do transformador, o aluno, sob supervisão de seu orientador, teve liberdade para condução dos procedimentos. Todos os experimentos foram bem sucedidos

BIBLIOGRAFIA

- ABNT. **NBR 10622 - Luvas Isolantes de Borracha**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 1989.
- ABNT. **NBR 10623 - Mangas Isolantes de Borracha**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 1989.
- ABNT. **NBR 11854 - Bastão isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 1992.
- ABNT. **NBR 122 - Aços ferramentas**. Associação Brasileira de Normas Técnicas: ABNT. 2005.
- ASTM. **ASTM D1051-95 - Standard Specification for Rubber Insulating Sleeves**. ASTM International: ASTM. 2000.
- ASTM. **ASTM F968-93 - Standard Specification for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers**. ASTM International: ASTM. 2002.
- ASTM. **ASTM D1049-98 - Standard Specification for Rubber Insulating Covers**. ASTM International: ASTM. 2010.
- ASTM. **ASTM D120-95 - Standard Specification for Rubber Insulating Gloves**. ASTM International: ASTM. 2010.
- ASTM. **ASTM F712-06 - Standard Test Methods and Specifications for Electrically Insulating Plastic Guard Equipment for Protection of Workers**. ASTM International: ASTM. 2011.
- BARTNIKAS, R. Partial Discharges: Their Mechanism, Detection and Measurement. **IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation**, outubro 2002.
- BOGGS, S. A. Partial Discharge: Overview and Signal Generation. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, julho 1990.
- COPEL, D. **Manual de Instruções Técnicas - Procedimentos de Ensaio de Ferramentas e Equipamentos de Linha Viva**: 2006.
- ENERGISA, G. Enegisa Borborema. **Energisa Borborema**, 2009. Disponível em: <<http://www.energisa.com.br/borborema>>. Acesso em: 20 agosto 2012.
- IEC. **IEC 60270 - High Voltage Test Techniques - Partial Discharges Measurements**. International Electrotechnical Commission: IEC. 2000.
- MTE. **NR 10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Ministério do Trabalho e Emprego: MTE. 2004.
- MTE. **NR 6 - Equipamentos de Proteção Individual - EPI**. Ministério do Trabalho e Emprego: MTE. 2011.
- NASTTRASS, D. A. Partial Discharge Measurement and Interpretation. **IEEE Electrical Insulation Magazine**, junho 1988.
- SISTEMAS ELÉTRICOS, G. D. Grupo de Sistemas Elétricos. **Grupo de Sistemas Elétricos**, 2006. Disponível em: <<http://www.dee.ufcg.edu.br/~gse/>>. Acesso em: 20 agosto 2012.