



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE ENGENHARIA ELÉTRICA E INFORMÁTICA
UNIDADE ACADÊMICA DE ENGENHARIA ELÉTRICA



Relatório de Estágio Integrado

Luana de Vasconcelos Gomes

Aluna

Professor Dr. Edson Guedes da Costa

Orientador

Campina Grande, Maio de 2010.

LUANA DE VASCONCELOS GOMES

Relatório de Estágio Integrado

Relatório de Estágio Integrado apresentado á coordenação do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento parcial às exigências para obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Edson Guedes da Costa
Universidade Federal de Campina Grande

Campina Grande, Maio de 2010.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado à oportunidade e forças para seguir em busca de meus objetivos.

Agradeço aos meus pais Ana Lucia de Vasconcelos Gomes e Antônio Soares Gomes, como também aos meus irmãos Luciana e José Paulo por seu apoio incondicional.

Ao meu namorado, Janmil Nóbrega Jr que sempre esteve ao meu lado nesta jornada me doando seu carinho, incentivo, amizade e amor.

Ao Professor Edson Guedes, de quem tive o privilégio de ser aluna durante o curso e orientada durante o estágio. Sempre disposto a oferecer sua ajuda e nos passando um pouco da sua experiência.

A todos os amigos e colegas de curso que sempre me ajudaram nas horas de dúvidas.

Obrigada a todos os professores e funcionários do Departamento de Engenharia Elétrica, por todos os ensinamentos e esforços dispensados aos alunos.

Encomendas ao Senhor tuas obras e teus projetos realizar-se-ão.

Sumário

Agradecimentos	3
Sumário	4
Lista de Figuras	6
Lista de Tabelas	9
Introdução	10
Capítulo I: Laboratório de Alta Tensão.	11
1.1 Salão de Alta Tensão	11
1.2 Laboratório de Materiais Elétricos	12
1.3 Laboratório de Sistemas Elétricos	13
1.4 Sala do Gerador de Impulso de Corrente.....	13
1.5 Sala do Kit de Alta Tensão	14
1.6 Sala do Laboratório de Instalações Elétricas.....	14
1.7 Sala do Laboratório de Sistemas de Potência.....	14
Capítulo II: Atividades desenvolvidas	16
2.1 Ensaios em Transformadores de Potencial Capacitivos.....	16
2.1.1 Dados dos Equipamentos	17
2.1.2 Procedimentos de Manutenção	18
2.1.3 Ensaios Realizados.....	19
2.1.3.1 Ensaio de Corrente	19
2.1.3.2 Ensaio de Relação de Transformação sem a coluna capacitiva.....	20
2.1.3.3 Ensaio de Temperatura	22
2.1.3.4 Ensaio de Relação de Transformação com a coluna capacitiva	23
2.2 Ensaios em Ferramentas para Manutenção de Linhas Energizadas	25
2.2.1 Ensaios em Luvas Isolantes	25
2.2.2 Ensaios em Mangas Isolantes	28
2.2.3 Ensaios em Lençóis Isolantes	30
2.2.4 Ensaios em Coberturas Protetoras.....	32
2.2.4.1 Coberturas protetoras para condutor.....	33
2.2.4.2 Cobertura Protetora Circulares	35
2.2.5 Ensaios em Cordas Isolantes.....	36
2.2.6 Ensaios em Bastões de Manobra.....	36
2.2.7 Ensaio em Liner	38
2.2.8 Ensaios de Tensão Suportável e Tensão de Descarga.....	39

2.3 Sistema de Aterramento	41
2.3.1 Medição de Resistência de Malhas de Terra em Subestações Energizadas.....	41
2.3.2 Medição de Resistência de Malhas de Terra Desenergizada	44
2.3.3 Ensaios com Gerador de Impulsos de Corrente	46
2.3.3.1 Ensaio com hastes dispostas em linha.....	48
2.3.3.1 Ensaio com hastes dispostas radialmente.....	49
2.3.4 Medidor de Potencial	51
2.3.4.1 Sistema Proposto	53
2.3.4.2 Divisor de Tensão.....	54
2.3.4.3 Optoacopladores	55
2.3.4.4 Detector de Pico	56
2.3.4.5 Multiplexação	57
2.3.4.6 CPU (Unidade Central de Processamento).....	59
2.3.4.7 Sistema de alimentação do sistema	60
Capítulo III: Conclusão	61
Referências Bibliográficas	62

Lista de Figuras

Figura 1 – Fotografia do Salão de Alta Tensão.....	12
Figura 2 – Fotografias: (a) Gerador de impulso de corrente; (b) Mesa de controle.....	13
Figura 3 - Termofoto dos TPC número de series 30034739 em (a) e 30034739 em (b).16	
Figura 4 – Fotografia dos Dados de placa do TPC N° Serie 30034742 (TPC_1).	17
Figura 5 – Fotografia dos dados de placa do TPC N° Serie 30034739 (TPC_2).	18
Figura 6 – Fotografia da parte interna do TPC, destaque da figura: <i>jumper</i> desconectado.	18
Figura 7 – Fotografia da parte interna do TPC, destaque da figura: bandeja que dá suporte aos capacitores.	19
Figura 8 - Esquema de montagem do ensaio de corrente.	20
Figura 9 – Fotografia da montagem do ensaio de corrente.	20
Figura 10 - Esquema de montagem do ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva.	21
Figura 11 – Fotografia da Montagem do ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva.	21
Figura 12 - Esquema de montagem do ensaio de relação de transformação com a coluna capacitiva.	24
Figura 13 – Esquema do ensaio de luva isolante.	26
Figura 14 – Fotografia da luva isolante que sofreu uma perfuração durante o ensaio... 27	
Figura 15 - Esquema de montagem com manga invertida.	29
Figura 16 – Fotografia da manga reprovada no ensaio devido à ocorrência de perfuração.	29
Figura 17 – Fotografia do esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis inteiriços.	31
Figura 18 – Fotografia do esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis com entalhe.	31
Figura 19 – Fotografia do lençol inteiriço reprovado no ensaio devido à ocorrência de perfuração.	32
Figura 20 – Esquema de montagens para a realização do ensaio para as coberturas para condutores do tipo rígidas.	33

Figura 21 – Fotografia da cobertura protetora para condutores do tipo rígida reprovado no ensaio devido à ocorrência de perfuração.....	34
Figura 22 – Fotografia do esquema de montagens para a realização do ensaio para as coberturas para condutores do tipo flexível.....	34
Figura 23 – Fotografia da cobertura flexível reprovada devido a uma disrupção elétrica durante o ensaio.	35
Figura 24 – Fotografia do arranjo do ensaio de cobertura circular rígida.	35
Figura 25 – Montagem do arranjo do ensaio em cordas isolantes.....	36
Figura 26 – Vista dos eletrodos de guarda usados para o ensaio de varas ou bastões de manobra.	37
Figura 27 - Esquema de montagem para o ensaio de bastões de montagem.....	37
Figura 28 - Diagrama de montagem e circuito para ensaio de tensão aplicada no <i>liner</i> do caminhão de linha viva.	38
Figure 29 – Fotografia da mangueira para condutores de baixa tensão.	39
Figura 30 – Fotografia do esquema de montagem dos ensaios de tensão suportável e tensão de descarga ou de perfuração.	40
Figura 31 – Ilustração da ocorrência de descarga, na tensão de 11,0 kV, na Mangueira para condutores durante o ensaio de descarga ou de perfuração.	40
Figura 32 – Fotografias: (a) Terrômetro Digital 6472 da <i>AEMC Instruments</i> ; (b) pinças amperimétricas modelo SR182.....	42
Figura 33 - Configuração da Conexão para medição com a pinça.....	42
Figura 34 – Esquema de montagem de resistência de malha de terra na SE Aroeiras energizada.....	43
Figura 35 – Fotografia dos esquemas de medição de resistência de malhar de terra na SE Aroeiras energizada realizadas (a) na caixa de inspeção, (b) no aterramento dos TPs e a medição da corrente do neutro do transformado.	44
Figura 36 – Esquema para a medição da resistência de terra.	45
Figura 37 – Esquema para medição de resistência de aterramento em malhas desenergizadas	45
Figura 38 – Curva de resistência de terra x distância para medições na SE Aroeiras desenergizada.	46
Figura 39 – Esquema do ensaio de impulso de corrente para as hastes dispostas em linha.	47
Figura 40 - Esquema para a realização do ensaio com hastes dispostas em linha.	48

Figure 41 – Fotografia do esquema de montagem do ensaio com hastes dispostas em linha.	48
Figure 42 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (verde), C (rosa) e D (laranja), para um impulso de corrente de 4 kA injetado em uma haste A.	49
Figura 43 - Esquema para a realização do ensaio com hastes dispostas radialmente. ...	49
Figura 44 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (laranja), C (azul), D (rosa) e E (verde), para um impulso de corrente de 900A injetado em uma haste A.	50
Figura 45 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (laranja), C (azul), D (rosa) e E (verde), para um impulso de corrente de 1 kA injetado em uma haste A.	50
Figura 46 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (laranja), C (azul), D (rosa) e E (verde), para um impulso de corrente de 2 kA injetado em uma haste A.	51
Figura 47 – Esquema inicial de medição dos potenciais ao redor da malha.	52
Figura 48 – Resultado da medição realizada na SE Aroeiras.	53
Figure 49 – Resultado da medição realizada na SE Mataraca.	53
Figura 50 – Diagrama esquemático do sistema de aquisição.	54
Figura 51 – Diagrama de blocos funcionais do sistema.	54
Figura 52 – Esquema elementar do divisor de tensão.	55
Figura 53 – Esquema funcional do optoacoplador.	55
Figura 54 - Gráfico do funcionamento do detector de pico.	56
Figura 55 – Circuito detector de pico de precisão.	57
Figura 56 – Esquema do sistema de multiplexação.	58
Figura 57 – Diagrama funcional CD4051.	59
Figura 58 – Diagrama de pinos do PIC 18F4550.	60

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Dados coletados no ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva realizada no TPC_1.	22
Tabela 2 – Dados coletados no ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva realizada no TPC_2.	22
Tabela 3 – Resultados do ensaio de temperatura com duração de oito horas dos TPC_1 e TPC_2.	23
Tabela 4 - Dados coletados no ensaio de relação de transformação com a coluna capacitiva realizada no TPC_1.	24
Tabela 5 - Dados coletados no ensaio de relação de transformação com a coluna capacitiva realizada no TPC_2.	24
Tabela 6 – Propriedades elétricas das luvas para corrente alternada (CA) (NBR 10622).	26
Tabela 7 – Propriedades elétricas para CA e CC (NBR 10623).	28
Tabela 8 – Propriedades elétricas dos lençóis isolantes (MIT161703, 2006).	30
Tabela 9 – Tensão de uso das coberturas protetoras em função da classe de isolamento (MIT161703, 2006).	32
Tabela 10 - Valores máximos de corrente de fuga para ensaio em hastes e tubos de fibra, para tensão aplicada de 100 kV de 30 em 30 cm ou alternativamente 50 kV de 15 em 15 cm (NBR 11854).	38
Tabela 11 – Resultados dos ensaios de tensão suportável.	40
Tabela 12 - Resistência da Malha de Terra Medida Através de uma Caixa de Inspeção de Malha.	44
Tabela 13 - Resistência da Malha de Terra Através da Conexão de um TP.	44
Tabela 14 – Medição de resistência de terra da haste A.	47

Introdução

A evolução tecnológica tem exigido que os profissionais sejam cada vez mais capacitados e que apresentem perfis compatíveis com as novas exigências do mercado de trabalho.

A finalidade do estágio é a complementação curricular, que visa estimular o estudante a colocar em prática os conhecimentos teóricos adquiridos durante sua formação acadêmica. Pois é durante o estágio que o estudante tem o primeiro contato com a realidade do mercado de trabalho. Sendo assim, percebe-se a importância do estágio na formação profissional do engenheiro, visto que, à medida que as atividades práticas são executadas, ele terá suas habilidades cada vez mais estimuladas e aperfeiçoadas.

Este relatório tem como objetivo apresentar as atividades que foram desenvolvidas durante a realização do estágio curricular obrigatório realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) durante o período de **11/01/2010** á **21/05/2010**, sob orientação e supervisão do Professor Edson Guedes da Costa. Durante o período de estágio eu participei de varias medições em campo, pois o LAT presta serviços a empresas de vários portes, tanto do setor elétrico quanto de outros ramos de atuação.

O Capítulo I apresentará o Laboratório de Alta Tensão e será descrito um pouco da sua história e dos ambientes que o compõe.

No Capítulo II serão referidas as atividades desenvolvidas durante a realização do estágio relatando as experiências adquiridas e as contribuições acadêmicas e práticas e por fim no capítulo III será apresentada a conclusão do relatório.

Capítulo I: 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. Com uma área construída de 1.350 m², o LAT é hoje o laboratório mais bem equipado do Norte-Nordeste na sua especialidade. Ele possui um corpo técnico formado por docentes-pesquisadores, engenheiros e técnicos qualificados e experientes que formam o Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

O Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) 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 de eletrotécnica.

Nos últimos 25 anos, foi realizado um grande número de ensaios elétricos, de recebimento 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.

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

1.1 Salão de Alta Tensão

O Salão de Alta Tensão é o principal ambiente dentro do LAT. Neste ambiente são realizados os ensaios mais exigentes em termos de potência, visto que possui equipamentos como os transformadores de potencial em cascata, que permitem a geração de até 600 kV, e o gerador de impulsos de alta tensão (700 kV, 36 kJ), 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 temos: ensaios de validação de modelos

computacionais, ensaios de tensão suportável, ensaios de envelhecimento, ensaios de descargas e ensaios de verificação de isolamento em equipamentos de manutenção de linha viva.

Além disso, há também neste ambiente uma câmara de névoa, útil em ensaios envolvendo umidade ou névoa salina, a qual é utilizada em ensaios em isoladores. A Figura 1 abaixo mostra uma fotografia do Salão de Alta Tensão.



Figura 1 – Fotografia do Salão de Alta Tensão.

1.2 Laboratório de Materiais Elétricos

Este laboratório tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na disciplina de Materiais Elétricos, porém, muitas vezes, seus experimentos também auxiliam linhas de pesquisa. Dentre os principais experimentos realizados neste laboratório podemos citar:

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

Para a realização destes experimentos o laboratório possui um Kit Didático para Alta Tensão (100 kV), uma Ponte *Schering* e capacitores padrão.

1.3 Laboratório de Sistemas Elétricos

O Laboratório de Sistemas Elétricos complementa o aprendizado da disciplina Sistemas Elétricos, do curso de graduação em Engenharia Elétrica, e tem como finalidade básica a sedimentação dos conhecimentos adquiridos na mesma. Neste laboratório são realizadas montagens e medições necessárias para a análise de grandezas elétricas, na forma de experimentos que tangem tensões e correntes de circuito indutivo, correção do fator de potência, tensões e correntes em um circuito trifásico equilibrado, e medição da potência ativa e reativa nos circuitos trifásicos.

Para a realização destes experimentos, o laboratório possui bancadas equipadas com motores, reatores, capacitores, resistências de carga e instrumentos de medição.

1.4 Sala do Gerador de Impulso de Corrente

O Gerador de Impulso de Corrente dá apoio a algumas disciplinas da graduação, como o Laboratório de Equipamentos Elétricos e Técnicas de Alta Tensão, como também auxiliam a realização de ensaios experimentais da Pós-Graduação e de projetos de pesquisas. Neste laboratório são ministrados experimentos envolvendo equipamentos de alta tensão, como pára-raios. A capacidade do Gerador de Impulso de Corrente é de até 160 kA, 100 kV, com onda 8/20 μ s. Com o gerador, também é possível realizar ensaios de impulsos de alta corrente (forma de onda 4/10 μ s), entre outros. Na Figura 2 são mostradas fotografias do gerador de impulso de corrente e de sua mesa de controle.



(a)

(b)

Figura 2 – Fotografias: (a) Gerador de impulso de corrente; (b) Mesa de controle.

1.5 Sala do Kit de Alta Tensão

O Kit de Alta Tensão é indicado para realização de ensaio que necessitem de um faixa de tensão de 0 kV á 100 kV, como por exemplo, ensaios de suportabilidade de cadeias e isoladores. Este Kit dá apoio a várias disciplinas de Graduação e Pós-graduação, como Materiais Elétricos, Técnicas de Alta tensão e Equipamentos Elétricos. Por possuir dimensões compactas facilita a execução de experimentos.

O kit dispõe de uma mesa de controle, transformador de 220 V/100 kV-10 kVA, capacitores de alta tensão, resistores de alta tensão, espinterômetros, tubos para descargas em gases ou vácuo, dentre outros.

1.6 Sala do Laboratório de Instalações Elétricas

O Laboratório de Instalações elétricas complementa o aprendizado da disciplina Instalações Elétricas do Curso de Graduação em Engenharia Elétrica. O laboratório também oferece cursos de extensão e de treinamento coordenados pelo professor Edson Guedes da Costa.

Atualmente, a disciplina Laboratório de Instalações Elétricas dispõe de experimentos como:

- Fotometria;
- Instalações prediais;
- Comandos elétricos;
- Introdução ao uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLP); e
- Instalação de Sistemas de Proteção contra Descargas Atmosféricas.

O Laboratório de Instalações Elétricas possui infra-estrutura de rede elétrica, em concordância com a NBR 5410.

1.7 Sala do Laboratório de Sistemas de Potência

O Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) foi criado em 1986 com a instalação de um microcomputador VAX-750, doado pelo Governo Alemão e posteriormente foram adicionados microcomputadores mais modernos adquiridos através de convênios com a ELETROBRÁS e de recursos próprios.

O LSP tem como finalidade básica o desenvolvimento de atividades de ensino, pesquisa e extensão, com ênfase no estudo de métodos para simulação de sistemas elétricos, modelagem digital de equipamentos elétricos, redes neurais, desenvolvimento de interfaces gráficas, etc. Os usuários do LSP constituem-se de professores, alunos de pós-graduação e alunos de iniciação científica.

Capítulo II: Atividades desenvolvidas

Durante o estágio foram realizados vários ensaios elétricos, os quais serão descritos nas próximas seções. Todas as atividades foram acompanhadas por professores ou alunos de pós-graduação do GSE (Grupo de Sistemas Elétricos).

2.1 Ensaios em Transformadores de Potencial Capacitivos

A manutenção dos Transformadores de Potencial Capacitivo (TPC) foi solicitada pela SIEMENS após à realização da inspeção com termovisor nas linhas de transmissão da subestação CHESF-COTEMINAS, onde foi observado um aquecimento anormal em dois TPC em relação aos demais TPC com menos de 8 horas após a energização dos mesmos.

Os TPC que apresentaram um aquecimento anormal estão dentro da garantia fornecida pelo fabricante TRENCH ITALIA (SIEMENS), portanto somente os técnicos contratados pelo fabricante poderiam realizar a manutenção nos TPC.

O Laboratório de Alta tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) foi contratado para auxiliar o técnico da TRENCH ITALIA (SIEMENS) a realizar os procedimentos de manutenção nos TPC.

Os dois TPC que apresentaram um aquecimento anormal foram os TPC de números de serie 30034742 e 30034739. As fotos da inspeção realizada na linha de transmissão da subestação CHESF-COTEMINAS através do termovisor estão apresentadas na Figura 3.

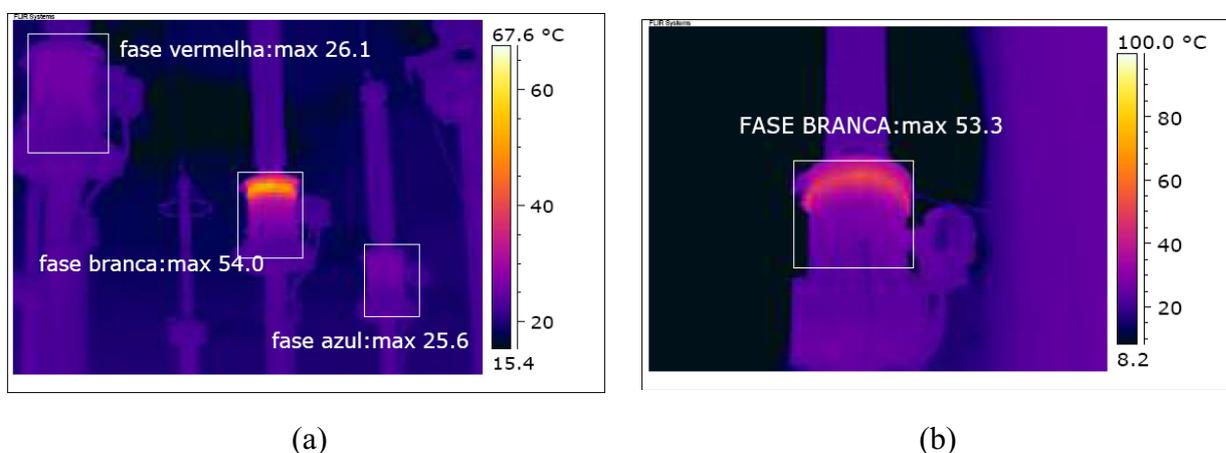


Figura 3 - Termofoto dos TPC número de series 30034739 em (a) e 30034739 em (b).

2.1.1 Dados dos Equipamentos

TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO

Fabricante: TRENCH ITALIA (SIEMENS)

Tipo: CPTf 245/8

Ano de fabricação: 2008

Contrato: CCT CHESF-COTEMINAS

O primeiro TPC possui N° Serie **30034742** e foi montado na fase branca de uma das linhas de transmissão da subestação CHESF-COTEMINAS. Ele apresentou uma temperatura de 53,3°C enquanto que os demais TPC apresentaram: 26,5°C (fase vermelha) e 26,1°C (fase azul). No decorrer do relatório este TPC será intitulado de **TPC_1** e seus dados de placas são apresentados na Figura 4.



TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO			FABRICANTE: TRENCH ITALIA				
Nome	CPTf 245/8	Normas	ANSI C93.1/90 IEC 186/87	Uso	EXTERNO		
N° de série	30034742			Ano Fab.	2008		
Man. Inst.	4SES040R00	Capacitância	C ₂ tip=92000pF	C ₁ tip=8762pF	Total 8000pF		
Va	242/395/950 kV	U máx.	242/√3 kV	Frequência	60 Hz		
Meio isolante	Óleo naffenico	P term.	1500 VA	Massa Total	580 kg		
Grupo	2	Fst cont./30s 1,2Un/1,5Un	Max Carga Simultânea: 225VA	U.Int.20/√3kV			
V-Óleo (Cap.)	25Lts JARILEC C101-IEC 857		V-Óleo (UEM) 70Lts CLASSE II-IEC 298				
Ser.	Tensão Nom. (V)	Relações	Terminais	U. Sec. (V)	Carga (VA)	Classe	Pol. Term. (VA)
1°	230000/√3	1200:1	X1-X3	110,66	0MWXY	0,3%	500
	230000/√3	2000:1	X2-X3	115/√3			
2°	230000/√3	1200:1	Y1-Y3	110,66	0WXY	0,6%	500
	230000/√3	2000:1	Y2-Y3	115/√3			
3°	230000/√3	1200:1	Z1-Z3	110,66	0WXY	0,6%	500
	230000/√3	2000:1	Z2-Z3	115/√3			
Massa máxima Bobina Bloqueio		400 kg	Esp. Téc.	ET/DSE-675-SET/2007			
			Contrato	CCT CHESF - COTEMINAS			

Figura 4 – Fotografia dos Dados de placa do TPC N° Serie 30034742 (TPC_1).

O segundo TPC possui N° Serie **30034739** e foi montado na fase branca de uma das linhas de transmissão da subestação CHESF-COTEMINAS. Ele apresentou uma temperatura de 54,0°C enquanto que os demais TPC apresentaram: 26,0°C (fase vermelha) e 25,6 °C (fase azul). No decorrer do relatório este TPC será intitulado de **TPC_2** e seus dados de placas são apresentados na Figura 5:

TRENCH ITALIA

TRENCH

TRANSFORMADOR DE POTENCIAL CAPACITIVO FABRICANTE: TRENCH ITALIA

Tip	CP11 245/B	Normas	ANSI C93.1/90 IEC 186/87	Uso	EXTERNO
P _{nom} (VA)	300.34 / 30			Ano Fab.	2008
Máx. Vol	45E5040R00	Capacitância	C _{tip} =92000pF	C _{tip} =8762pF	Tota 8000pF
U	242/385/950 kV	U máx.	242/√3 kV	Frequência	60 Hz
Máx. Corrente	0,99 A (tênica)	P term.	1500 VA	Massa Total	580 kg
Grupos	2	Fil. cont. / 30x 1,20n/1,50n	Máx. Carga Simultânea: 225VA	U _{int} 20/√3kV	
U _{prim} (V)	25kV	JARLEC C101-IEC 857	V-Óleo (UEM) 70Ita CLASSE II-IEC 298		
U _{sec} (V)	23000/√3	Relações	U _{sec} (V)	Carga (VA)	Classe
	23000/√3	2000:1	110,66	0,3%	0,3%
	23000/√3	2000:1	115,√3	0,6%	0,6%
	23000/√3	2000:1	110,66	0,6%	0,6%
	23000/√3	2000:1	115,√3	0,6%	0,6%
	23000/√3	2000:1	110,66		
	23000/√3	2000:1	115,√3		
			Exp. 18c		
			400 kg		

Figura 5 – Fotografia dos dados de placa do TPC N° Serie 30034739 (TPC_2).

2.1.2 Procedimentos de Manutenção

Primeiramente os TPC foram desmontados. Ao retirar a coluna capacitiva observou-se que um dos *jumper* estava desconectado, como mostrado na Figura 6. Em seguida detectou-se que a bandeja que dá suporte aos capacitores, como mostra a Figura 7, apresentava folga fazendo com que os capacitores oscilassem. A oscilação dos capacitores durante uma eventual movimentação do TPC considerou-se como sendo uma das possíveis causas que acarretaria na desconexão do *jumper*.

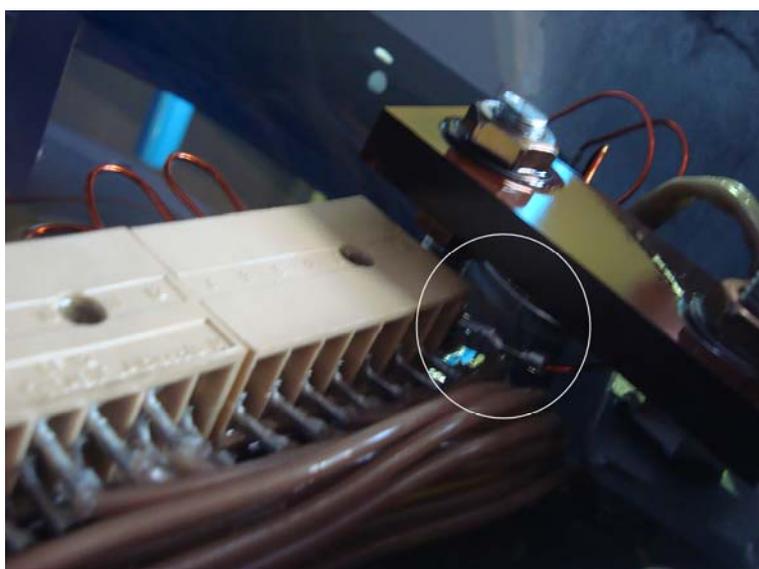


Figura 6 – Fotografia da parte interna do TPC, destaque da figura: *jumper* desconectado.

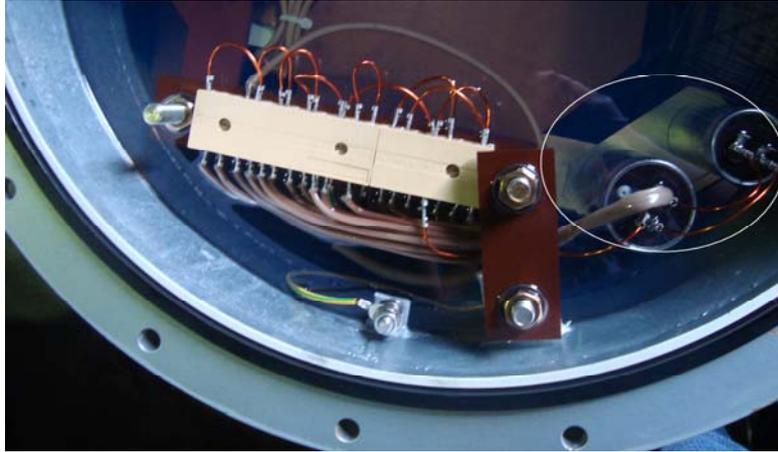


Figura 7 – Fotografia da parte interna do TPC, destaque da figura: bandeja que dá suporte aos capacitores.

Os procedimentos executados depois da detecção das falhas foram às seguintes:

- Troca dos capacitores e o ajuste reforçado na bandeja que dá suporte nos TPC_1 e TPC_2;
- Troca do resistor nos TPC_1 e TPC_2;
- Reconexão do *jumper* solto nos TPC_1 e TPC_2;
- Troca de todos os *jumper* no TPC_1.

2.1.3 Ensaios Realizados

Com o intuito de verificar as condições de funcionamento dos TPC após a realização dos reparos executados pelo técnico da TRENCH ITALIA (SIEMENS) foram realizados os ensaios descritos a seguir.

2.1.3.1 Ensaio de Corrente

O esquema representado pela Figura 8 foi montado, em seguida aplicou-se uma tensão de 240 V nos terminais 9 e 10 da régua do TPC e através do amperímetro instalado nos terminais 11 e 12 da régua do TPC monitorou-se a corrente que percorre o circuito. A Figura 9 apresenta o esquema da montagem realizada no LAT evidenciando os componentes do esquema apresentado pela Figura 8, com exceção do resistor que se localiza abaixo da régua do TPC e do reator que devido a sua localização não foi possível evidenciar na foto. Uma corrente de 200 mA foi medida pelo amperímetro quando a tensão de 240 V foi aplicada ao circuito (Ver Figura 8) . O resultado foi

satisfatório, pois a corrente está dentro do faixa de operação que é de 140 mA à 220 mA.

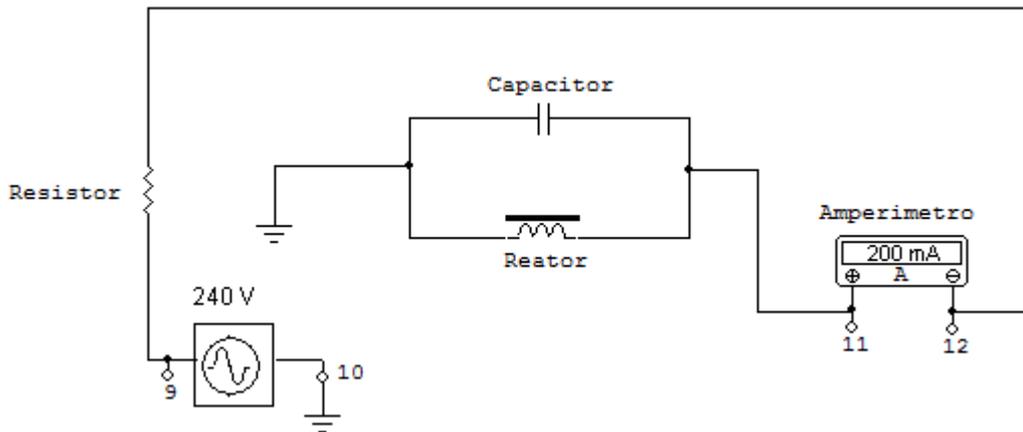


Figura 8 - Esquema de montagem do ensaio de corrente.

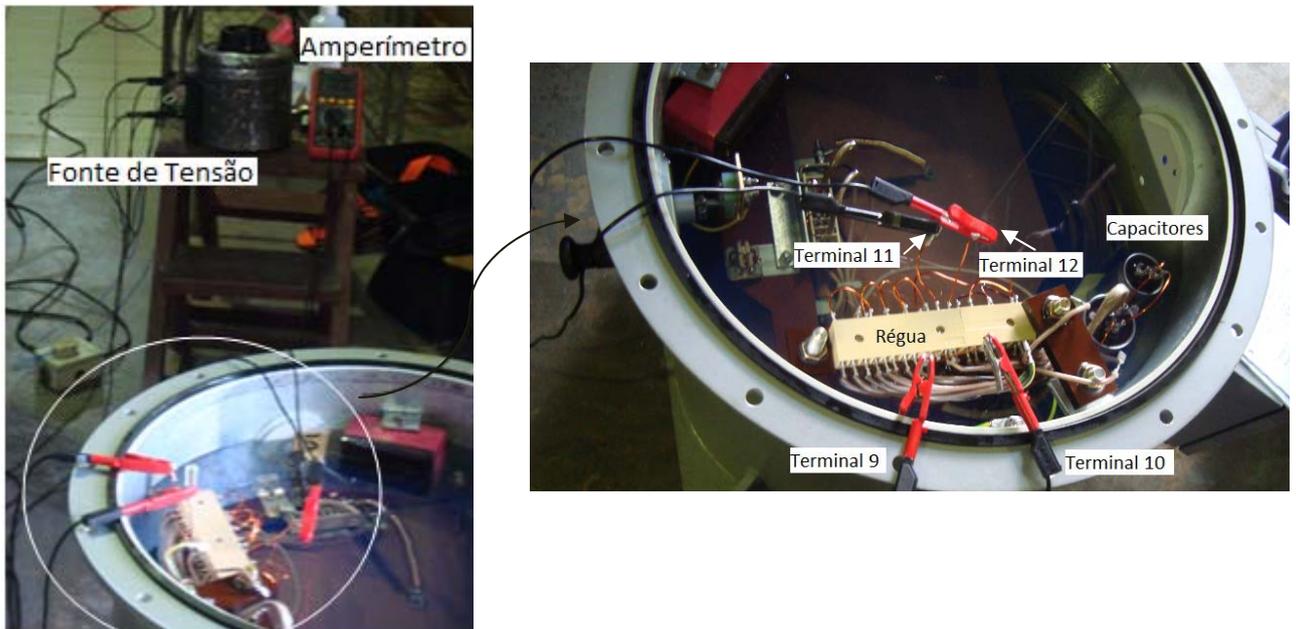


Figura 9 – Fotografia da montagem do ensaio de corrente.

2.1.3.2 Ensaio de Relação de Transformação sem a coluna capacitiva

O esquema representado pela Figura 10 foi montado, em seguida aplicou-se uma faixa de tensão nos terminais de alta do Transformador de Potencial Indutivo (TP indutivo) do TPC de 1 kV a 10 kV e monitorou-se a tensão apresentada nos terminais X2-X3 do secundário do TPC. As medições foram realizadas com o auxílio do

osciloscópio, os dados coletados estão representados pelas Tabelas 1 e 2. A Figura 11 apresenta a montagem realizada no LAT evidenciando os terminais de alta do TP indutivo e os terminais do secundário do TPC.

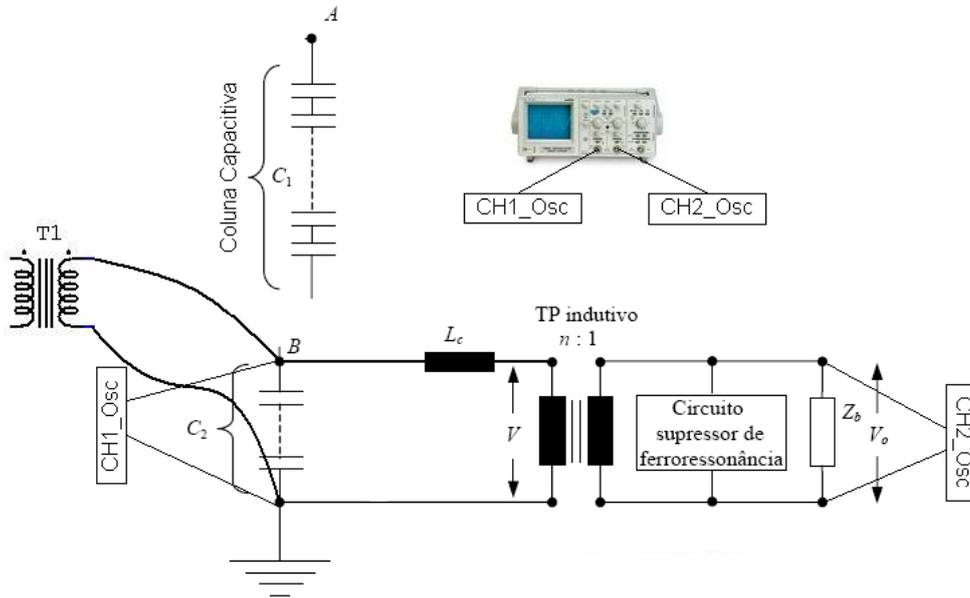


Figura 10 - Esquema de montagem do ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva.

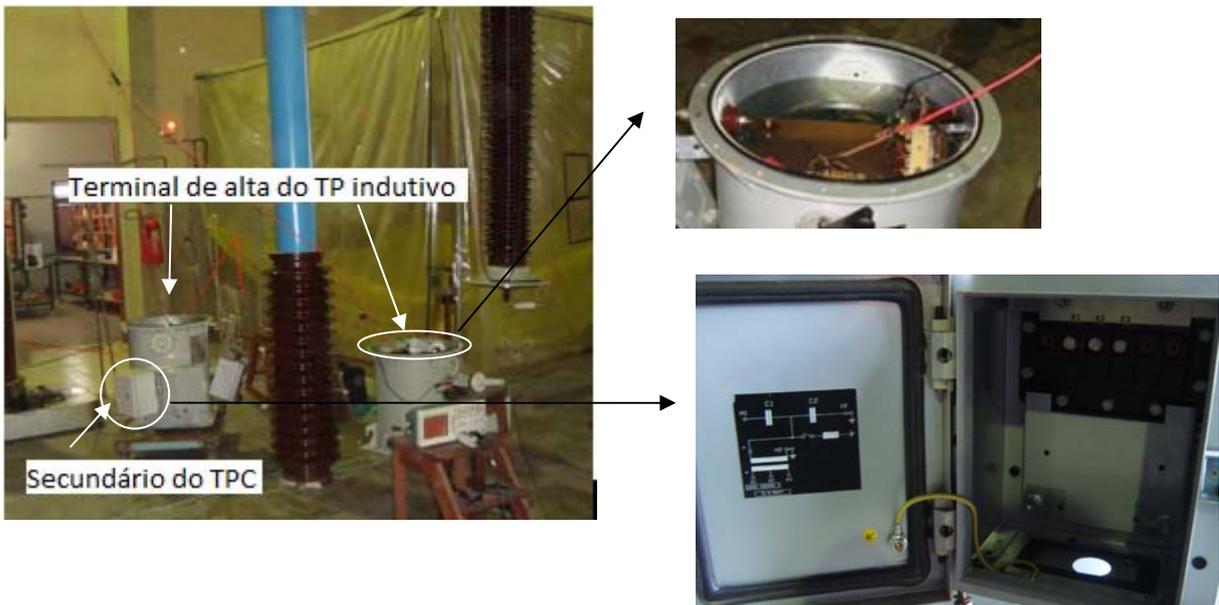


Figura 11 – Fotografia da Montagem do ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva.

Tabela 1 – Dados coletados no ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva realizada no TPC_1.

Tensão aplicada	Tensão medida no secundário	Valor teórico da tensão no secundário (dado fornecido pelo fabricante)	Erro (%)
10,2 kV	61,6 V	59,94 V	2,44
8,09 kV	48,9 V	47,54 V	2,87
6,12 kV	37,0 V	35,96 V	2,89
4,15 kV	25,1 V	24,39 V	2,93
2,05 kV	12,2 V	12,05 V	1,28
1,17 kV	7,07 V	6,87 V	2,69

Tabela 2 – Dados coletados no ensaio de relação de transformação sem a coluna capacitiva realizada no TPC_2.

Tensão aplicada	Tensão medida no secundário	Valor teórico da tensão no secundário (dado fornecido pelo fabricante)	Erro (%)
10,1 kV	61,2 V	59,35 V	3,12
8,05 kV	48,8 V	47,30 V	3,38
6,17 kV	37,3 V	36,25 V	2,88
4,16 kV	25,2 V	24,44 V	3,09
2,20 kV	13,2 V	12,93 V	2,11
1,14 kV	7,07 V	6,70 V	5,54

Analisando os dados das Tabelas 1 e 2 conclui-se que o erro da comparação entre os valores de tensão medidos e os valores de tensão teóricos, na media em torno de 3%, estão dentro dos limites aceitáveis pelo fabricante.

2.1.3.3 Ensaio de Temperatura

Este ensaio consisti em monitorar a temperatura dos TPC, com o auxílio do termovisor, por oito horas após a energização dos mesmos. Os TPC foram submetidos a uma tensão de 11,5 kV aplicada nos terminais de alta do TP indutivo dos TPC, o

esquema de montagem do ensaio está representado pelas Figuras 10 e 11. Os resultados deste ensaios estão representados pela Tabela 3.

Tabela 3 – Resultados do ensaio de temperatura com duração de oito horas dos TPC_1 e TPC_2.

Horas	Temperatura do TPC_1	Temperatura do TPC_2	Temperatura do ambiente	Umidade do ambiente
9 : 07	26,5°C	26,5°C	25,6°C	75%
9 : 23	27,2°C	27,2°C	26,6°C	71%
9 : 58	28,5°C	28,5°C	26,9°C	70%
10 : 33	29,3°C	29,3°C	27,1°C	67%
12 : 10	30,7°C (no tanque) 30,0°C (no óleo)	31,0°C (no tanque) 30,0°C (no óleo)	27,4°C	64%
14 : 28	30,7°C (no tanque) 32,0°C (no óleo)	31,5°C (no tanque) 32,8°C (no óleo)	28,1°C	61%
17 : 15	32,3°C (no tanque) 33,9°C (no óleo)	32,9°C (no tanque) 34,0°C (no óleo)	28,1°C	61%

As **9:51 horas** o ensaio foi interrompido por 7 minutos para retirada de amostras de óleo dos tanques dos TPC com o intuito de realizar testes que indiquem o nível de absorção de água pelo óleo. Os teste foram realizados pelos técnicos da Eletrobras-Chesf. Os resultados das amostras de óleo foram 9 ppm e 12 ppm, portanto não apresentam contaminação por absorção de água.

Analisando os resultados do ensaio de temperatura conclui-se que o aquecimento dos TPC está dentro do esperado, pois após oito horas energizados os TPC apresentaram uma elevação de temperatura de aproximadamente 7°C.

2.1.3.4 Ensaio de Relação de Transformação com a coluna capacitiva

O esquema representado pela Figura 12 foi montado e aplicou-se uma tensão no primário dos TPC, monitorou-se a tensão apresentada nos terminais X2-X3 e Y1-Y3 do secundário. As medições foram realizadas com o auxílio do osciloscópio e os resultados estão apresentados pelas Tabelas 4 e 5.

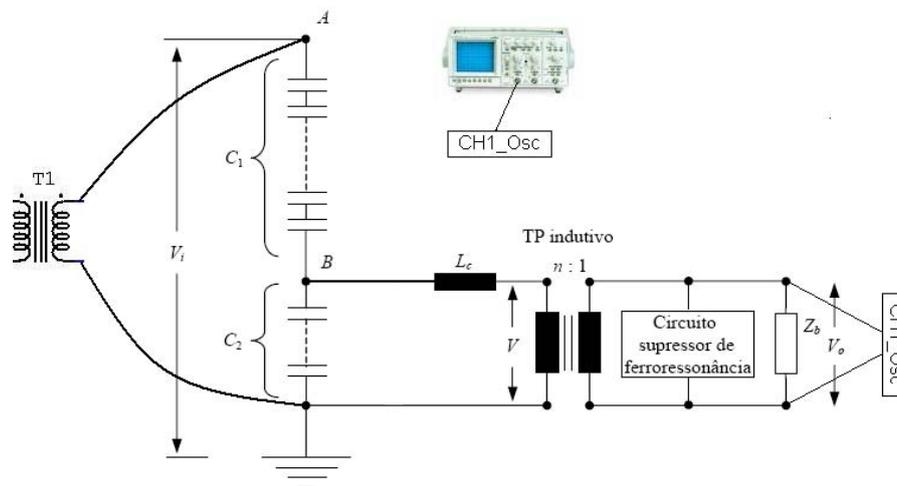


Figura 12 - Esquema de montagem do ensaio de relação de transformação com a coluna capacitiva.

Tabela 4 - Dados coletados no ensaio de relação de transformação com a coluna capacitiva realizada no TPC 1.

Tensão aplicada	Tensão medida no secundário	Relação de Transformação Medida	Relação de Transformação Teórica	Erro (%)
132,8 kV	Terminais X2-X3 : 69,06 V	1922,96	2000	3,85
10 kV	Terminais Y1-Y3 : 8,65 V	1156,07	1200	3,66

Tabela 5 - Dados coletados no ensaio de relação de transformação com a coluna capacitiva realizada no TPC 2.

Tensão aplicada	Tensão medida no secundário	Relação de Transformação Medida	Relação de Transformação Teórica	Erro (%)
132,8 kV	Terminais X2-X3 : 68,3 V	1944,36	2000	2,78
132,8 kV	Terminais Y1-Y3 : 131,5 V	1009,88	1200	15,84

Os resultados apresentados pelas Tabelas 4 e 5 mostram que o erro da comparação entre os valores da relação de transformação obtidos através das medições de tensão e os valores de relação de transformação teóricos (dados de placa) estão dentro dos limites aceitáveis pelo fabricante. O erro de 15,84 % apresentado pelo TPC_2 é resultado de um erro de medição.

2.2 Ensaaios em Ferramentas para Manutenção de Linhas Energizadas

O serviço em linha energizada (ou linha viva) tem se tornado cada vez mais importante para as empresas do setor energético mundial. 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. Os equipamentos devem ser submetidos a testes elétricos ou ensaios de laboratório periódicos, obedecendo-se as especificações do fabricante e a legislação vigente como as normas regulamentadoras NR-10 e NR-6.

Os ensaios mencionados acima geralmente são feitos por empresas certificadoras especializadas, pois são de caráter destrutivo. Por exemplo, a única maneira de avaliar se uma luva tem isolamentos suficientes para uso nos serviços em linha viva é submetê-la aos ensaios previstos em normas ou especificações do fabricante.

Os ensaios descritos a seguir foram realizados no laboratório de alta tensão da UFCG (LAT-UFCG) solicitados pela empresa ENERGISA. Os equipamentos utilizados na execução do ensaio foram: Gerador de Tensão AC, 600 kV- 1,0 A, Divisor de Tensão Capacitivo/Voltímetro de Pico Hafelly, Multímetro Digital MINIPA e Termo-Higrômetro MINIPA. A incerteza na medição de Tensão: $\pm 0,05\%$ e a incerteza na medição de corrente: $\pm 0,01\%$. As condições atmosféricas: Temperatura = 28°C, Umidade = 54,0% e Pressão Atmosférica = 962,0 mbar.

2.2.1 Ensaaios em Luvas Isolantes

O material abaixo descrito se baseia nas normas ASTM D 120 – 95 (*Standart Specification Rubber Insulantig Gloves*), NBR 122 Luvas de segurança e NBR 10622 Luvas isolantes de borracha.

As luvas isolantes de borracha devem ser confeccionadas em borracha natural antichama. Devem ser isentas de irregularidades prejudiciais, que possam ser constatadas através de inspeção visual, fabricadas com acabamento uniforme. As luvas devem cobrir totalmente a mão, pulso e parte do antebraço do usuário, permitindo a interdependência de movimento entre os dedos.

As luvas isolantes são divididas em cinco classes e dois tipos. Com relação à classe, esta se refere à tensão de isolamento da ferramenta como mostra a Tabela 6, e com relação ao tipo este se refere ao elastômero formulado ser ou não resistente ao ozônio. Assim luvas são divididas em dois tipos: Tipo I – Não resistente ao ozônio e Tipo II – Resistente ao ozônio. Todas as luvas devem suportar uma tensão alternada (valor eficaz) a uma frequência de 60 Hz, conforme especificado na Tabela 6.

Tabela 6 – Propriedades elétricas das luvas para corrente alternada (CA) (NBR 10622).

CLASSE DAS LUVAS	TENSÃO DE ENSAIO (Valor Eficaz) (V)	TENSÃO MÁXIMA DE TRABALHO TENSÃO DE LINHA (Valor Eficaz) (V)	TENSÃO MÍNIMA DE PERFURAÇÃO (Valor Eficaz) (V)	CORRENTE MÁXIMA DE FUGA (mA)			
				LUVA DE 267mm	LUVA DE 356mm	LUVA DE 406mm	LUVA DE 457mm
0	5000	1000	6000	10	14	16	18
1	10000	7500	20000	-	16	18	20
2	20000	17000	30000	-	18	20	22
3	30000	26500	40000	-	20	22	24
4	40000	36000	50000	-	-	24	26
1	2	3	4	5	6	7	8

Nota: Exceto para luvas de Classe 0, a tensão máxima de uso deve ser baseada na seguinte fórmula:
Tensão Máxima de uso - 0,95 da tensão de ensaio - 2000V.

Antes de se realizar o ensaio deve-se limpar a luva interna e externamente com produtos neutros e esperar que ela seque completamente. Não utilizar estufa para secagem do material e nunca usar derivados de petróleo em materiais confeccionados em borracha natural.

A montagem física para o ensaio das luvas isolantes obedece ao esquema representado pela Figura 13.

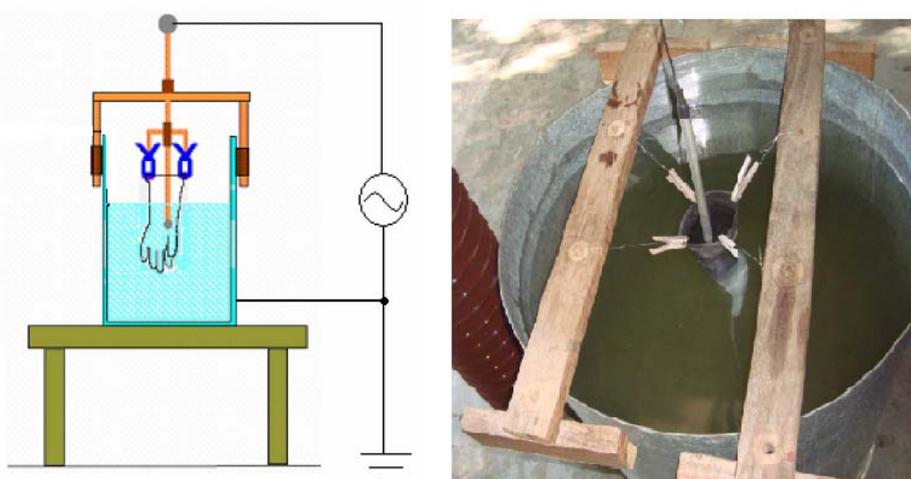


Figura 13 – Esquema do ensaio de luva isolante.

O ensaio de luva isolante consiste em aplicar um determinado valor de tensão ao eletrodo que é introduzido na água contida no interior da luva. Este eletrodo deve ser colocado de modo que a tensão elétrica aplicada seja uniforme em toda a área ensaiada sem produzir efeito corona em qualquer ponto ou esforços mecânicos na luva. A parte da luva acima da linha d'água deve estar rigorosamente seca. O recipiente metálico (cuba) com água onde a luva foi imersa deve ser devidamente aterrado.

Iniciando em zero, a tensão deve ser elevada gradualmente, à razão aproximada de 3 kV/s, até atingir o valor de tensão de ensaio especificado na Tabela 6, o qual deve ser mantido por 1 (um) minuto, e em seguida retornar a tensão ao valor zero, também gradualmente. A água usada neste tipo de ensaio deve ser renovada a cada lote de, no máximo, 50 luvas ou quando se tornar necessário, devendo estar isenta de bolhas de ar ou material em suspensão. O ensaio deve ser executado à temperatura ambiente.

O tempo de ensaio foi alterado para 1 (um) minuto, baseado em considerações com relação à funcionalidade da ferramenta. Visto que se trata de uma ferramenta usada para evitar o contato eventual do eletricitista com partes de equipamentos ou redes energizadas. Após discussões entre a COPEL e LACTEC, chegou-se a conclusão que o tempo de ensaio poderia ser reduzido há 1 (um) minuto. Esta consideração aplica-se aos demais ensaios que serão realizados posteriormente (MIT161703, 2006).

A ocorrência da ruptura elétrica do material ou a perfuração do mesmo reprovava a luva. A tensão elétrica de perfuração das luvas assim como a tensão elétrica de ruptura não devem ser inferiores aos valores especificados na Tabela 5, coluna 4. A Figura 14 mostra uma luva que sofreu uma perfuração durante o ensaio.



Figura 14 – Fotografia da luva isolante que sofreu uma perfuração durante o ensaio.

Durante a limpeza inicial da luva, e após o ensaio, deve-se inspecionar visualmente a luva com o objetivo de verificar se existem fissuras, riscos, furos ou

processos de degradação na ferramenta. Toda e qualquer alteração deve se relatada no laudo de ensaio.

A periodicidade recomendada de ensaio em luvas é de seis meses para luvas em uso, podendo ser reduzida dependendo das características de trabalho, tipo de utilização ou outro motivo que possa implicar em deterioração anormal. A luva deve ser sempre ensaiada antes de colocada em uso.

2.2.2 Ensaio em Mangas Isolantes

Os ensaios em mangas isolantes discutidos nesta seção referem-se à norma ASTM D 1051 – 95 e NBR 10623 Mangas isolantes de borracha. As mangas isolantes são confeccionadas em borracha natural ou sintética ou a combinação de ambas, e são classificadas segundo Tipo e Classe. O Tipo refere-se à resistência da ferramenta ao ozônio, sendo o Tipo I não resistente e a Tipo II resistente ao ozônio. A Classe de isolamento refere-se à tensão de ensaio e uso, como pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 – Propriedades elétricas para CA e CC (NBR 10623).

Classe da 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	30	178
4	36	40	70	254

Para a realização do ensaio de tensão aplicada nas mangas isolantes, várias montagens são sugeridas, em função da classe de isolamento da manga e seu tipo. No ensaio realizado no LAT-UFCG 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 mostra a Figura 15. O procedimento experimental do ensaio se assemelha ao da luva isolante descrito anteriormente.

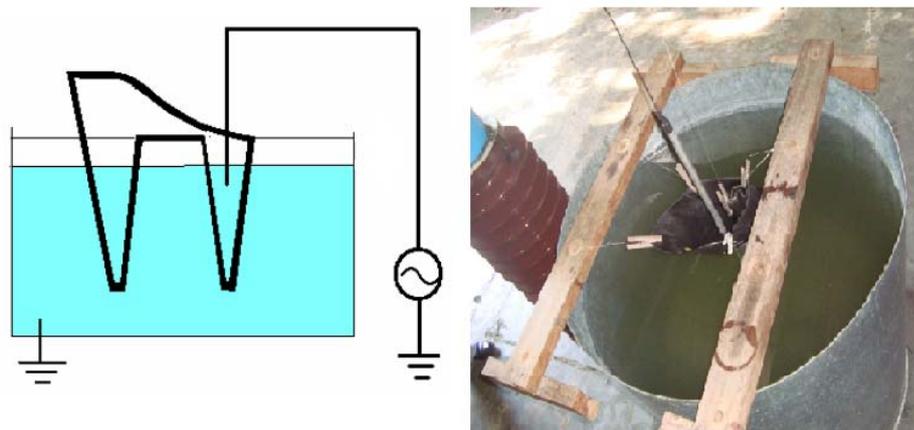


Figura 15 - Esquema de montagem com manga invertida.

Em seguida mergulha-se, parcialmente, a manga na água e encher a cuba anular com água até que os níveis de dentro e fora da cuba sejam os mesmos; Observa-se a distancia entre eletrodos, conforme especificado na Tabela 7. Deve-se tomar cuidado para evitar a formação de arestas vivas nas mangas, as quais podem provocar rupturas dielétricas prematuras nesses pontos e este tipo de montagem não deve ser aplicada para tensões acima de 10 kV-CA ou 50 kV-CC.

A tensão deve ser aplicada como indicado na Tabela 7, a uma taxa de 1 kV/s CA e 3 kV/s CC. Após atingir a tensão nominal de ensaio, a tensão deverá permanecer aplicada por um tempo de 1 (um) minuto. Ao término deste tempo deve-se reduzir a tensão até 50% do valor aplicado com a mesma taxa de elevação, quando a fonte poderá ser desligada.

A manga será reprovada na ocorrência da disrupção elétrica do material ou a perfuração do mesmo. A Figura 16 apresenta uma manga que fora reprovada no ensaio devido à ocorrência de perfuração.



Figura 16 – Fotografia da manga reprovada no ensaio devido à ocorrência de perfuração.

As mangas isolantes devem ser ensaiadas a cada doze meses, ou quando se achar necessário em função de suspeita do isolamento oferecido pela ferramenta.

2.2.3 Ensaios em Lençóis Isolantes

Os lençóis isolantes são confeccionados em borracha natural, e, portanto seguem as mesmas classes de isolamento das mangas isolantes e luvas isolantes confeccionadas em borracha natural. A norma que regulamenta os ensaios em lençóis isolantes para serviço em redes energizadas é a ASTM D1048 *Standard Specification for Rubber Insulating Blankets* (MIT161703, 2006). Os lençóis podem ser divididos em diferentes modelos em função de suas aplicações e funcionalidades. Basicamente existem dois tipos de lençóis confeccionados em borracha natural: os lençóis inteiriços e os lençóis para uso geral com entalhe.

Tabela 8 – Propriedades elétricas dos lençóis isolantes (MIT161703, 2006).

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

A montagem dos eletrodos para estes dois tipos de lençóis deve acompanhar a forma do lençol, e respeitar as classes de isolamento a que se destinam e também as distâncias entre eletrodos estabelecidas pela Tabela 8. A Figura 17 representa o esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis inteiriços e a Figura 18 apresenta o esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis com entalhe.



Figura 17 – Fotografia do esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis inteiriços.

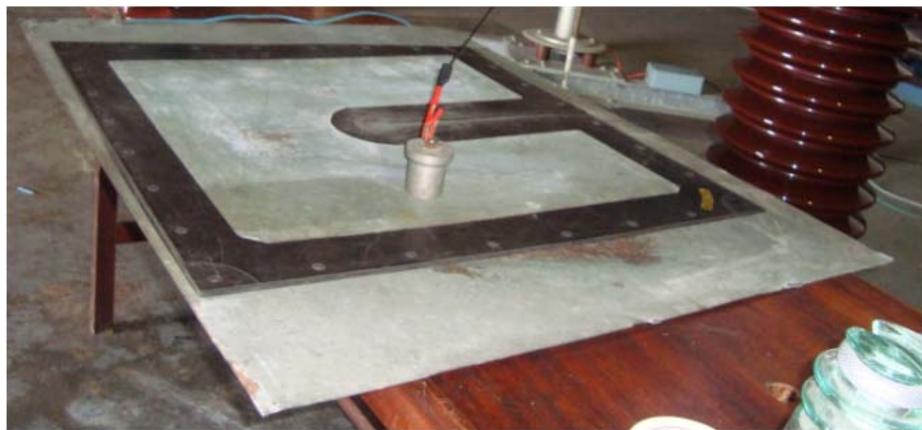


Figura 18 – Fotografia do esquema de montagem para a realização do ensaio em lençóis com entalhe.

Os procedimentos para a realização do ensaio se resumem em colocar o lençol isolante sobre o eletrodo inferior que deve estar devidamente aterrado. Em seguida coloca-se o eletrodo superior sobre o lençol, neste eletrodo aplica-se a tensão exigida pela classe de isolamento do lençol, durante o tempo de 1 (um) minuto. A tensão elétrica aplicada obedece a uma taxa de crescimento de 3 kV/s.

O lençol não deve apresentar efeitos visíveis da aplicação do ozônio quando ensaiado conforme a ASTM D1048. Qualquer sinal visível de deterioração por ozônio tais como rachaduras ou perfurações, deve ser considerado como evidência de falha acarretando na reprovação do equipamento. A Figura 19 mostra um lençol inteiriço que fora reprovado no ensaio devido à ocorrência de perfuração.



Figura 19 – Fotografia do lençol inteiriço reprovado no ensaio devido à ocorrência de perfuração.

A periodicidade recomendada de ensaio em lençóis isolantes é de 12 (doze) meses, desde que armazenados em local seco, ventilado e longe de fonte de calor.

2.2.4 Ensaios em Coberturas Protetoras

As coberturas protetoras devem ser consideradas como ferramentas usadas somente para evitar o contato acidental do trabalhador com as partes energizadas. A margem de segurança deve ser feita entre a máxima tensão para a qual elas são usadas e testadas. Os valores das margens de segurança podem ser vista na Tabela 9. O equipamento é projetado somente para exposição entre fase-terra e fase-fase.

Tabela 9 – Tensão de uso das coberturas protetoras em função da classe de isolamento (MIT161703, 2006).

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
6	72,5	41,8

Existem diferentes tipos de coberturas de Proteção para trabalhos em Linha Viva (MIT161703, 2006). Entretanto, no LAT-UFCG foram realizados ensaios apenas para as

coberturas protetoras para condutor, tipo rígido e tipo flexível, e para as coberturas protetoras circular.

2.2.4.1 Coberturas protetoras para condutor

As coberturas protetoras para condutor são as que oferecem a maior área de proteção nas áreas energizadas e por isso que são as mais utilizadas nos trabalhos em linha viva. São disponíveis em vários modelos para atender aos diversos tipos de instalações elétricas de tensões nominais até 48,3 kV. Suas extremidades são dotadas de sistemas de encaixe macho/fêmea, que permite a conexão de duas ou mais unidades, ou a sua conexão com outras coberturas.

As normas que regulamentam os ensaios em cobertura para condutores do tipo rígida, também conhecida como coberturas isolantes rígidas, para serviço em redes energizadas são as ASTM F 712, ASTM F 968 (MIT161703, 2006).

O arranjo utilizado na realização do ensaio para as coberturas para condutores do tipo rígidas esta representado pela Figura 20.

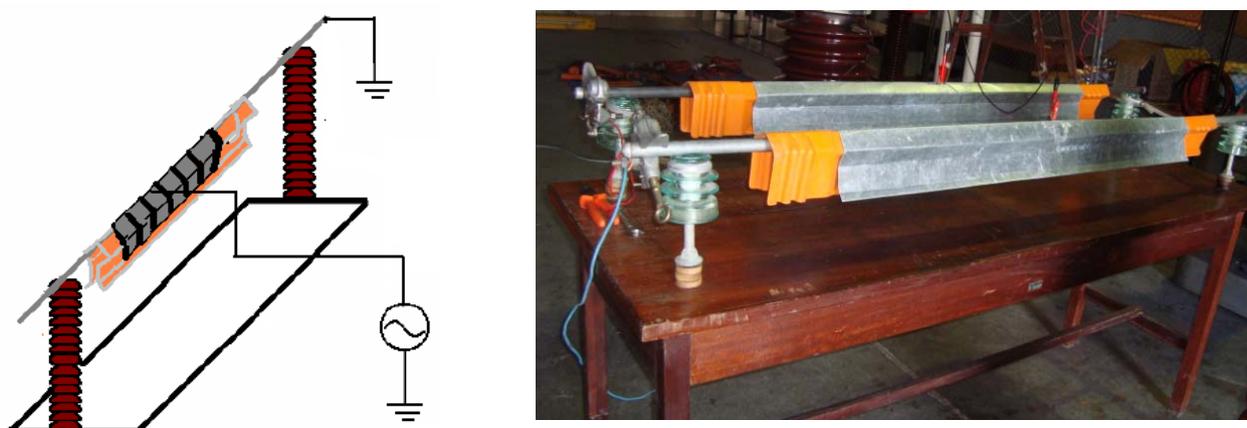


Figura 20 – Esquema de montagens para a realização do ensaio para as coberturas para condutores do tipo rígidas.

O eletrodo interno à cobertura é aterrado, e ao eletrodo externo aplica-se uma tensão alternada (valor eficaz) com frequência de 60 Hz. Eleva-se a tensão alternada numa taxa de 1 kV/s AC até o valor determinado pela Tabela 9, em função da classe de isolamento da ferramenta, mantendo a tensão aplicada pelo tempo de 1 (um) minuto.

Após a realização do ensaio deve-se observar se o material não apresenta processos de degradação causados pelo ensaio como, por exemplo, perfurações. Em

caso positivo deve-se reprovar o equipamento. A Figura 21 apresenta uma cobertura que fora reprovada no ensaio.



Figura 21 – Fotografia da cobertura protetora para condutores do tipo rígida reprovado no ensaio devido à ocorrência de perfuração.

A norma ASTM D 1049 – *Standard Specification for Rubber Insulating Covers* regulamenta os ensaios em cobertura para condutores do tipo flexível, também conhecida como coberturas isolantes de borracha. Mostra-se na Figura 22 o esquema de montagem para este tipo de ensaio.



Figura 22 – Fotografia do esquema de montagens para a realização do ensaio para as coberturas para condutores do tipo flexível.

O procedimento experimental para este ensaio é o mesmo apresentado no ensaio para as coberturas para condutores do tipo rígidas, descrito anteriormente. Durante a realização do ensaio observou-se a ocorrência de uma ruptura elétrica no material, no qual esta ocorrência está evidenciada na Figura 23.



Figura 23 – Fotografia da cobertura flexível reprovada devido a uma disrupção elétrica durante o ensaio.

2.2.4.2 Cobertura Protetora Circulares

Devido à sua versatilidade, as coberturas circulares são utilizadas para a proteção das extremidades dos postes, proteção das cruzetas, proteção dos pára-raios, etc. Por não possuir uma aplicação específica, cada utilização merece cuidado especial, no sentido de averiguar a real proteção que a cobertura oferece. Possui alça de corda sintética pra facilitar a instalação e remoção com luvas isolantes.

As normas que regulamenta este ensaio são as mesmas aplicadas para os ensaios os em cobertura para condutores do tipo rígida, a ASTM F 712 e a ASTM F 968 (MIT161703, 2006).

Da mesma forma que no caso do arranjo para ensaio em cobertura de condutores, os eletrodos interno e externo devem estar perfeitamente ajustados sobre a cobertura a ser ensaiada, evitando ao máximo vazios.

Para a realização deste ensaio considera-se que o eletrodo externo será o eletrodo de potencial e o eletrodo interno o eletrodo de terra. A Figura 24 apresenta o arranjo aplicado.

No eletrodo externo aplica-se uma tensão alternada, 60 Hz. Eleva-se a tensão a uma taxa de 1 kV/s até se atingir a tensão de ensaio para a classe da ferramenta testada. Ao se atingir a tensão de ensaio manter esta pelo tempo de 1 (um) minuto.



Figura 24 – Fotografia do arranjo do ensaio de cobertura circular rígida.

2.2.5 Ensaio em Cordas Isolantes

O ensaio em cordas isolantes deve ser realizado com arranjo semelhante ao usado em varas de manobras, normas ASTM 1701 e a NBR 13018 (MIT161703, 2006). Estas normas prevêem que o ensaio deverá ser realizado com tensão aplicada de 30 kV a cada 60 cm durante 30 s e monitorada a corrente de fuga que não poderá ser superior a 50 mA.

A montagem do arranjo do ensaio está representada pela Figura 25.

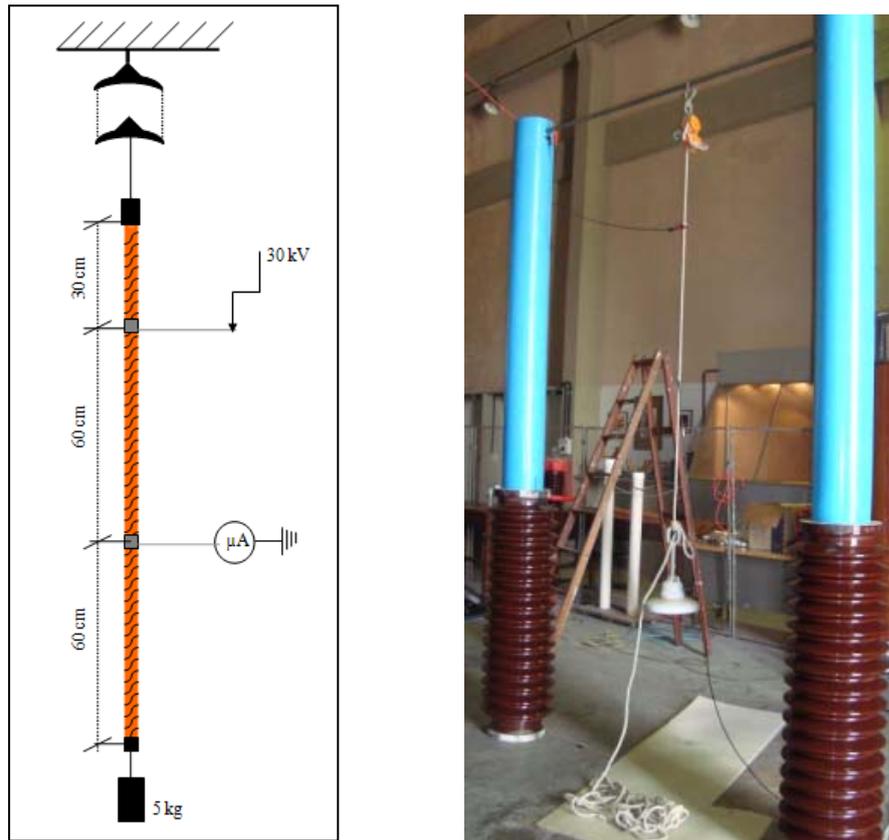


Figura 25 – Montagem do arranjo do ensaio em cordas isolantes.

2.2.6 Ensaio em Bastões de Manobra

Os bastões de manobra foram originalmente projetados para operações de grampos de linha viva e grampos de aterramento, porém face à sua versatilidade eles possuem hoje múltiplas aplicações, principalmente nas manutenções de instalações elétricas energizadas.

Os bastões de manobra são fabricados em resina epóxi reforçados com fibra de vidro, componentes metálicos em liga de bronze e alumínio, com cabeçote em alumínio com isolamento de 15 kV.

Os ensaios desta subseção foram realizados de acordo com a norma NBR 14540 bastão e escada isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada – Transmissão e a NBR 11854 Varas e bastões de manobra.

Segundo a NBR 14540 e a NBR 11854, os eletrodos para se realizar o ensaio em hastes ou tubos isolantes confeccionados em fibra devem possuir anel de guarda, com o objetivo de eliminar correntes elétricas de ionização do ar, que podem aumentar em até 200 % o valor real de corrente de fuga. O eletrodo de guarda é ilustrado pela Figura 26.

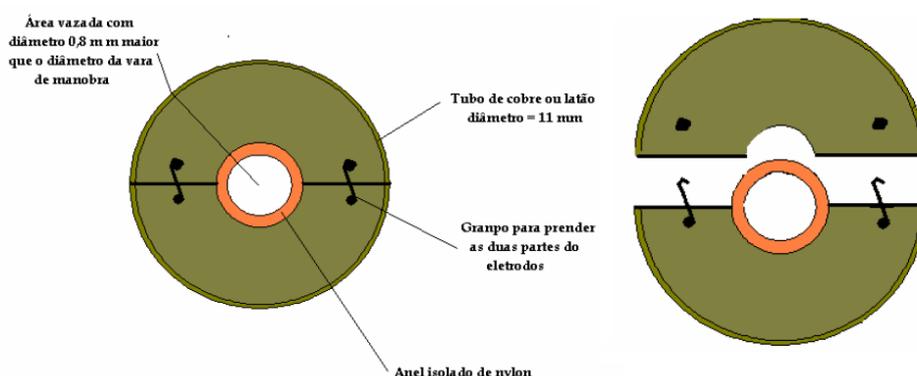


Figura 26 – Vista dos eletrodos de guarda usados para o ensaio de varas ou bastões de manobra.

Para se realizar o ensaio de bastões de manobra, sugere-se a montagem apresentada pela Figura 27.

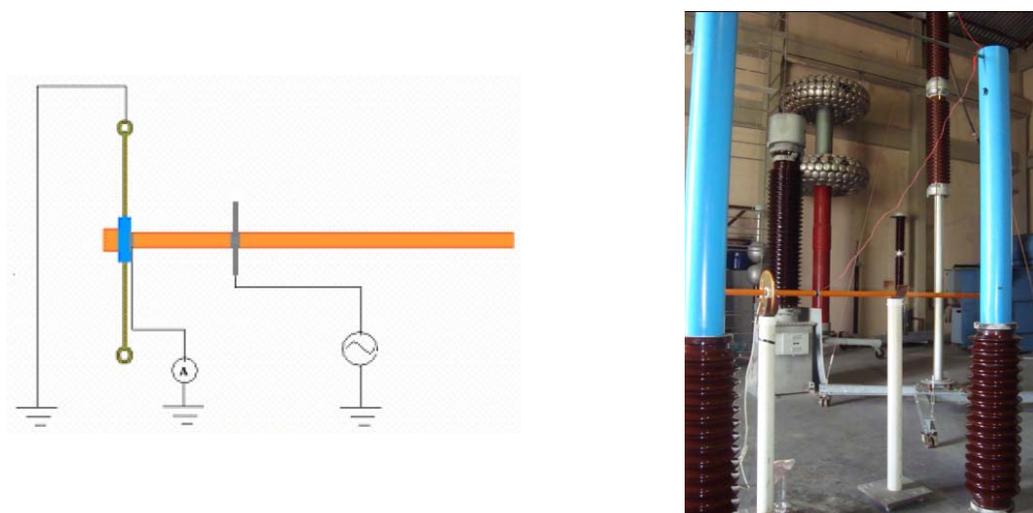


Figura 27 - Esquema de montagem para o ensaio de bastões de montagem.

Os ensaios em bastões de manobra e hastes de fibra devem seguir as determinações da Tabela 10, no qual o material deverá suportar a tensão nominal de 100 kV alternada, quando a distância entre o ponto de aplicação da tensão e o ponto de medição da corrente de fuga for de 30 cm, durante 1 (um) minuto com uma corrente de fuga, de acordo com o diâmetro do bastão.

Tabela 10 - Valores máximos de corrente de fuga para ensaio em hastes e tubos de fibra, para tensão aplicada de 100 kV de 30 em 30 cm ou alternativamente 50 kV de 15 em 15 cm (NBR 11854).

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

2.2.7 Ensaio em Liner

A norma que regulamenta o ensaio em *liner* (ou cubas isolantes) é a NBR 14631-2000. O ensaio em *liner* de caminhão de linha viva deve ser realizado por meio de teste de tensão alternada aplicada, no qual o *liner* é imerso em um tanque com água em sua parte externa e interna, sendo o eletrodo de potencial a parte interna e o eletrodo de terra a parte externa, como mostra a Figura 28.

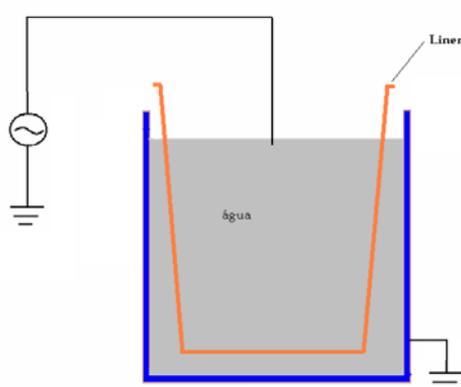


Figura 28 - Diagrama de montagem e circuito para ensaio de tensão aplicada no *liner* do caminhão de linha viva.

O *liner* (ou cuba isolante) deve suportar no mínimo 35 kV, 60 Hz, por 1 (um) minuto ou 100 kV em correntes continua por 3 minutos, sem ocorrer descargas disruptivas (*flashover*) ou rompimento do material.

2.2.8 Ensaio de Tensão Suportável e Tensão de Descarga

A empresa *Energy Eletricidade Ltda* solicitou que fossem realizados os ensaios de tensão suportável e tensão de descarga ou de perfuração em uma cobertura de mangueira para condutores de baixa tensão utilizada para proteção contra curto circuito em linhas de 380 V. A Figura 29 apresenta a mangueira para condutores que será ensaiada.

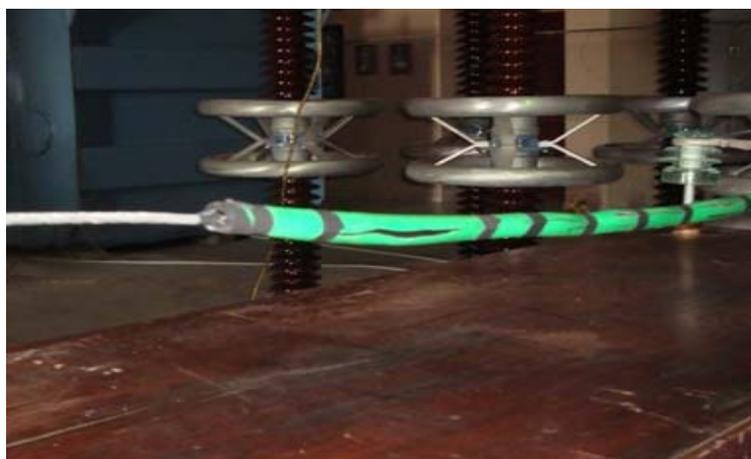


Figure 29 – Fotografia da mangueira para condutores de baixa tensão.

Os ensaios realizados estão de acordo com as normas: NBR 6936/1992; NBR 11854/1992; NBR 14540/2000. Os procedimentos para a realização do ensaio se resumem em envolver um condutor de alumínio 1/0 com a mangueira, com aplicação de fita isolante a cada 15/20 cm para fechamento da mangueira, ver Figura 29. Após a aplicação da fita isolante procedeu-se o envolvimento de toda a mangueira com papel alumínio. O condutor de alumínio foi aterrado e foram aplicadas as tensões de teste no papel alumínio envolvente conforme apresentado na Figura 30.



Figura 30 – Fotografia do esquema de montagem dos ensaios de tensão suportável e tensão de descarga ou de perfuração.

Os resultados dos ensaios estão organizados na Tabela 11. Os valores de tensão abaixo foram aplicados com duração de 1 (um) minuto, não ocorrendo qualquer descarga.

Tabela 11 – Resultados dos ensaios de tensão suportável.

Tensão Aplicada (kV)	Tempo de Aplicação (min)	Resultado
1,0	1,0	Suportou
2,0	1,0	Suportou
4,0	1,0	Suportou
6,0	1,0	Suportou
8,0	1,0	Suportou
10,0	1,0	Suportou

Em seguida realizou-se o ensaio de descarga ou de perfuração. Elevando-se a tensão paulatinamente, foi verificada a ocorrência de descarga na tensão de 11,0 kV (Figura 31).



Figura 31 – Ilustração da ocorrência de descarga, na tensão de 11,0 kV, na Mangueira para condutores durante o ensaio de descarga ou de perfuração.

2.3 Sistema de Aterramento

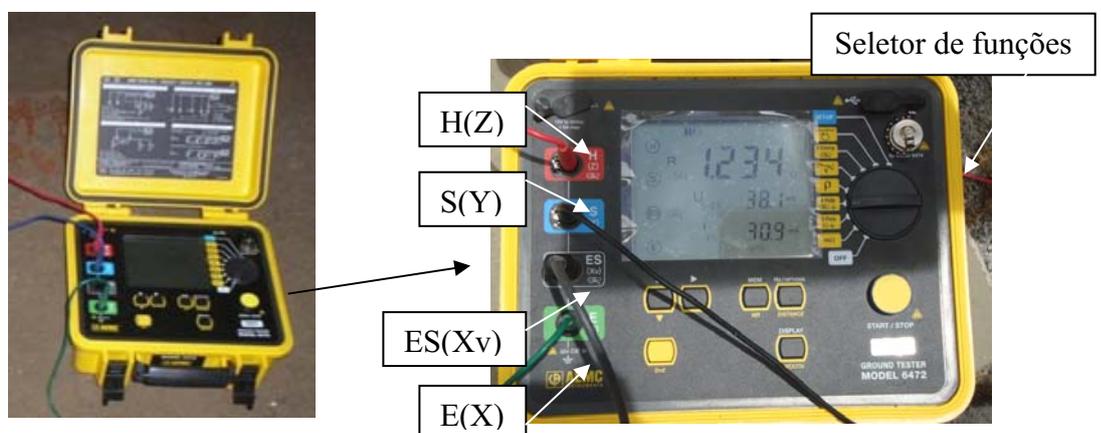
Devido à degradação da malha de terra das subestações no decorrer do tempo, faz-se necessário a avaliação periódica de sua qualidade, uma vez que a mesma tem um papel de fundamental importância especialmente em relação à segurança das pessoas e equipamentos ligados às linhas de distribuição e de transmissão de energia elétrica.

O comportamento do sistema de aterramento quando submetido a uma corrente de descarga atmosférica é muito complexo. Sabe-se que para uma corrente muito alta, dependendo da densidade nas proximidades do eletrodo de aterramento, um processo de ionização pode ocorrer ao redor do eletrodo. Isto ocorre devido aos grandes valores de campo elétrico associado. O processo de ionização contribui para a redução da impedância de aterramento. Com a adoção de aplicação de surtos de alta corrente, podem-se determinar a impedância da malha, ao invés da simples medição da resistência de aterramento da malha. E assim, determinar o comportamento da malha frente a surtos.

2.3.1 Medição de Resistência de Malhas de Terra em Subestações Energizadas

A finalidade da realização de medições de resistência de malha em subestações energizadas é de analisar o estado de conservação das malhas de terra das subestações sem que seja necessário tirá-las de operação.

As medições foram realizadas na subestação de Aroeiras, pertencente à Energisa - PB. Para tanto, utilizou-se o Terrômetro Digital 6472 da *AEMC Instruments* (Ver Figura 32 (a)), e um componente auxiliar, pinças amperimétricas modelo SR182 (ver Figura 32 (b)). As pinças têm capacidade para medição de altas correntes (até 40 Arms – Ampères RMS).



(a)



(b)

Figura 32 – Fotografias: (a) Terrômetro Digital 6472 da AEMC Instruments; (b) pinças amperimétricas modelo SR182.

Para a execução das medições foram priorizados alguns procedimentos de segurança, tais como:

- Uso de botas isoladas;
- Uso de luvas de borracha isolante;
- Trabalho realizado em duplas, para verificação dos procedimentos de medição.

O procedimento adotado para a medição em subestações energizadas com o uso das pinças consiste em fixar duas hastes de cobre espaçadas pelo menos 25 metros uma da outra, para evitar interferência entre elas. Uma das hastes intitula-se haste de corrente e deve estar pelo menos a 50 metros de distância do ponto de medição (por exemplo, caixa de inspeção de malha), esta haste de corrente deve ser conectada através de um fio condutor ao terminal **H(Z)** do terrômetro. A outra haste intitulada como haste de potencial localiza-se a 25 metros do ponto de medição e deve ser conectada ao terminal **S(Y)** do terrômetro. O terminal **ES(Xv)** do terrômetro é conectado à pinça amperimétrica que está acoplada ao ponto de medição e o terminal **E(X)** do terrômetro está conectado ao ponto de medição localizado depois da pinça amperimétrica. A configuração da conexão está ilustrada na Figura 33 e é intitulada como método dos 4 pólos.

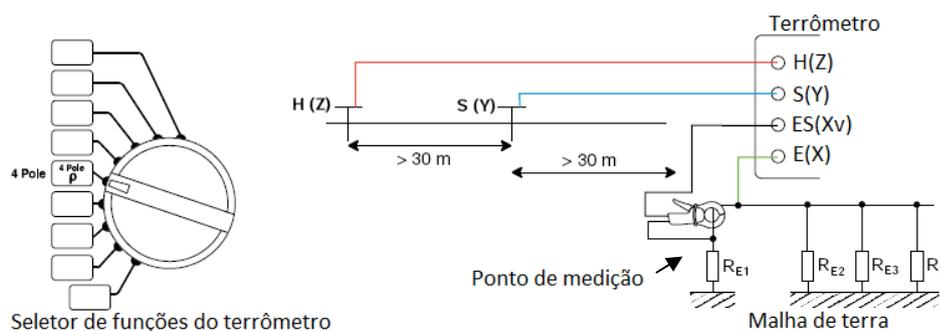


Figura 33 - Configuração da Conexão para medição com a pinça.

As medições ficaram restritas às caixas de inspeção de malha e ao aterramento dos TPs, uma vez que o aterramento do transformador encontrava-se inacessível impossibilitando a medição de resistência de terra através do conduto, mas com o auxílio do alicate amperímetro mediu-se a corrente do neutro do transformador, no qual se mediu uma corrente de desequilíbrio de **12,8 A**. O esquema de montagem de resistência de malha de terra utilizado nesta subestação encontra-se ilustrado na Figura 34.

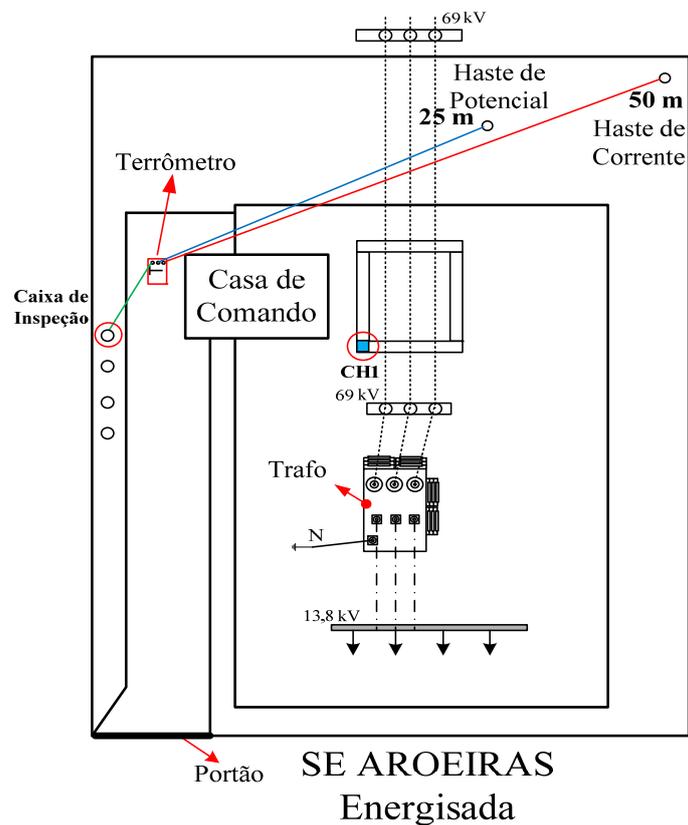


Figura 34 – Esquema de montagem de resistência de malha de terra na SE Aroeiras energizada.

A Figura 35 apresenta as fotos dos esquemas de medição da resistência de malha de terra realizadas na caixa de inspeção de malha, do aterramento dos TPs e da medição de corrente do neutro do transformado com a subestação energizada.



(a)



(b)



(c)

Figura 35 – Fotografia dos esquemas de medição de resistência de malha de terra na SE Aroeiras energizada realizadas (a) na caixa de inspeção, (b) no aterramento dos TPs e a medição da corrente do neutro do transformado.

Os resultados das medições de resistência de malha de terra e do aterramento dos TPs estão representados pelas tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Resistência da Malha de Terra Medida Através de uma Caixa de Inspeção de Malha.

Caixa de Inspeção	Medição 1 (Ω)	Medição 2 (Ω)	Média (Ω)
		1,21	1,25

Tabela 13 - Resistência da Malha de Terra Através da Conexão de um TP.

TP	Medição (Ω)

Os valores obtidos através medição da resistência na subestação energizada em Aroeira foram pequenos e aproximados, o que mostra que a malha da subestação está em boas condições. Entretanto a detecção de uma corrente alta no neutro do transformador indica que as fases do transformador apresentam certo desequilíbrio.

2.3.2 Medição de Resistência de Malhas de Terra Desenergizada

A medição de resistência de malha de terra desenergizada, pode ser realizada através do método tradicional (método de Wenner) que consiste em medir a resistência do aterramento em função da queda de potencial usando um eletrodo de terra auxiliar, constituindo uma estrutura composta por uma haste de corrente **B**, uma haste de medição de

potencial **P** e a malha de aterramento a ser medido **A**, conforme esquematizado na Figura 36.

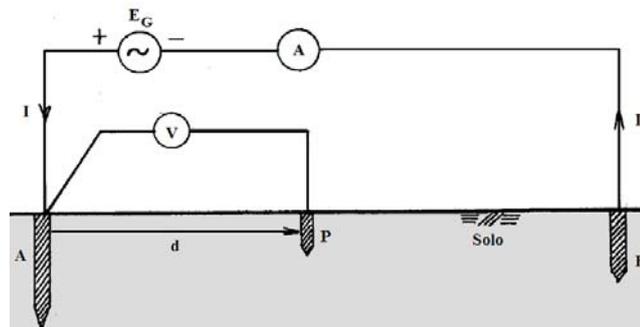


Figura 36 – Esquema para a medição da resistência de terra.

As hastes **A** e **B** são dispostas a uma distância de 100 m uma da outra e em seguida o eletrodo de potencial **P** foi cravado entre o aterramento **A** e a haste de corrente **B**, percorrendo a distância **d** em intervalos regulares de 10% do valor total da distância entre **A** e **B**, ou seja, sendo deslocada a cada 10 m. A medição de resistência de terra utilizando este método foi realizada com o auxílio do terrômetro digital modelo 6472 da *AEMC Instruments*, o qual tem capacidade de realizar o cálculo da resistência automaticamente para cada nova posição da haste **P**. A figura 37 ilustra o esquema para medição de resistência de aterramento em malhas desenergizadas utilizado pelo terrômetro digital.

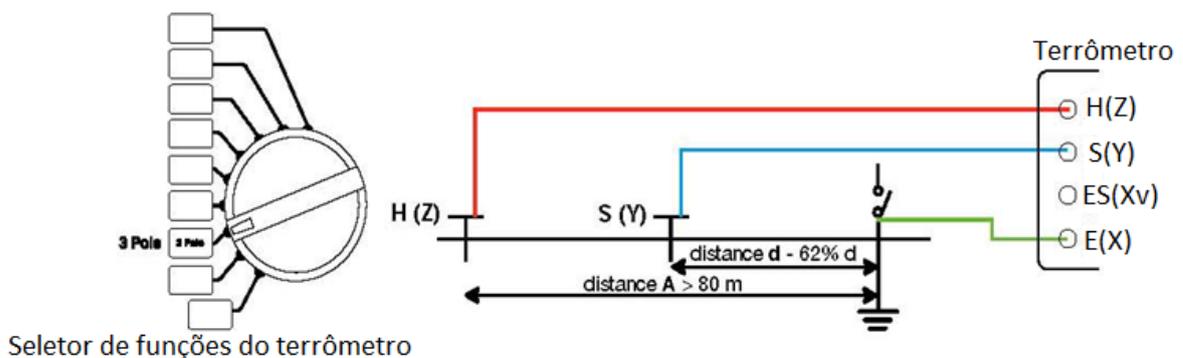


Figura 37 – Esquema para medição de resistência de aterramento em malhas desenergizadas

A partir dos valores obtidos na medição realizada na subestação de Aroeira desenergizada, pode-se desenhar a curva de resistência de terra em função da distância. A resistência da malha de terra do sistema encontra-se na região do patamar da curva obtida, como ilustrado na Figura 38.

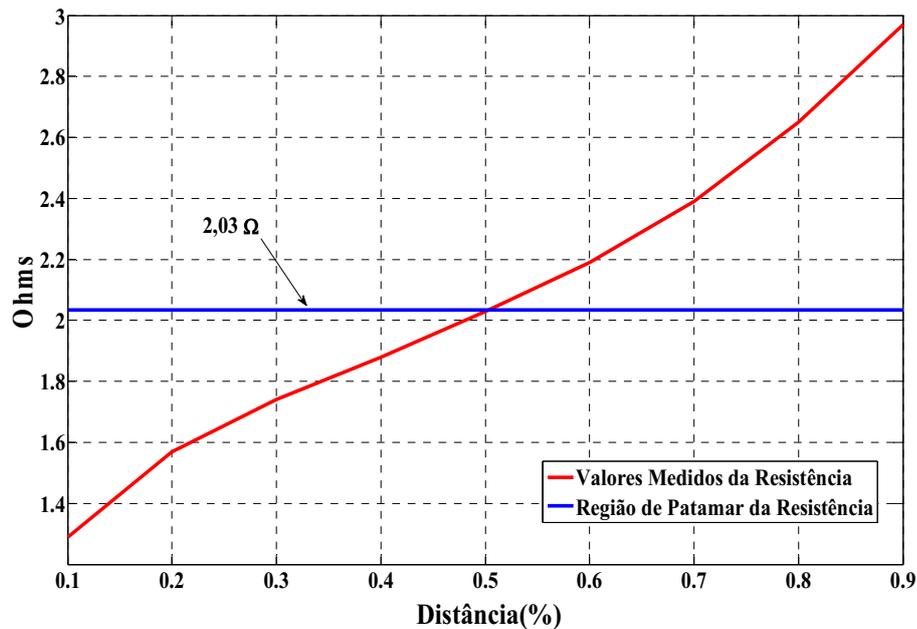


Figura 38 – Curva de resistência de terra x distância para medições na SE Aroeiras desenergizada.

Analisando o gráfico da Figura 38, conclui-se que a resistência na região de patamar foi $2,03 \Omega$, caracterizando uma situação de baixa resistência da malha de terra.

2.3.3 Ensaio com Gerador de Impulsos de Corrente

A realização do ensaio de impulsos de corrente tem como objetivo avaliar a distribuição de tensão no solo para um impulso de corrente injetado em diversos sistemas ou configurações de aterramentos, iniciando com uma haste de aterramento e evoluindo para configurações mais complexas.

O ensaio com o gerador de impulso de corrente foi realizado com as hastes de aquisição de dados dispostas em diferentes configurações, dispostas em linha e dispostas radialmente. O esquema do ensaio de impulso de corrente apresentado na Figura 39 consiste em injetar um impulso de corrente em uma haste **A** e realiza-se a aquisição de dados, através de um osciloscópio digital nas hastes **B**, **C** e **D**, as quais se encontram localizadas a certa distância da haste **A**.

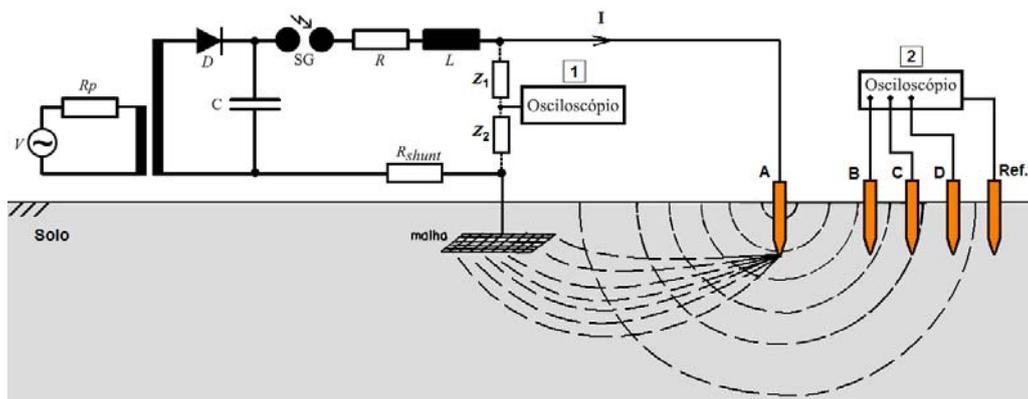


Figura 39 – Esquema do ensaio de impulso de corrente para as hastes dispostas em linha.

Em que:

- **A** – haste de injeção do impulso de corrente no solo.
- **B, C, D** – hastes para aquisição de dados, localizadas em diferentes pontos no solo.
- **Ref.** – haste de referência para o osciloscópio.
- **Osciloscópio 1** – coleta os dados no gerador de impulso de corrente.
- **Osciloscópio 2** – coleta os dados nas hastes **B, C e D**.

Inicialmente mediu-se a resistência da haste **A**, na qual neste ensaio está sendo usada para simular uma malha de terra. A medição da resistência da malha fictícia foi realizada de forma simplificada, medindo diretamente na região de patamar. Para tanto, variou-se a haste de potencial da posição correspondente a 40% da distância total até 70%, na qual a distância total, que é a distância entre a haste **A** e a haste de referência **ref.**, é de 21 m. Com isso, através de uma média simples, obteve-se o valor da resistência da haste **A** como sendo $R_A = 33,02 \Omega$. A Tabela 14 apresenta os resultados obtidos na medição de resistência de terra da haste **A**.

Tabela 14 – Medição de resistência de terra da haste **A**.

Distância	40%	50%	60%	70%	Média
R_A (Ω)	32,6	32,9	33,3	33,9	33,02

2.3.3.1 Ensaio com hastes dispostas em linha

O ensaio com hastes dispostas em linha foi montado de acordo com o esquema mostrado na Figura 39. A aquisição dos dados foi obtida diretamente nas hastes **B**, **C** e **D** através de um osciloscópio digital. As hastes encontravam-se separadas, conforme ilustrado na Figura 40. A Figura 41 apresenta a fotografia desta montagem.

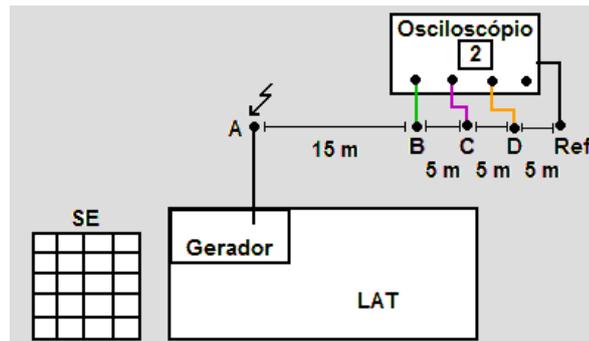


Figura 40 - Esquema para a realização do ensaio com hastes dispostas em linha.



Figure 41 – Fotografia do esquema de montagem do ensaio com hastes dispostas em linha.

No ensaio, aplicou-se na haste **A** um impulso de corrente de 4 kA, no qual a tensão de carregamento ajustada através da mesa de controle do gerador de impulso foi de 10 kV.

A Figura 42 apresenta as formas de onda da tensão no solo, obtidas nas hastes **B**, **C** e **D**, para um impulso de corrente de 4 kA injetado na haste **A**. Nos gráficos mostrados na Figura 42, as linhas em verde, rosa e laranja correspondem aos sinais obtidos nas hastes **B**, **C** e **D**, respectivamente.

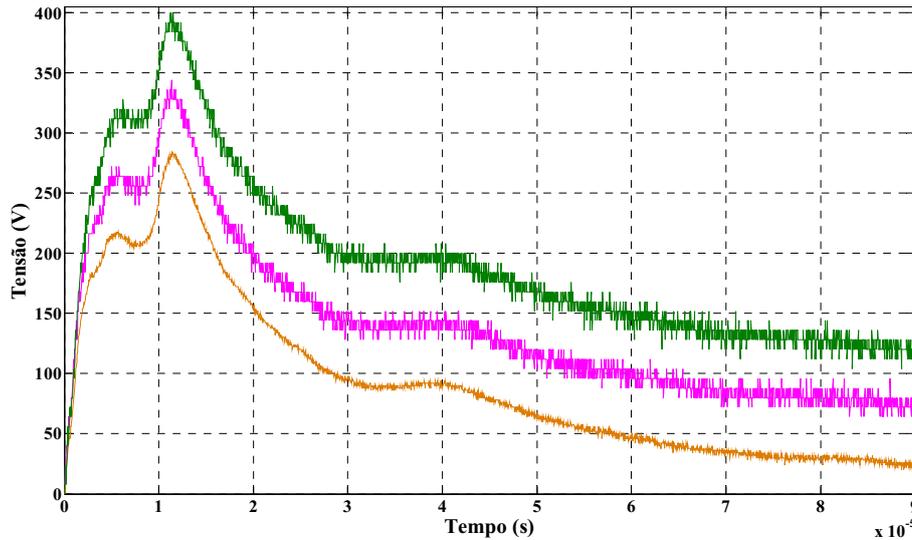


Figure 42 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (verde), C (rosa) e D (laranja), para um impulso de corrente de 4 kA injetado em uma haste A.

Nas medições em linha, verificou-se que as formas de onda do impulso se comportavam de maneira semelhante, alterando apenas a sua amplitude de acordo com o espaçamento entre as hastes.

2.3.3.1 Ensaio com hastes dispostas radialmente

O ensaio com hastes dispostas radialmente foi montado de acordo com o esquema mostrado na Figura 39e se caracterizou pela utilização de uma quarta haste, **E**, para aquisição de dados. As hastes foram dispostas radialmente conforme o esquema apresentado na Figura 43 e a aquisição de dados fora extraída nas hastes **B**, **C**, **D** e **E**, através de um osciloscópio digital.

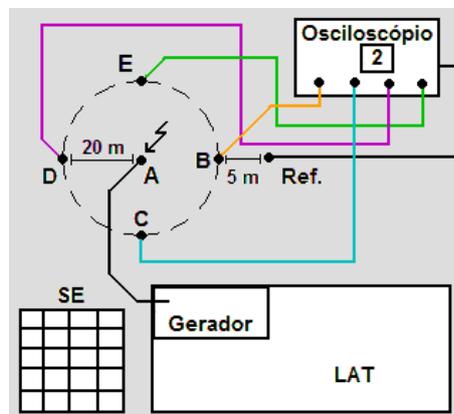


Figura 43 - Esquema para a realização do ensaio com hastes dispostas radialmente.

No ensaio, aplicou-se na haste A impulsos de corrente de 900A, 1 kA e 2 kA no qual a tensão de carregamento ajustada através da mesa de controle do gerador de impulso foi de 10 kV, 15 kV e 20 kV, respectivamente..

As Figuras 44, 45 e 46 apresentam, respectivamente, as formas de onda da tensão no solo, obtidas nas hastes B, C, D e E, para os impulsos de corrente injetados na haste A. Nos gráficos mostrados a seguir (Figuras 44, 45 e 46), as linhas em laranja, azul, rosa e verde correspondem aos sinais obtidos nas hastes B, C, D e E, respectivamente.

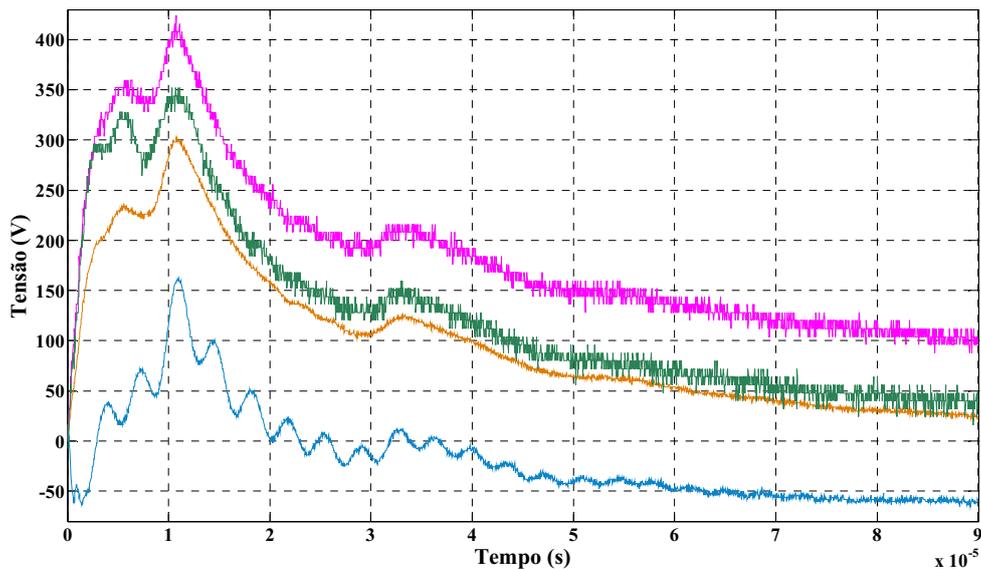


Figura 44 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (laranja), C (azul), D (rosa) e E (verde), para um impulso de corrente de 900A injetado em uma haste A.

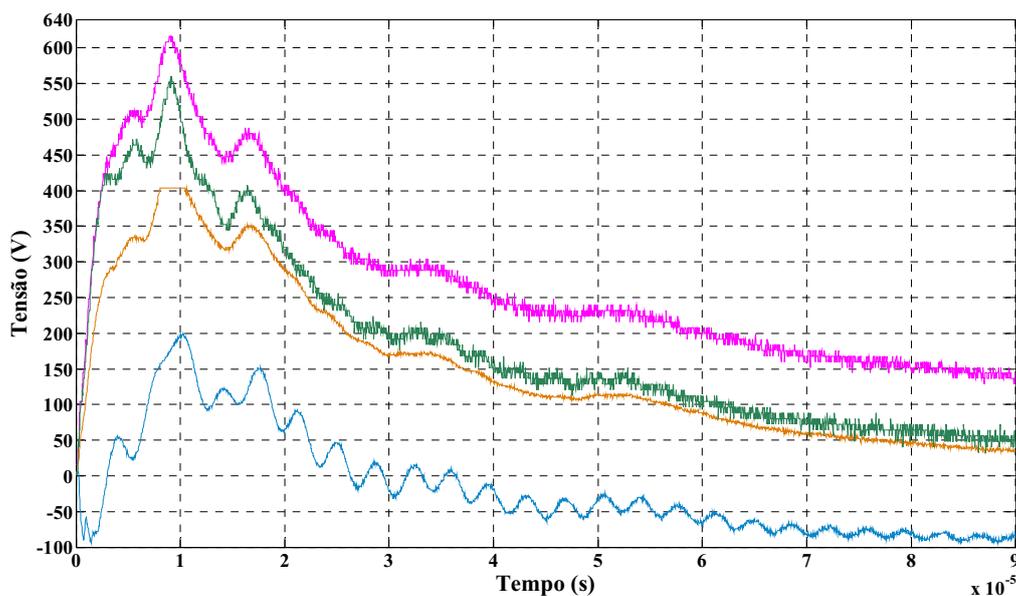


Figura 45 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (laranja), C (azul), D (rosa) e E (verde), para um impulso de corrente de 1 kA injetado em uma haste A.

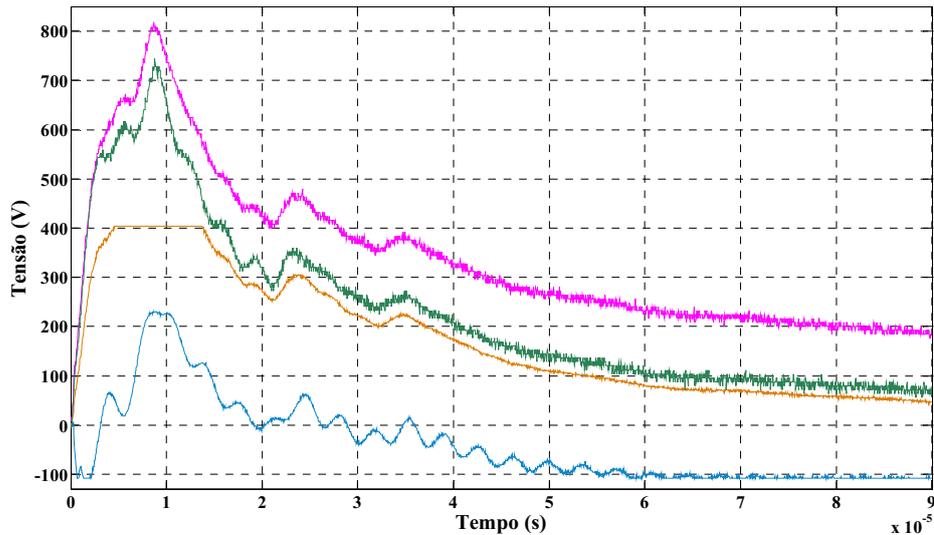


Figura 46 – Comportamento da tensão no solo obtidas nas hastes B (laranja), C (azul), D (rosa) e E (verde), para um impulso de corrente de 2 kA injetado em uma haste A.

Na medição radial foi possível observar que devido à heterogeneidade do solo nas regiões onde se encontravam as hastes de medição de potencial, as formas de onda do impulso se propagavam de forma diferenciada.

2.3.4 Medidor de Potencial

Um sistema eletrônico de medição de potencial em malhas de aterramento de subestações energizadas está sendo projetado e desenvolvido pela equipe da UFCG, principalmente por mim, como parte do Projeto de Pesquisa e Desenvolvimento intitulado “Avaliação das Condições de Malha de Aterramento em Instalações Energizadas”. O sistema deverá ser capaz de medir e armazenar valores de quarenta pontos de medição distribuídos ao longo da malha. Ele também deverá ter a capacidade de se comunicar com o microcomputador para a transferência dos dados. Os valores adquiridos serão tratados e analisados em um software especificamente desenvolvido para este fim. O software é baseado no Método das Diferenças Finitas, onde deverão ser gerados gráficos em 2D e 3D, para avaliação das condições da malha de terra em análise.

O hardware proposto é formado por:

- Condicionador de sinal;
- Sistema de proteção contra sobretensão;
- Multiplexador das leituras;

- Digitalizador dos valores;
- Sistema de comunicação com microcomputador.

Por se tratar de uma técnica inovadora, realizou-se um estudo prévio através de medições de potenciais nas subestações (SE) de Aroeira e Mataraca, com o intuito de estimar o comportamento do sinal que será medido pelo equipamento. A estimação será útil para que o sistema de proteção do equipamento seja devidamente dimensionado, bem como os demais dispositivos eletrônicos que farão parte do sistema de aquisição.

Para a realização do estudo prévio utilizou-se o osciloscópio e hastes de cobre como ferramentas de medição dos potenciais da malha de aterramento. Primeiramente determinou-se uma referência que equivale a um ponto bem distante da malha. Em seguida realizaram-se as medições com auxílio do osciloscópio em diferentes pontos localizados na parte externa e interna da malha. Foram utilizadas as hastes de cobre para estabelecer o contato com o solo. Na Figura 47 é apresentado o esquema de medição aplicado nas subestações citadas acima.

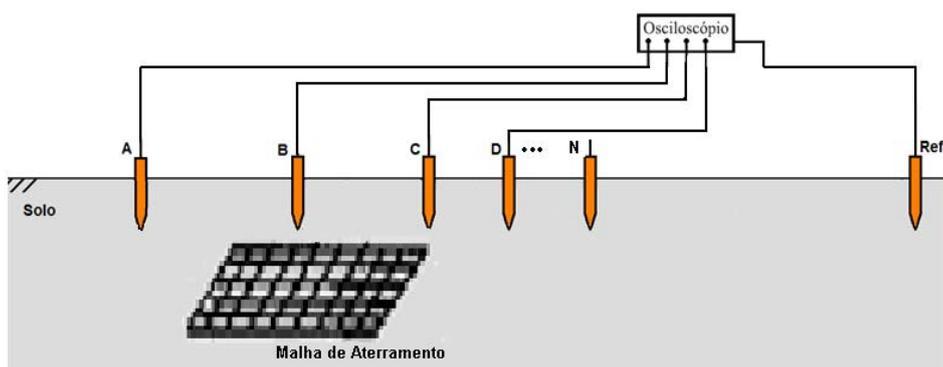


Figura 47 – Esquema inicial de medição dos potenciais ao redor da malha.

As medições realizadas nas subestações de Aroeiras e Mataraca demonstraram que os sinais medidos são senoides distorcidas. Estas distorções são resultados da presença de harmônicos no sinal. Constatou-se que a máxima tensão de pico medida na subestação de Mataraca foi de 170,0 V de pico e na subestação de Aroeiras foi de 15,6 V de pico. A Figura 48 apresenta o resultado de uma das medições executadas na subestação (SE) de Aroeiras e a Figura 49 corresponde ao resultado da medição realizada na subestação (SE) de Mataraca.

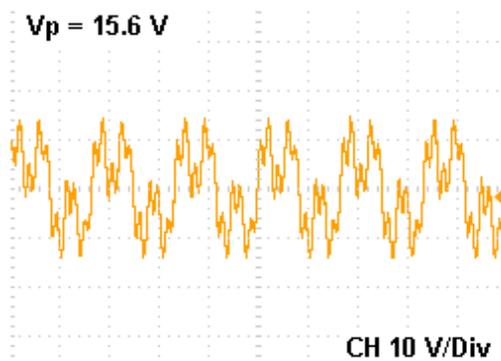


Figura 48 – Resultado da medição realizada na SE Aroeiras.

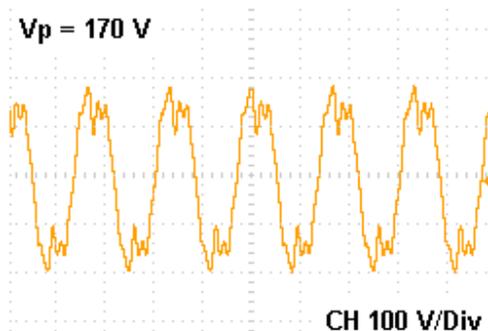


Figure 49 – Resultado da medição realizada na SE Mataraca.

2.3.4.1 Sistema Proposto

O sistema de medição proposto neste trabalho será usado para realizar as medições dos potenciais internos e externos de malhas de terra. Ele terá a capacidade de medir um total de 40 pontos distintos, onde os valores de tensões medidos serão transmitidos para o computador para posterior análise. O sistema é formado basicamente por:

- Microcontrolador PIC18F4550;
- 5 Chaves analógicas;
- 40 Circuitos detectores de pico;
- 40 Optoacopladores;
- 40 Circuitos divisores de tensões.

A Figura 50 apresenta a arquitetura do sistema.

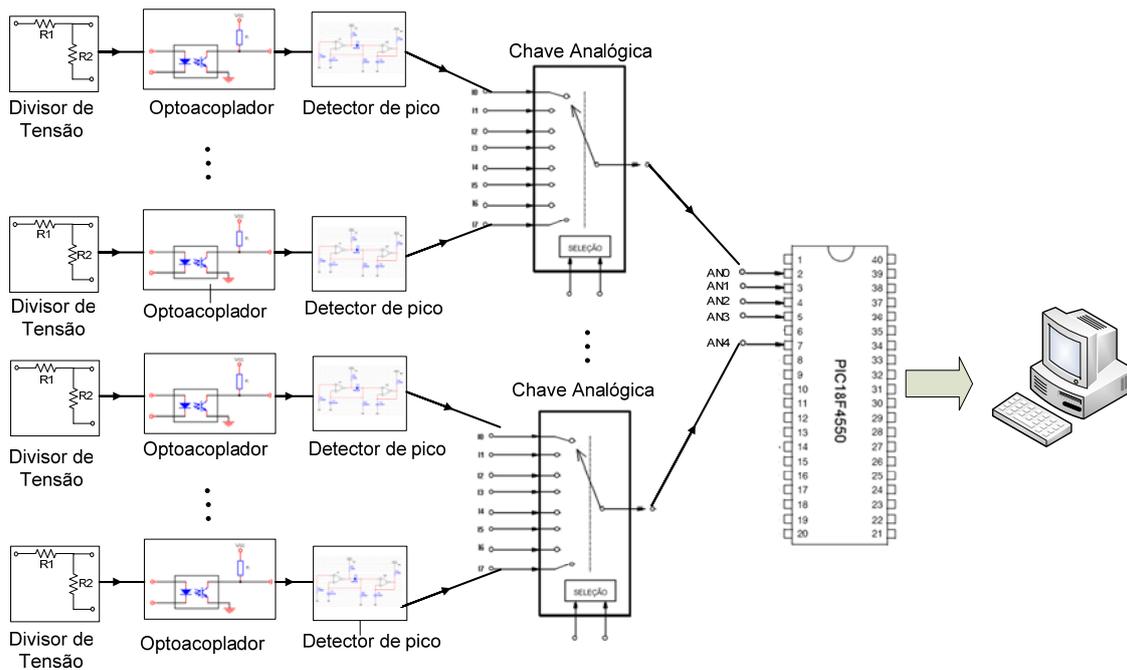


Figura 50 – Diagrama esquemático do sistema de aquisição.

Para um melhor entendimento da arquitetura proposta, dividiu-se o sistema em blocos funcionais como representado pela Figura 51. Mais adiante, cada bloco será explicado detalhadamente.

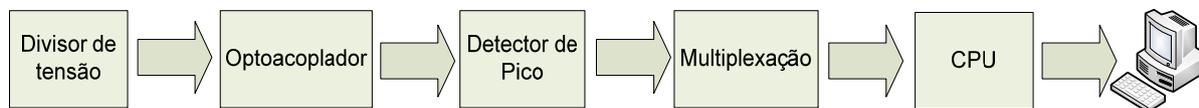


Figura 51 – Diagrama de blocos funcionais do sistema.

2.3.4.2 Divisor de Tensão

O circuito divisor de tensão resistivo tem como função reduzir a magnitude do sinal de entrada. Este circuito realiza a conversão do sinal de entrada em um sinal proporcionalmente menor, entre 0 V quando a tensão de entrada for 0 V, e 4,5 V, quando na entrada do circuito estiver o valor máximo de tensão para o qual o divisor foi projetado.

O divisor de tensão resistivo é muito utilizado em circuitos eletrônicos como forma de disponibilizar múltiplas tensões geradas como réplicas escaladas da mesma tensão de entrada. No entanto, deve-se ter a atenção de dimensionar o divisor resistivo de forma que não distorça significativamente o valor da tensão de saída.

O divisor de tensão é baseado na idéia de que em qualquer circuito em serie a tensão é diretamente proporcional a resistência. Na Figura 52 é mostrado o esquema elementar do

divisor de tensão. A tensão de saída que se caracteriza pela queda de tensão no resistor R2, é dado pela Equação 1.

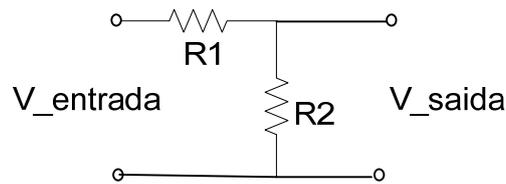


Figura 52 – Esquema elementar do divisor de tensão.

$$V_{\text{saida}} = \frac{R2}{R1 + R2} V_{\text{entrada}}. \quad (1)$$

No sistema proposto, como os níveis de tensão variam a cada subestação avaliada, será implementado um divisor para diferentes níveis de tensão sempre garantindo a faixa de 0 V a 4,5 V na saída do circuito, assegurando a precisão da conversão do sinal que será realizada posteriormente. A escolha dos níveis de tensão será realizada através de chaves seletoras. A escolha do nível será determinada por uma pré-verificação do sinal através de osciloscópio ou multímetro.

2.3.4.3 Optoacopladores

Os Acopladores Ópticos ou Optoacopladores são componentes muito simples, porém de grande importância para a eletrônica. Eles são capazes de isolar com total segurança dois circuitos eletrônicos, mantendo uma comunicação ou controle entre ambos. O seu funcionamento é simples: há um emissor de luz (geralmente um LED) e um receptor (fototransistor). Quando o LED está aceso, o fototransistor responde entrando em condução. Com o LED apagado o fototransistor entra em corte. Os Acopladores Ópticos possuem diversas vantagens, dentre elas destacam-se: alta velocidade de comutação, baixo consumo e isolamento total. Na Figura 53 vê-se o esquema funcional de um optoacoplador:

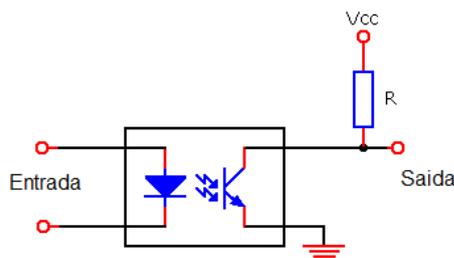


Figura 53 – Esquema funcional do optoacoplador.

Esta etapa do sistema tem a função de proteger os circuitos de chaveamento e os circuitos microprocessadores contra prováveis surtos de corrente ou tensão, pois proporciona o isolamento total entre a parte do sistema responsável pelo condicionamento do sinal de entrada, na faixa de 0 V– 4,5 V, e a parte responsável pelo microprocessamento do sinal.

2.3.4.4 Detector de Pico

A função de um detector de pico é determinar ou medir o valor da tensão de pico da entrada (V_i) na saída, ou seja, $V_o = V_{pico}$. Para se obter o valor de pico, o circuito projetado deve monitorar a tensão de entrada até que a tensão de pico seja alcançada. O valor de pico é detectado e armazenado. O armazenamento do valor de pico deve ser mantido por um tempo suficiente para a sua digitalização. Após este tempo, um novo valor de pico pode ser adquirido. A Figura 54 demonstra graficamente como seria a saída do detector de pico. A linha preta seria o sinal de entrada (V_i), enquanto a linha azul representa o sinal de saída (V_o).

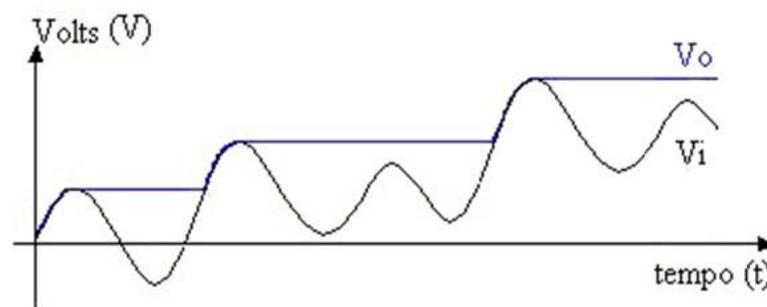


Figura 54 - Gráfico do funcionamento do detector de pico.

O circuito detector de pico é construído com o uso de amplificadores operacionais, podendo-se obter um circuito detector de pico de precisão capaz de obter bons resultados mesmo para sinais com níveis de tensão pequenos na ordem de milivolts. Na Figura 55 é apresentado o circuito detector de pico de precisão.

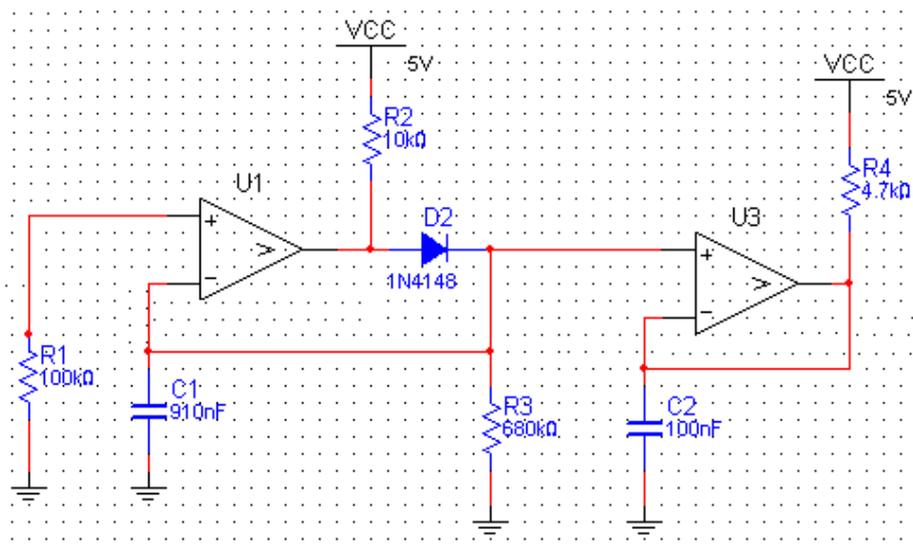


Figura 55 – Circuito detector de pico de precisão.

O circuito da Figura 55 tem a função de detectar os valores de pico dos sinais de tensão da saída do divisor de tensão, gerando um sinal contínuo (CC), para cada pico. O valor de tensão estará na faixa de 0 V a 4,5 V e será posteriormente multiplexado, digitalizado e analisado via software.

2.3.4.5 Multiplexação

O objetivo do sistema de medição é executar a leitura de quarenta pontos distribuídos ao longo da malha. As chaves analógicas têm como função multiplexar oito pontos de medição em um único canal. A utilização das chaves analógicas reduz a complexidade do sistema e o número de canais analógico/digitais (AD) utilizado do microcontrolador PIC, possibilitando ao sistema uma possível ampliação do número de pontos medidos. No sistema proposto serão utilizados apenas cinco canais analógico/digitais (AD) do microcontrolador PIC, cada um executando a aquisição de 8 sinais. Na Figura 56 é mostrado o esquema do sistema da multiplexação.

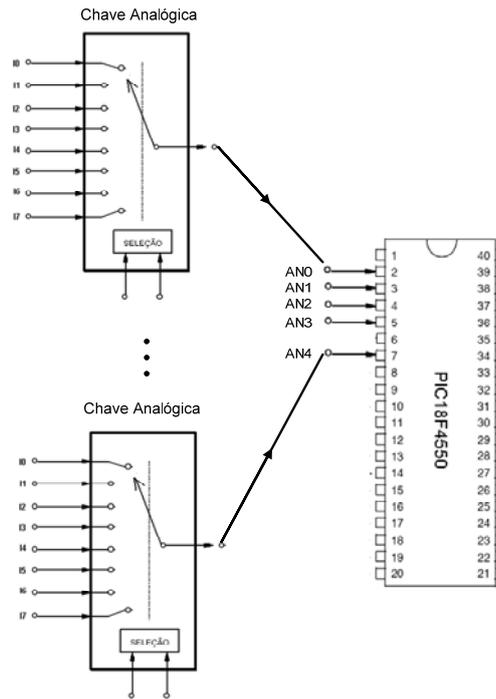


Figura 56 – Esquema do sistema de multiplexação.

A chave analógica selecionada foi o chip CD4051 por apresentar uma rápida resposta de chaveamento. O CD4051 tem a capacidade de selecionar um dos sinais analógicos de “entrada” para uma “saída”. Desta forma, podem-se conectar sensores de entrada, selecionar a entrada escolhida (através de sinais digitais) e obter na “saída” o sinal do sensor selecionado e conectá-lo a entrada do conversor Analógico Digital (ADC). No caso específico do CD4051, ele permite que até oito sensores sejam conectados no chip. Na Figura 57 é mostrado um diagrama funcional do chip CD4051 que possui três entradas de controle, uma de habilitação e oito canais de I/O.

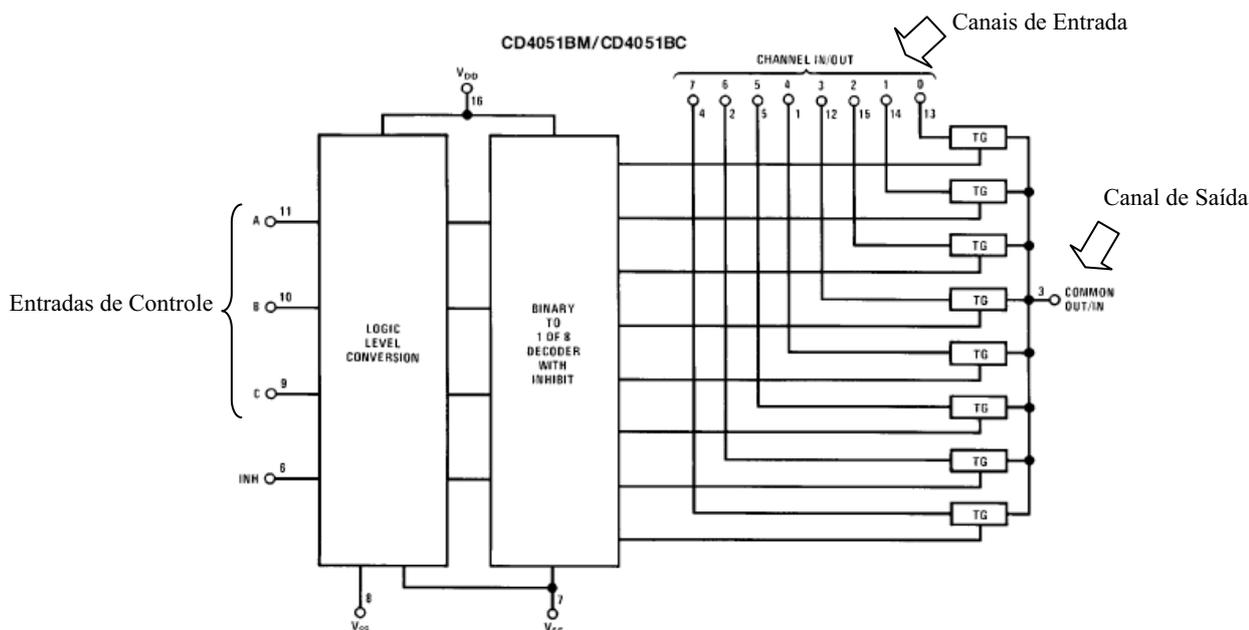


Figura 57 – Diagrama funcional CD4051.

O controle de chaveamento é coordenado pelo microcontrolador PIC através de sinais lógicos enviados à chave após cada conversão analógica digital dos sinais. O número de canais usados pode ser configurado via hardware. Os sinais de controle são gerados de modo que apenas os canais correspondentes sejam usados, diminuindo o tempo de leitura de cada canal.

2.3.4.6 CPU (Unidade Central de Processamento)

A Unidade Central de Processamento do sistema é formada por um microcontrolador PIC18F4550 pertencente à família PIC18 do Microchip e pode funcionar a uma velocidade de até 48 MHz. A escolha de utilização do PIC 18F4550 justifica-se pela sua capacidade de estabelecer a comunicação via USB, pois o mesmo tem a porta USB integrada no próprio chip, e também por apresentar uma grande capacidade de memória. Na Figura 58 é mostrado o diagrama de pinos do chip do microcontrolador.

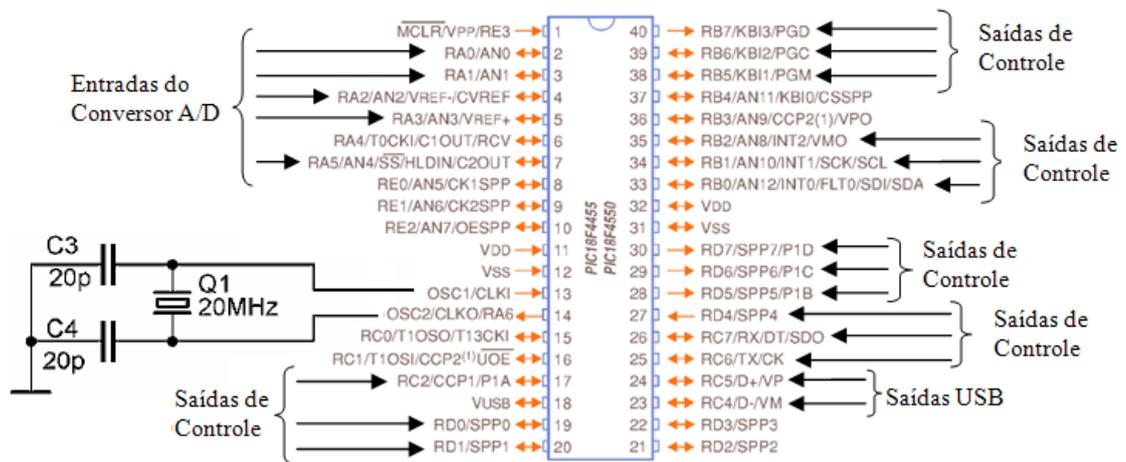


Figura 58 – Diagrama de pinos do PIC 18F4550.

A CPU é responsável pela execução das seguintes tarefas:

- Digitalização dos valores de tensão de cada ponto medido na malha;
- Gerenciamento do processo de armazenamento de dados e a exibição dos parâmetros em display LCD;
- Interface de comunicação USB entre o hardware e o microcomputador.

O microcontrolador 18F4550 possui oito canais de conversão analógico/digital com 10 bits cada. Destes apenas cinco serão utilizados, e cada um será responsável pela leitura de oito pontos de medição.

2.3.4.7 Sistema de alimentação do sistema

As medições serão realizadas em campo e normalmente serão feitas em locais com pouco acesso a pontos de tomada. Isso dificulta a alimentação do aparelho via fonte convencional de 60 Hz. Para solucionar este problema, será implementado um sistema de alimentação por baterias recarregáveis. O aparelho possuirá um circuito carregador incorporado.

Depois de especificados todos os blocos funcionais que irão compor o sistema eletrônico de medição de potencial em malhas de aterramento de subestações energizadas, as etapas de montagem do protótipo do sistema e da programação do microcontrolador PIC foram iniciadas.

Em seguida serão realizados testes em laboratório com o intuito de verificar a suportabilidade do sistema quando submetido a situações adversas, como por exemplo, sobretensões. Por fim, o sistema de medição será submetido a teste em campo.

Capítulo III: Conclusão

O estágio realizado contribuiu bastante para o aumento da experiência da aluna, pois as atividades desenvolvidas envolveram áreas diversas da engenharia, como por exemplo: manutenção dos transformadores de potencial capacitivos (TPC), realização de ensaios elétricos em diversos equipamentos de manutenção de linha viva e desenvolvimento de um sistema eletrônico de medição de potencial em malhas de aterramento de subestações energizadas.

Os ensaios realizados nos TPC após os reparos efetuados pelo técnico da TRENCH ITALIA (SIEMENS) comprovaram que seu problema de aquecimento foi solucionado.

A necessidade crescente de manutenção em redes energizadas tem tornado os ensaios de avaliação das ferramentas para manutenção em linha viva de fundamental importância.

Os ensaios sugeridos pelas normas regulamentadoras são ensaios qualitativos, onde o material ensaiado poderá atender ou não aos requisitos mínimos exigidos pelas normas. Os ensaios submetem o material a um esforço intenso que poderá causar um envelhecimento precoce do material ensaiado, por isso devem ser realizados em laboratórios altamente credenciados.

A medição da resistência na subestação energizada em Aroeira foi realizada com o auxílio das pinças amperimétricas AEMC 6472, os valores obtidos foram pequenos e aproximados, o que mostra que a malha da subestação está em boas condições. Entretanto foi medida uma corrente alta, em torno de 13 A, no neutro do transformador. A detecção de uma corrente alta no neutro do transformador indica que as fases do transformador apresentam certo desequilíbrio.

Após a análise dos gráficos obtidos no ensaio de impulso, concluiu-se que o impulso de corrente gera sinais de tensão proporcional a ele ao longo do solo. Nota-se que a forma de onda das tensões medidas tem o formato bem parecido com o do impulso aplicado e vão diminuindo à medida que se distanciam do ponto de aplicação. Isso ocorre devido ao aumento da resistência do solo com a distância.

Durante a realização dos ensaios de impulso, verificou-se a necessidade da criação de um sistema de aquisição de dados para capturar simultaneamente os valores de tensão em diversos pontos da malha. O projeto deste sistema de aquisição foi desenvolvido durante o estágio.

Referências Bibliográficas

- ENDRENVY, J., *Evaluation of Resistivity Tests for Design of Station Grounds in Nonuniform Soil*, AIEE Trans., paper 63-159, 1962.
- FILHO, S. V., *Aterramentos Elétricos*, Artliber Editora Ltda, 2005.
- GERI, A., *Behavior of grounding systems excited by high impulse currents: the model and its validation*, IEEE Trans. On Power Delivery, vol. 14, no. 13, pp. 1008-1017, July 1999.
- GRCEV, L., DAWALIBI, F., *An electromagnetic model for transients on grounding system*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 5, pp. 1773-1781, 1993.
- GUO, J., ZUO, J., ZHANG, B. AND GUAN, Z. C., *An Interpolation Model to accelerate the Frequency-Domain Response Calculation of Grounding Systems Using the Method of Moments*, IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 21, nº 1, 2006.
- IEEE Std 81 - 1983, *IEEE Guide for Measuring Earth Resistivity, Ground Impedance, and Earth Surface Potentials of a Ground System*;
- INSTITUTE OF ELECTRICAL AND ELECTRONICS ENGINEERS, *Guide for Measuring Ground Resistances and Potential Gradients in the Earth*, IEEE STD 80, 1976 (Revised 1986).
- KINDERMANN, G., *Aterramento Elétrico*, Ed. Sagra Luzatto, 2002.
- MATTOS, M. A., *Técnicas de Aterramento*. Okime Eletromagnetismo Aplicado, 2004.
- MANUAL DE INSTRUÇÕES TÉCNICAS, *Procedimentos de Ensaios de Ferramentas e Equipamentos de Linha Viva*, COPEL Distribuição, MIT161703, 2006.
- NR-10 Norma Regulamentadora, *Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*, Portaria n.º 598, de 07/12/2004.
- NBR 122 *Luvas de segurança*
- NBR 14540 *Bastão e escada isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada Transmissão*
- NBR 10622 *Luvas isolantes de borracha*
- NBR 10624 *Luvas isolantes de borracha - Dimensões*
- NBR 10623 *Mangas isolantes de borracha*
- NBR 11854 *Bastão isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição*
- NBR 5720 *Coberturas sólidas*
- NBR 11855 *Plataforma isolante para trabalho em redes energizadas de distribuição*
- NBR 13018 *Corda para trabalho em instalação energizada - Transmissão*
- NBR 14540 *Bastão e escadas isolantes e ferragens para trabalho em instalação energizada – Transmissão*.