



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



IGOR DE SOUSA MEDEIROS TORRES

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

Campina Grande

Outubro de 2012

IGOR DE SOUSA MEDEIROS TORRES

RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO

*Relatório de Estágio Supervisionado submetido à
Unidade Acadêmica de Engenharia Elétrica da
Universidade Federal de Campina Grande como parte
dos requisitos necessários para a obtenção do grau de
Bacharel em Engenharia Elétrica.*

Aprovado em / /

Igor de Sousa Medeiros Torres
Aluno

Professor Avaliador
Universidade Federal de Campina Grande

Edson Guedes da Costa, Dr. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande

Agradecimentos

Agradeço primeiramente a meus pais, Geni de Sousa Medeiros Torres e José de Medeiros Torres, pelo incontestável suporte durante toda minha vida, seja materialmente ou afetuosamente.

Às minhas irmãs, Camila e Isabelle, pelo apoio e paciência jamais negados ao longo da minha vida.

Aos meus tios e primos, como Newton Fonsêca, pela assistência e companheirismo durante essa jornada.

Ao coordenador do Laboratório de Alta Tensão (LAT), Genoilton C. Almeida, pela oportunidade de estágio.

Ao Laboratório de Alta Tensão e ao Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas por permitir o uso de suas instalações.

Ao meu Professor Edson Guedes da Costa, pela orientação não somente durante o meu estágio, mas também durante minha vida acadêmica, sempre me oferecendo oportunidades para aprofundar meus estudos e experiência através de projetos de P&D.

Ao Professor Euler Cássio Tavares de Macêdo, pelo direcionamento, suporte, ideias e auxílio nas atividades do estágio que tanto ajudaram a engrandecer essa experiência.

Aos professores do Departamento de Engenharia Elétrica (DEE) que contribuíram, sempre de forma prestativa, para a construção do conhecimento que hoje possuo.

Aos funcionários do DEE, especialmente os do LAT, que foram peças fundamentais para o sucesso da realização das atividades pertinentes ao estágio e à minha graduação.

E a todos os inestimáveis amigos que fiz durante a graduação.

Lista de Figuras

Figura 1 - Salão de Alta Tensão	9
Figura 2 - Gerador de Impulso de Corrente.....	10
Figura 3 - Kit de Alta Tensão	11
Figura 4 - Ensaio do Liner	13
Figura 5 - Ensaio de Luva de Borracha	14
Figura 6 - Ensaio de Manga Isolante.....	15
Figura 7 - Ensaio de Cabo Isolado.....	15
Figura 8 - Eletrodo de Guarda [4]	16
Figura 9 - Manga isolante reprovada. Nota-se ponto carbonizado devido a defeito de isolamento.....	17
Figura 10 - Condutivímetro (esquerda) e solução salina (direita) com bauxita	18
Figura 11 - Para-raios borrifado com solução salina.....	18
Figura 12 - Esquema do ensaio realizado.....	19
Figura 13 - Pastilhas de ZnO do para-raios	19
Figura 14 - Ensaio para medição de DP	20
Figura 15 - Pastilha de Fenolite.....	21
Figura 16 - Dispositivo para armazenamento do bloco de fenolite.....	22
Figura 17 - Software LDS-6 no notebook que está sobre o detector de DP.....	23
Figura 18 - Tela do osciloscópio	23
Figura 19 - Equipamento para monitoramento de corrente de fuga em para-raios ZnO	24
Figura 20 - Antena Bicônica na posição vertical.....	25
Figura 21 - Antena Bicônica na posição horizontal	25
Figura 22 - Leitura do Espectrômetro.....	26
Figura 23 - Leitura do Espectrômetro.....	26
Figura 24 - LNA (à esquerda) e antena Discone	27
Figura 25 - Leitura do Espectrômetro sem LNA	27
Figura 26 - Leitura do Espectrômetro com LNA	28
Figura 27 - Antena Espinha de Peixe - Posição normal à terra	29
Figura 28 - Antena Espinha de Peixe - Posição horizontal	29
Figura 29 - Leitura do Espectrômetro - Vertical	30
Figura 30 - Leitura do Espectrômetro - Normal à terra.....	30

Figura 31 - Leitura do Espectrômetro – Horizontal	30
Figura 32 - Terrômetro	32
Figura 33 - Sensor de Tensão e Corrente	33
Figura 34 - Tela do osciloscópio e circuito montado. Um ciclo representa duas leituras.	34
Figura 35 - Amplificador Não-Inversor.....	34
Figura 36 - Circuito Sensor de Tensão	35
Figura 37 - Circuito de Alimentação	35
Figura 38 - Circuito Sensor de Corrente.....	36
Figura 39 - Placa do PIC - Vista superior.....	36

Sumário

1.Introdução	7
2.O Laboratório de Alta Tensão	8
• Salão de Alta Tensão	9
• Laboratório de Materiais Elétricos	9
• Laboratório de Sistemas Elétricos	10
• Gerador de Impulso de Corrente	10
• Kit de Alta Tensão.....	10
• Laboratório de Instalações Elétricas.....	11
• Laboratório de Sistemas de Potência.....	11
3.Atividades Realizadas.....	12
3.1- Ensaio em Laboratório.....	12
3.1.1 – Ensaio para a Energisa Borborema	13
3.1.2 – Ensaio de Para-raios.....	17
3.1.3 – Descargas Parciais	20
3.2 - Medições na Subestação Campina Grande II.....	24
3.2.1 Bicônica	25
3.2.2 Discone	26
3.2.3 Espinha de Peixe	28
3.3 – Medições na Subestação de Treinamento da Energisa	31
3.4 – Projeto e Montagem de Equipamento Medidor de Potência	33
4 – Conclusões	37
5 – Referências Bibliográficas	39

Anexos	40
Esquemático PIC	40
Esquemático – Retificadores	41
Esquemático – Visor LCD.....	41
Placa PIC	42
Sensor de Corrente.....	42
Sensor de Tensão	42
Circuito de Alimentação	43
Esquemático do Circuito de Alimentação	43

1. Introdução

A formação do engenheiro no Brasil é caracterizada pela assimilação de conhecimentos de caráter teórico e prático. O estágio é, portanto, um componente curricular que assegura a prática da engenharia em caráter definitivo, onde o futuro engenheiro é submetido a novas situações que futuramente poderão ser sua rotina de trabalho.

Este relatório diz respeito às atividades de Estágio Supervisionado, realizado no Laboratório de Alta Tensão (LAT) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) pelo aluno Igor de Sousa Medeiros Torres como forma de adquirir os conhecimentos finais necessários à obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Além do acompanhamento de ensaios de alta tensão junto com o corpo técnico do laboratório, foram realizadas medições de campo na subestação Campina Grande II da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf) e na subestação de treinamento da Energisa Paraíba, em João Pessoa, Paraíba. Também foi feito o projeto e montagem

de um equipamento de medição de potência em parceria com o Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas (LIMC).

2. O Laboratório de Alta Tensão

O Laboratório de Alta Tensão (LAT) do DEE 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 1050 m² e um corpo bem qualificado e experiente de docentes/pesquisadores que constituem o Grupo de Alta Tensão. O LAT está sob a coordenação do professor Genoilton Carvalho [1]. O laboratório possui equipamentos de ponta que são empregados nos mais variados tipos de pesquisa, sempre envolvendo parcerias entre empresa e universidade.

Nas dependências do LAT podemos encontrar o Grupo de Sistemas Elétricos. O Grupo de Sistemas Elétricos (GSE) da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) 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. [2]

Nos últimos anos várias empresas têm buscado os serviços especializados do LAT, principalmente por conta da lei 9.991/2000 que obriga concessionárias e geradoras de energia elétrica a investir parte de suas receitas em pesquisas. Entre essas empresas pode-se citar a Energisa, CEAL, CEMEC, Petrobras, Chesf, etc.

Nas dependências do LAT estão instalados os seguintes laboratórios:

- Salão de Alta Tensão
 - Abriga dois transformadores em cascata que, ao receber tensão de 0 a 1 kV, elevam-na para até 600 kV, com corrente de até 1A. Possui equipamentos de controle da tensão, para simulação de descarga atmosférica (até 700 kV) na forma de impulso de tensão e um ambiente controlado de simulação de condições de umidade elevada. A leitura da tensão é realizada por um Voltímetro de Pico Hafelly através de um divisor de tensão capacitivo que fornece um sinal de tensão proporcional ao sinal aplicado na saída do transformador.



Figura 1 - Salão de Alta Tensão

- Laboratório de Materiais Elétricos
 - Este é um laboratório de ensino na graduação que utiliza as dependências do LAT, especificamente o Salão de Alta Tensão e o Kit de Alta Tensão para realização de experimentos como estudo da distribuição de tensão em cadeia de isoladores, medição da capacitância e perdas em dielétricos, estudo da descarga em gases e outros.

- Laboratório de Sistemas Elétricos
 - Também um laboratório de uso da graduação, nesse laboratório são feitos experimentos com circuitos trifásicos como a aplicação dos métodos dos wattímetros para determinação de potência ativa e reativa e outros. As dependências desse laboratório são compartilhadas com as do Laboratório de Instalações Elétricas.
- Gerador de Impulso de Corrente
 - A sala do Gerador de Impulso de Corrente abriga um equipamento de mesmo nome capaz de fornecer uma corrente impulsiva de magnitude até 100 kA, 100 kV e 80 kJ. Nesse laboratório são feitos diversos ensaios, principalmente com para-raios e injeção de corrente em malha de aterramento.



Figura 2 - Gerador de Impulso de Corrente

- Kit de Alta Tensão
 - O Kit é um conjunto de equipamentos composto de transformador de 5 kVA – 50mA que eleva a tensão de 0 a 100kV à partir de uma entrada de 220V. A tensão é controlada por uma mesa que aciona um regulador de tensão por comandos manuais. No painel encontra-se a informação de tensão em um voltímetro de pico obtida por um divisor capacitivo. O kit possui ainda capacitores, resistores, diodos e kits didáticos de experimentos em alta tensão com configurações ponta-plano e outros.



Figura 3 - Kit de Alta Tensão

- Laboratório de Instalações Elétricas
 - Nesse laboratório são realizadas montagens referentes à disciplina de graduação “Instalações Elétricas”. As configurações montadas dizem respeito às instalações prediais, em conformidade com a NBR 5410, e instalações industriais, onde são realizadas montagens de esquemas de partidas de motores com contadores das mais variadas formas.

- Laboratório de Sistemas de Potência
 - É um laboratório de informática que possui computadores onde os alunos de graduação desempenham suas atividades. Fundado após doação de um computador pelo governo Alemão em 1986, no Laboratório de Sistemas de Potência (LSP) são feitas simulações de campo elétrico em isoladores, construção de redes neurais artificiais, simulações com modelos do sistema elétrico, entre outros.

3. Atividades Realizadas

Ao longo do estágio foram realizadas diversas atividades, entre elas, podemos citar: Ensaios em laboratório acompanhados no período do estágio foram de equipamentos de propriedade da Energisa Borborema, Para-Raios com o aluno Valdemir da Silva Brito e de Descargas Parciais com o aluno Euler Cássio Tavares de Macêdo, ambos matriculados em cursos de pós-graduação em Engenharia Elétrica na UFCG. Além disso, foi feito o acompanhamento de visitação para medição à subestação Campina Grande II, e acompanhamento de visitação para medição à subestação de treinamento da Energisa Paraíba, em João Pessoa, além do design, projeto e montagem de um wattímetro digital para uso do LAT.

3.1- Ensaios em Laboratório

3.1.1 – Ensaio para a Energisa Borborema

Além de ser uma exigência da ANEEL, os ensaios realizados nos equipamentos da Energisa Borborema são também obrigações da empresa junto ao Ministério do Trabalho que, através da Norma Regulamentadora 10 (NR-10), demanda que todos Equipamentos de Proteção Individual (EPI) sejam regulamente testados para evitar acidentes que possam comprometer vidas humanas.

Dessa forma, os ensaios foram realizados com esses equipamentos com o objetivo de detectar correntes de fuga que ultrapassem limites previamente determinados, condicionando o material então à aprovação ou reprovação.

Para realizar os ensaios foram empregados Gerador de Tensão AC, 600 kV- 1,0 A, Divisor de Tensão Capacitivo / Voltímetro de Pico Hafelly, Multímetro Digital MINIPA e Termo-Higrômetro MINIPA. [3]

Os equipamentos ensaiados no laboratório, com suas respectivas condições de reprovação, são apresentados a seguir:

- Lança Isolante
 - Corrente de fuga máxima para ensaio a seco: 100 μ A
 - Medidos de 10 em 10 kV até 100 kV
- Liner Isolante (caçamba)
 - Tensão 30 kV por 1 minuto



Figura 4 - Ensaio do Liner

- Cobertura Protetora para Condutor (rígida e flexível):

Tabela 1

Classe	Tensão de Ensaio (Por 1 minuto) kV
00	2,5
0	5
1	10
2	20
3	30
4	40

- Lençol Isolante
 - Obedece a tabela 1
- Cobertura Protetora Circular
 - Obedece a tabela 1
- Cobertura Protetora para Cruzeta
 - Obedece a tabela 1
- Luvas Isolantes de Borracha
 - Obedece a tabela 2

Tabela 2

Class e das luvas	Tensão de ensaio (V)	Tensão máxima de uso (V)	Distância H (mm)	Corrente máxima de fuga (mA)			
				L = 267	L = 356	L = 406	L = 457
00	2500	500	38	6	10	12	14
0	500	1000	38	8	12	14	16
1	10000	75000	38	-	14	16	18
2	20000	17000	64	-	16	18	20
3	30000	26500	89	-	18	20	22
4	40000	36000	127	-	-	22	24

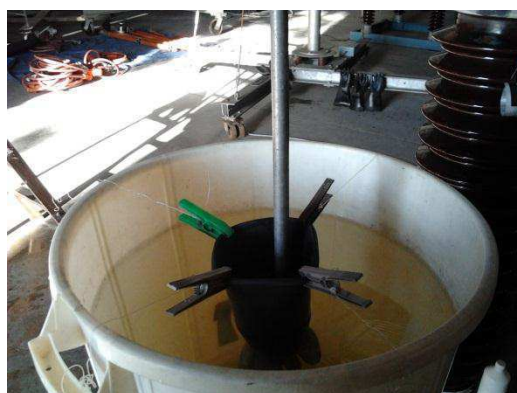


Figura 5 - Ensaio de Luva de Borracha

- Mangas Isolantes de Borracha
 - Obedece a tabela 1



Figura 6 - Ensaio de Manga Isolante

- Cabo Isolado para Jumper Provisório
 - Ensaio com tensão aplicada de 15 kV por 1 minuto



Figura 7 - Ensaio de Cabo Isolado

- Bastão Isolante
 - Obedece a tabela 3

Tabela 3

	Diâmetro (mm)	32	38	51	64
Tensão 100 kV	Corrente I_1 (μ A)	10	12	15	20
Tensão 50 kV	Corrente I_1 (μ A)	5	6	8	10

- Vara de Manobra Telescópica
 - Obedece a tabela 3
- Banqueta Isolada
 - Tensão aplicada de 50 kV por 1 minuto

As normas utilizadas nos ensaios foram as NBR 6936/1992; NBR 11854/1992; NBR 14540//2000; NBR 11855/1991; ASTM-D1048/05; NBR 10622/1889; NBR 10623 /1989; NBR 8221/2003; NBR 11857/1991; NBR 12576/1992 e possuem validade de 1 ano. Os valores de corrente de fuga admissíveis para os equipamentos, quando aplicável, podem ser encontrados no Manual de Instruções Técnicas.

Nessa série de ensaios, foi aplicada tensão em uma haste isolante, um liner isolante, 8 coberturas protetoras rígidas para condutor, 5 coberturas protetoras flexíveis para condutor, 3 lençóis isolantes, 11 coberturas protetoras circulares de 150 mm de diâmetro e 4 de 300mm, uma cobertura protetora para cruzeta, 8 luvas isolantes de borracha, 8 mangas isolantes de borracha, 9 cabos isolados para jumper provisório, 15 bastões isolantes, uma vara de manobra telescópica e uma banqueta isolada.

Cada uma desses ensaios possui uma explicação técnica para a realização das medições. O ensaio de bastões de manobra, por exemplo, faz-se uso de anéis de guarda. Dessa forma, a nuvem eletrônica que se mantém próxima ao bastão, quando sob este é aplicada alta tensão, é levada ao potencial nulo pela superfície condutora do anel. Assim, apenas a corrente estritamente superficial ao equipamento é mensurada.

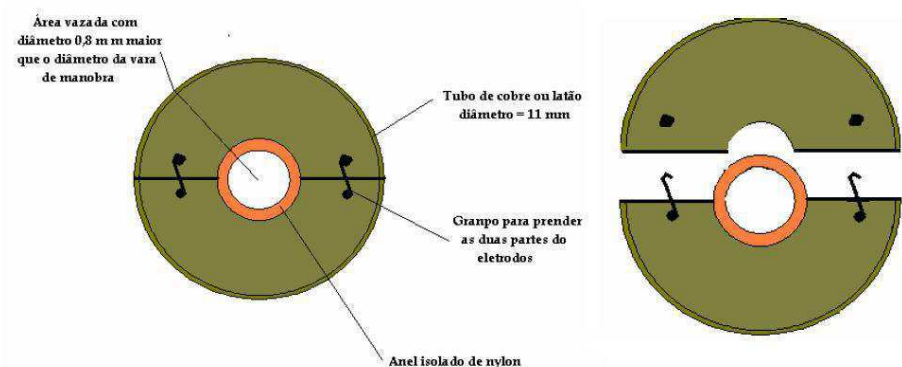


Figura 8 - Eletrodo de Guarda [4]

Entre todos esses equipamentos, os que foram reprovados foram uma cobertura protetora circular, duas mangas isolantes e dois bastões isolantes.



Figura 9 - Manga isolante reprovada. Nota-se ponto carbonizado devido a defeito de isolamento.

3.1.2 - Ensaio de Para-raios

Os para-raios são equipamentos responsáveis por funções de grande importância nos sistemas elétricos de potência, contribuindo decisivamente para a sua confiabilidade, economia e continuidade de operação.

Os equipamentos de uma subestação podem ser solicitados por sobretensões provenientes de ocorrências no sistema ou de descargas atmosféricas. Com o objetivo de impedir que estes equipamentos sejam danificados, é necessária a instalação de dispositivos de proteção contra sobretensões, sendo os para-raios os equipamentos mais adequados para esta finalidade. Atuam como limitadores de tensão, impedindo que valores acima de um determinado nível pré-estabelecido possam alcançar os equipamentos para os quais fornecem proteção. [5]

Os ensaios realizados no LAT tinham como objetivo observar os efeitos de degradação que a deposição de névoa salina à base de bauxita possuiriam em um para-raios de Óxido de Zinco (ZnO). Para tal, preparou-se uma mistura a ser borrifada na

superfície de um para-raios. O para-raios possuía tensão nominal de 72 kV, tensão residual máxima de 180 kV e corrente nominal de descarga de 20 kA



Figura 10 - Condutivímetro (esquerda) e solução salina (direita) com bauxita

Após a borrifação, foi aplicada tensão de 42 kV durante 60 minutos. O tempo é necessário para que ocorra um possível aquecimento devido a defeitos que o para-raios venha a possuir.



Figura 11 - Para-raios borrifado com solução salina



Figura 12 - Esquema do ensaio realizado

Após um determinado número de ensaios, o para-raios foi aberto para verificação do estado das pastilhas de Óxido de Zinco e avaliar o resultado da tensão aplicada associada com deposição de impurezas na superfície do para-raios.



Figura 13 - Pastilhas de ZnO do para-raios

Observando a Fig. 25 é possível notar uma área relevante comprometida superficialmente pelo acúmulo da solução salina, provavelmente ocorrida devido à distorção de campo elétrico proporcionado pela presença de forte poluição na superfície

do equipamento, levando a uma elevada concentração na parte superior do equipamento, ocorrendo queima da superfície das pastilhas de ZnO.

3.1.3 – Descargas Parciais

O assunto de Descargas Parciais ou descargas corona, que representa uma denominação antiga que era comumente utilizada, constitui um campo de desafios cujo início data desde o começo do século 20. Enquanto o estudo de descargas parciais pode ser considerado um campo bem estudado, sua preeminente importância como uma ferramenta para avaliação das características de qualidade e desempenho de equipamentos de alta tensão foram responsáveis por sustentar um alto nível de atividades investigativas relacionadas aos seus mecanismos, efeitos químicos e físicos, detecção e técnicas de medição. [6]

Descargas Parciais (DP) podem ser geradas por muitos fenômenos. De um ponto de vista prático, descargas parciais ocorrem quando alguma forma de atividade elétrica dentro de um sistema resulta em uma rápida mudança na configuração de campo elétrico, o que causa um fluxo de corrente em um condutor conectado ao mundo exterior. Para ser reconhecida como DP, a corrente induzida no condutor externo deve ser suficientemente grande para ser detectada e deve ocorrer com uma repetição suficiente para ser reconhecida como algo mais além de ruído aleatório. [7]

A medição e detecção de descargas parciais se faz obedecendo o arranjo proposto pela IEC 60270, conforme figura abaixo:

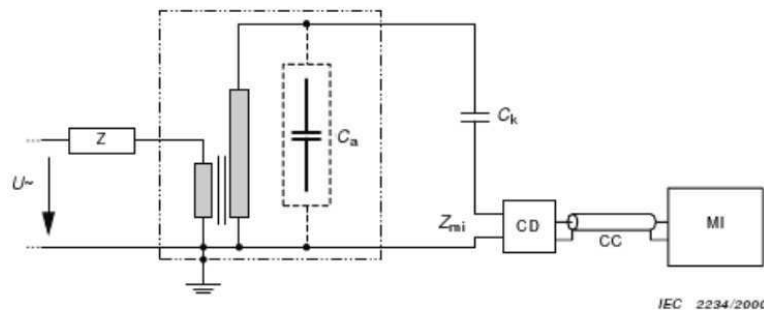


Figura 14 - Ensaio para medição de DP

Onde Z é um filtro para evitar contaminação por imperfeições da rede, Ca é o objeto de teste, Ck é o capacitor de acoplamento, CD é o dispositivo de acoplamento, Z_{mi} é a

impedância de entrada do sistema de medição, CC é um cabo coaxial e MI é o instrumento de medição.

O objeto de teste do experimento é um pequeno conjunto de pastilhas circulares de fenolite coladas. Uma dessas pastilhas possui vazios que simulam bolhas que ocorrem no processo industrial para criação de isoladores, sejam eles poliméricos, de vidro ou porcelana. Esse tipo de descarga é prejudicial aos isoladores poliméricos já que a o processo de descarga parcial carboniza parte da cadeia polimérica que compõe o material e com o tempo cria caminhos para circulação da corrente, eventualmente causando falhas no sistema.



Figura 15 - Pastilha de Fenolite

Para colocar as pastilhas, foi criado um pequeno dispositivo que mantém o bloco de pastilhas imerso em óleo de transformador e a tensão é aplicada entre os dois lados do bloco.



Figura 16 - Dispositivo para armazenamento do bloco de fenolite

O toróide observado na figura acima é um pequeno transformador de corrente que funciona nesse circuito como um sensor com objetivo de capturar os sinais de descargas parciais. Por ser constituído de fitas de ligas amorfas, esse sensor é especial por apresentar um tempo de subida inferior a 175 ns e uma largura de frequência até 2 GHz.

O objetivo do experimento era avaliar a semelhança do sinal capturado pelo toróide e o medido pelo equipamento comercial detector de descargas parciais existente no LAT, o LDIC® da Lemke ®. Esse equipamento detecta uma largura de banda entre 100 kHz e 1000 kHz, para sinais que representem carga à partir de 1 pC até 100.000 pC.



Figura 17 - Software LDS-6 no notebook que está sobre o detector de DP

Foi aplicada uma tensão de 15 kV e após 10 minutos foi feita a observação da forma de onda capturada pelo osciloscópio em comparação com o detector de descargas parciais utilizando o calibrador que gera sinais característicos de DPs.

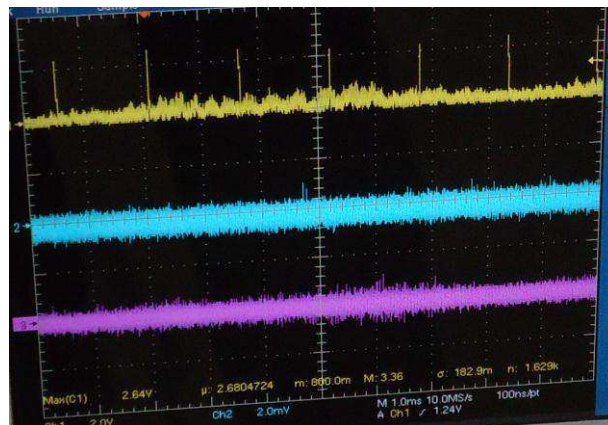


Figura 18 - Tela do osciloscópio

3.2 - Medições na Subestação Campina Grande II

Localizada na Gerência Regional Leste, em Campina Grande, da Companhia Hidroelétrica do São Francisco (Chesf), a subestação Campina Grande II recebe linhas de transmissão na tensão de 230 kV. Possui equipamentos como compensadores síncronos e estáticos, utilizados para estabilizar a tensão devido ao efeito ferranti nas linhas longas. A subestação é extremamente importante já que ela passa a maior parte da energia elétrica utilizada no Rio Grande do Norte e, portanto, seu bom funcionamento é de vital importância estratégica para a empresa e para o Nordeste.

As medições realizadas nessa subestação tinham dois propósitos. Um era de avaliar bom funcionamento de medidores de corrente de fuga confeccionados na UFCG e comparar com um novo equipamento adquirido pelo laboratório e o outro era a medição e comparação dos níveis de ruído de fundo com várias antenas, sendo uma delas confeccionada pelo aluno de pós-graduação José Maurício Neto.



Figura 19 - Equipamento para monitoramento de corrente de fuga em para-raios ZnO

O objetivo dessa medição era avaliar comportamento anômalo de um dos equipamentos de medição de corrente de fuga experimentais que haviam sido instalados por uma equipe da UFCG. Confirmada a medição errônea por outros instrumentos, o equipamento foi retirado para manutenção.

A avaliação do ruído ambiente foi realizada com três antenas: Bicônica, Discone e Espinha de Peixe. Cada uma delas foi realizada com as particularidades relativas às suas montagens.

3.2.1 Bicônica



Figura 20 - Antena Bicônica na posição vertical

A antena Bicônica apresenta duas formas de montagem: Vertical e Horizontal. Ambas as medidas foram realizadas, uma vez que parte do espectro pode ser mais bem captada pela antena em cada uma de suas posições, a depender de como a onda eletromagnética incide no equipamento. Na figura acima (Fig. 5) podemos ver a antena na posição vertical ligada a um analisador de espectro.



Figura 21 - Antena Bicônica na posição horizontal

O gráfico abaixo é resultado de uma análise do espectro na faixa de 10 MHz a 300 MHz da antena bicônica na posição horizontal.

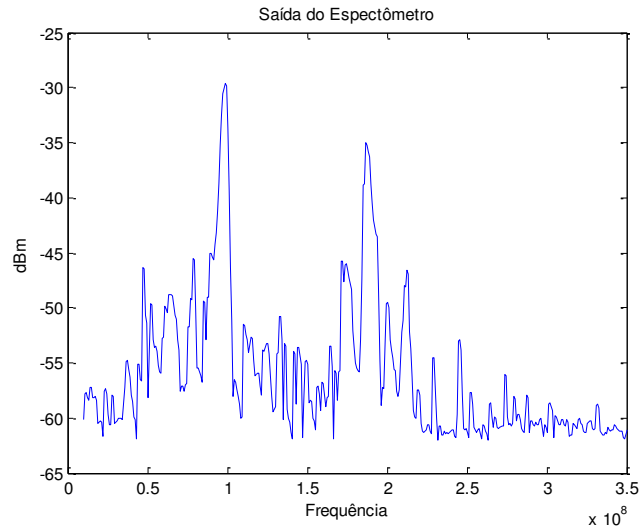


Figura 22 - Leitura do Espectrômetro

A mesma antena apresenta os seguintes dados na posição vertical, para uma mesma faixa de frequência.

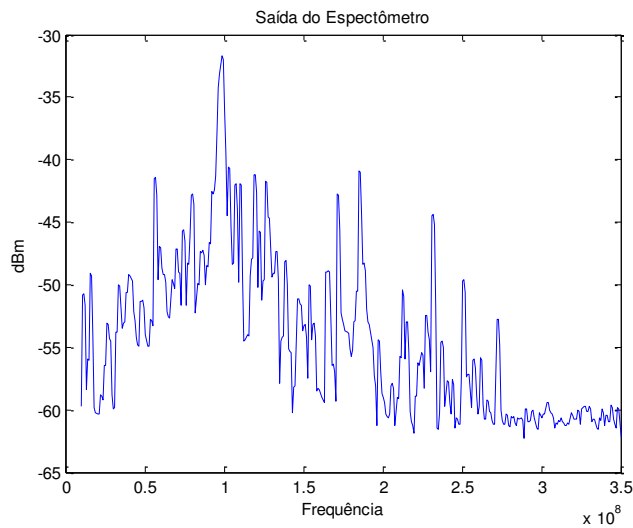


Figura 23 - Leitura do Espectrômetro

3.2.2 Discone

A antena Discone foi desenvolvida pelo aluno de pós-graduação José Maurício Neto com o objetivo de obter dispositivo capaz de capturar uma larga faixa de frequência, objetivando principalmente capturar sinais eletromagnéticos provenientes de descargas parciais a ocorrer em equipamentos nas proximidades da antena.

Em conjunto com a antena foi utilizado um equipamento chamado LNA (*Low Noise Amplifier*) que nada mais é que um amplificador de sinal que pouco polui o mesmo, tornando-o ideal para essa aplicação, já que amplificadores comuns estariam

sujeitos ao espectro de sinais presentes no ambiente, diminuindo a relação Sinal-Ruído da faixa de frequência estudada. Isso se dá pelo encapsulamento metálico do equipamento que cria uma espécie de gaiola de faraday, evitando a propagação de campos elétricos externos no interior do dispositivo.



Figura 24 - LNA (à esquerda) e antena Discone

A faixa de frequência avaliada para esse equipamento foi de 100 MHz a 2,5 GHz e pode-se observar a seguinte análise espectrográfica.

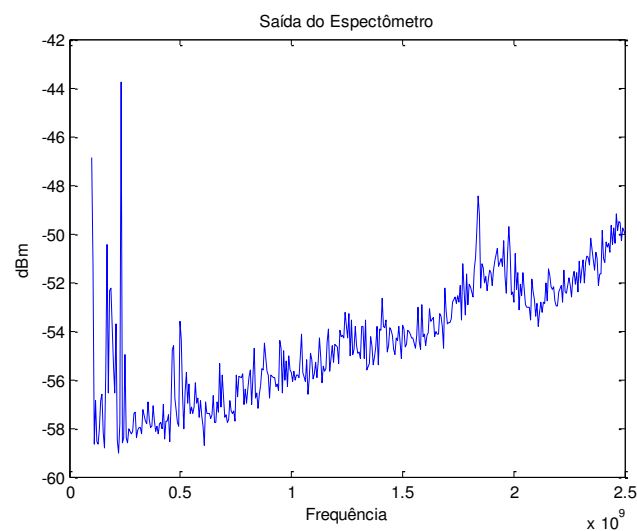


Figura 25 - Leitura do Espectrômetro sem LNA

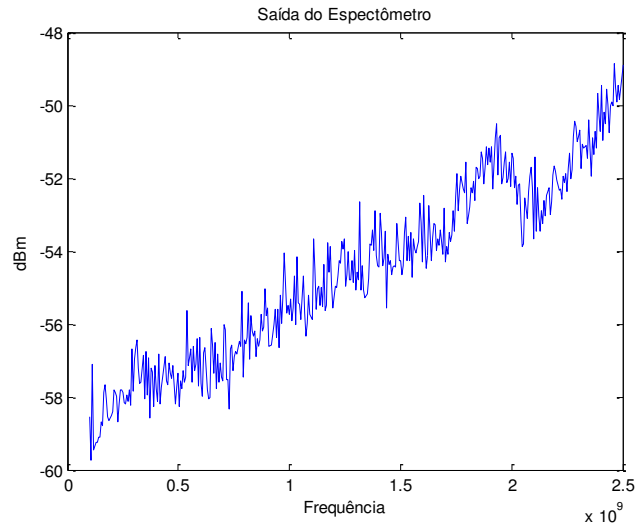


Figura 26 - Leitura do Espectrômetro com LNA

Nota-se uma substancial diferença entre os gráficos, especialmente nas frequências mais baixas.

3.2.3 Espinha de Peixe

Devido à disposição física e à forma planar, essa antena pode ser montada de diversas formas, sendo elas a vertical, normal à terra e horizontal. Cada uma dessas montagens foi executada conforme as figuras à seguir.



Figura 27 - Antena Espinha de Peixe - Posição normal à terra



Figura 28 - Antena Espinha de Peixe - Posição horizontal

O resultado dessas medições para uma faixa de frequência entre 100 MHz e 2,5 GHz, em todas as posições foi:

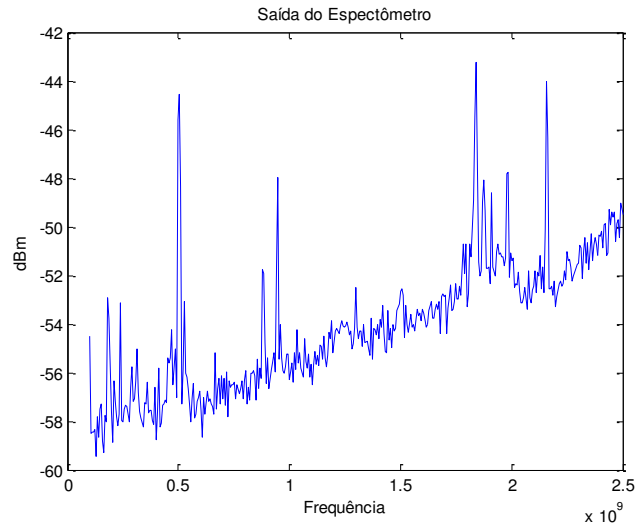


Figura 29 - Leitura do Espectrômetro - Vertical

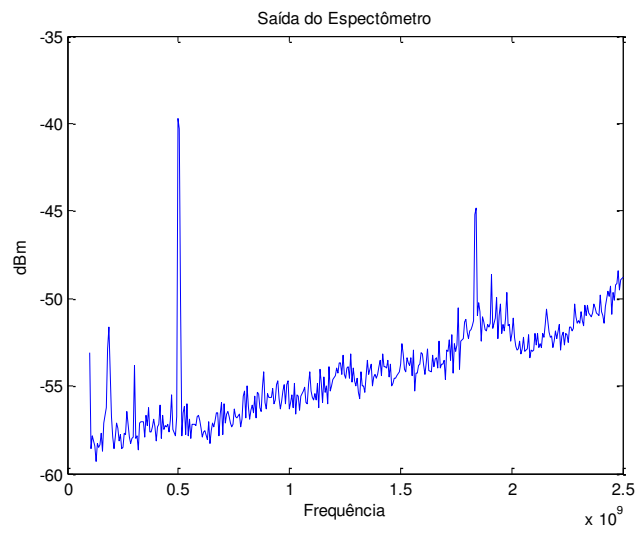


Figura 30 - Leitura do Espectrômetro - Normal à terra

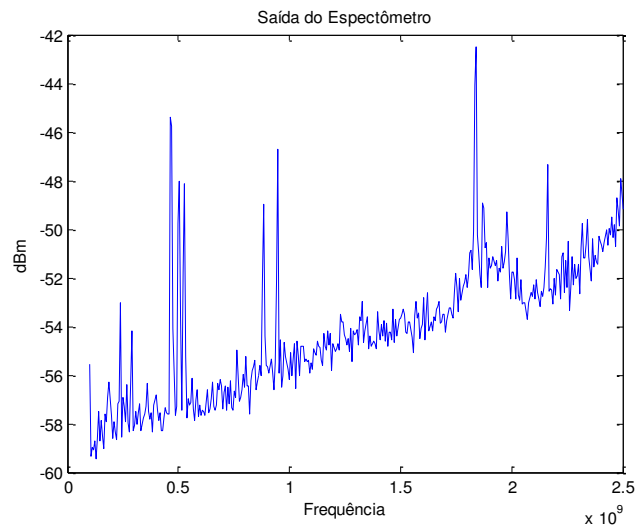


Figura 31 - Leitura do Espectrômetro – Horizontal

Por uma análise rápida dos gráficos, percebemos que a leitura dos dados utilizando a posição normal a terra não apresenta algumas componentes de frequência com a mesma intensidade que as demais montagens. O que reforça a ideia de que algumas ondas eletromagnéticas incidem de maneira que são incapazes de excitar a antena.

3.3 – Medições na Subestação de Treinamento da Energisa

Localizada na sede da empresa em João Pessoa, Paraíba, a Subestação de treinamento da Energisa Paraíba é de fundamental importância para o treinamento e avaliação dos funcionários da empresa que lidam diretamente com o sistema de distribuição aéreo.

Os técnicos que são contratados pela Energisa necessariamente passam por um treinamento nessa subestação, além dos cursos de reciclagem que são obrigatórios pela NR-10. Por ser uma subestação de treinamento, os equipamentos não estão energizados e não representam risco de morte para os funcionários em processo de capacitação. Entretanto a subestação encontra-se ao lado de uma subestação comum de propriedade da Energisa.

Preocupada com a segurança dos funcionários, a empresa construiu uma malha de aterramento para a subestação de aterramento com o objetivo de equalizar os potenciais distribuídos ao longo do terreno.

O objetivo da visita então era avaliar as condições dessa nova malha de aterramento coletando dados sobre a distribuição de potenciais ao longo do terreno correspondente ao da subestação. Para tal, foi utilizado o Método dos Quatro Pontos de Wenner em concordância com a NBR 15749 que trata justamente da medição de aterramento e potenciais na superfície do solo em sistemas de aterramento.

O equipamento utilizado para determinação dos potenciais na malha de aterramento é o terrômetro da marca AEMC Instruments, modelo 6472 Ground Tester conforme figura abaixo.



Figura 31 - Terrômetro

Para determinação dos dados desejados, foi utilizado o Método de Frank Wenner. Ele consiste no cravamento no solo de quatro eletrodos igualmente espaçados em linha por onde os quais os dois da extremidade são percorridos por corrente e outros dois lêem a tensão.

Se a profundidade da haste é muito maior que o espaçamento, utiliza-se (1), caso contrário, utiliza-se (2).

$$\rho \cong 4 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (1)$$

$$\rho \cong 2 \cdot \pi \cdot a \cdot R \quad (2)$$

Na realidade, *Wenner* considera o solo homogêneo. Assim, o produto entre o valor R medido pela aplicação do método (para cada espaçamento) e o fator geométrico K corresponde à resistividade do solo. O fator geométrico varia com o espaçamento, mas o produto deve permanecer constante e igual ao valor da resistividade do solo. Entretanto, numa abordagem geral, o solo pode ser estratificado e, assim, o valor do produto deve, também, variar ao se mudar o espaçamento. Logo, os dados obtidos a partir da aplicação do método não fornecem efetivamente o perfil da resistividade do solo, mas são utilizados para alcançar o perfil. [8]

Após realização do experimento foram colhidos os dados e verificou-se que a subestação possuía uma distribuição equipotencial conforme esperado pela empresa e a segurança na subestação de treinamento estava confirmada.

3.4 – Projeto e Montagem de Equipamento Medidor de Potência

O Laboratório de Alta Tensão, nos últimos anos, tem sentido a falta de um instrumento portátil capaz de realizar medições de potência de forma confiável e rápida. Com objetivo de suprir essa necessidade, foi realizado um projeto para um equipamento capaz de medir Tensão True RMS, Corrente True RMS e Potência Ativa.

Para tal, o laboratório adquiriu sensores especiais que são excitados por Efeito Hall, dispensando contato físico com o circuito a ser mensurado. Para aquisição do sinal de tensão foi utilizado um sensor LV – 20-P da LEM® capaz de ler tensões entre 0 e 500 V. E para a corrente o FHS 40P- SP600, montado no KIT 6, com modelo disponibilizado pelo fabricante, possui sensibilidade de 0.2V/A para correntes de 0 a 10A.

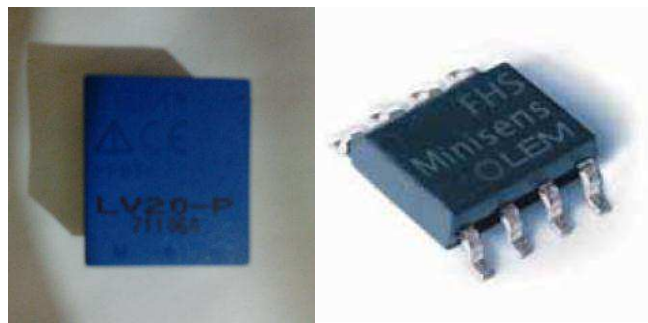


Figura 32 - Sensor de Tensão e Corrente

O cálculo e manipulação dos dados adquiridos serão realizados pelo microcontrolador da Microchip® PIC 18F452, trabalhando a uma frequência de 20MHz.

Para um melhor gerenciamento dos circuitos a serem confeccionados, cada uma dessas partes foi separada em módulos, inclusive o circuito de alimentação proposto para o equipamento. Assim sendo, tem-se o módulo do sensor de tensão, sensor de corrente, circuito de alimentação e módulo do PIC.

Como o microcontrolador apenas lê dados positivos numa faixa de 0 a 5V, foi implementado junto ao módulo do PIC um circuito retificador de precisão que retifica o sinal de tensão e o de corrente evitando a queda de tensão de 0.7 V que ocorre naturalmente nos díodos.

A potencia média, medida em watts (W), é calculada a partir da potência instantânea, $p(t)$, do seguinte modo [9]:

$$P = \frac{1}{T} \int_0^T i(t)v(t) dt$$

A integral é calculada numericamente através do método da soma dos trapézios como pode ser visto no anexo a este relatório, onde se encontra o código de funcionamento do PIC. O período de integração foi o de 1 ciclo de senóide de 60 Hz, ou 1/60 s. Para tal, criaram-se atrasos proporcionais na leitura do microcontrolador de forma que a varredura de dados se dê aproximadamente em um ciclo de tensão. Após montagem em laboratório, pode-se confirmar na figura abaixo que o intervalo entre as leituras está coerente com o valor teórico, já que cada mudança do valor de tensão dessa onda quadrada representa uma leitura do PIC.

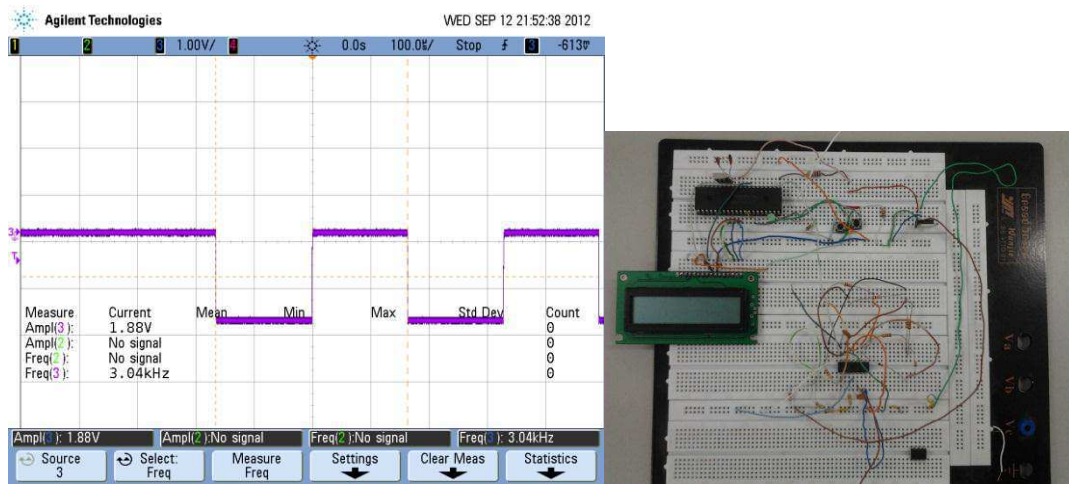


Figura 103 - Tela do osciloscópio e circuito montado. Um ciclo representa duas leituras.

Os circuitos foram projetados no Proteus Isis 7 Professional® e Ares 7 Professional®, e no Orcad Capture® e Layout Plus. Foi adicionado ao circuito retificador de precisão da corrente um amplificador não-inversor, conforme circuito abaixo:

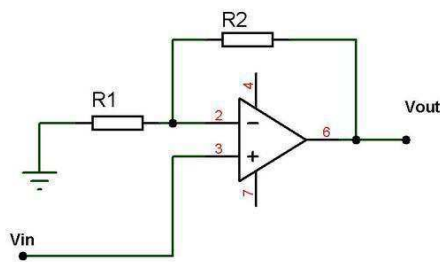


Figura 34 - Amplificador Não-Inversor

Onde $V_{out} = 1 + R_2/R_1$. Para desativar o amplificador basta curto-circuitar a resistência R_2 e o ganho será unitário. Esse é o papel de uma chave a ser instalada junto ao circuito do PIC para a seleção do usuário para correntes abaixo de 1A. A escolha dos resistores será para que o ganho seja próximo a 10.

O programa contido no PIC traz diversas opções de tratamento para os dados, como a obtenção da Potência Ativa, usando a fórmula citada, Tensão True RMS, Corrente True RMS e ainda pode ser implementado o cálculo da Potência Reativa e Cálculo do Fator de Potência

As Tensão e Corrente True RMS são obtidas numericamente, assim o *rms* para uma coleção de N valores $\{x_1, x_2, \dots, x_N\}$ é dado pela fórmula: [10]

$$(1)x_{rms} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} = \sqrt{\frac{x_1^2 + x_2^2 + \dots + x_N^2}{N}}$$

Onde N=100 é o número de amostras realizadas num ciclo de leitura e x_i cada uma das leituras realizadas pelo PIC.

Após design dos blocos de circuitos de alimentação, sensor de corrente e sensor de tensão, foram feitas placas de circuito impresso em parceria com a Spectrum Circuitos Eletrônicos ®. O resultado pode ser conferido abaixo.

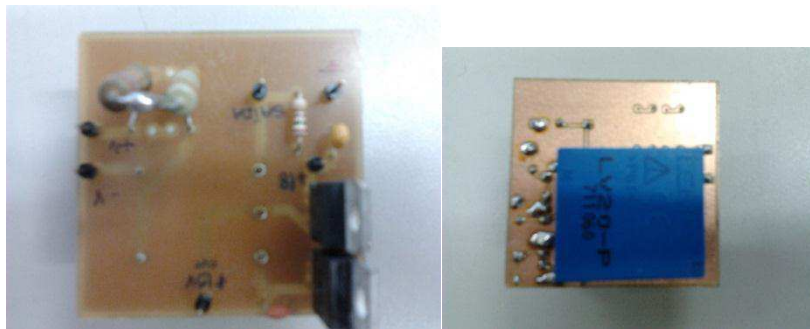


Figura 35 - Circuito Sensor de Tensão

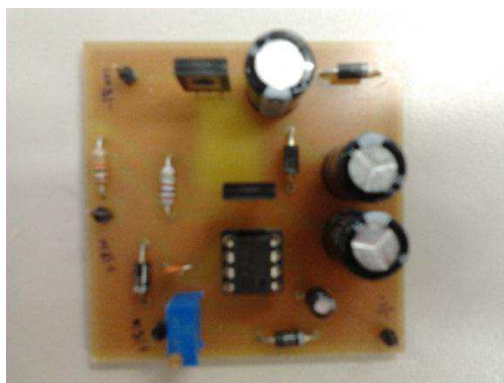


Figura 36 - Circuito de Alimentação

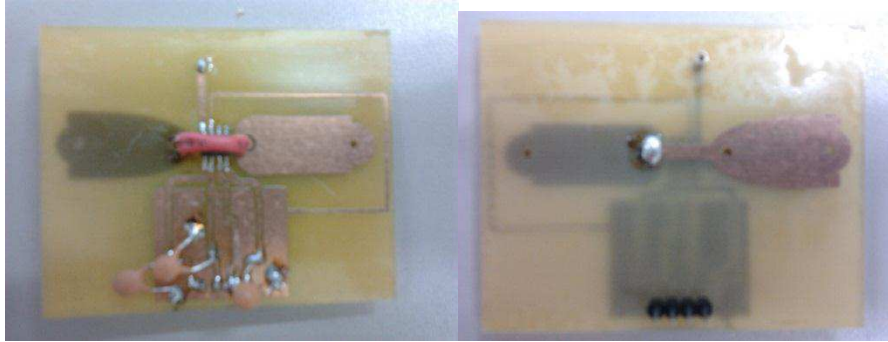


Figura 37 - Circuito Sensor de Corrente

O circuito do PIC foi realizado também pela Spectrum, mas o resultado não foi o esperado. Um novo design foi realizado para superar as dificuldades encontradas com a amplificação do sinal de corrente. Dessa forma, a segunda e definitiva placa do circuito do PIC, após a confecção, pela mesma empresa, foi montada e os seus componentes soldados no Laboratório de Instrumentação e Metrologia Científicas – LIMC.

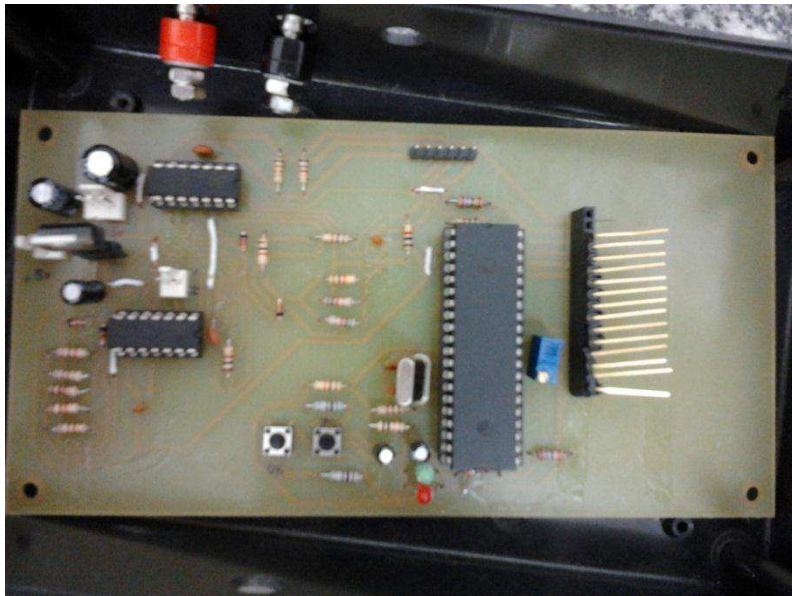


Figura 38 - Placa do PIC - Vista superior

Todo o esquemático de circuitos e códigos de programação do PIC pode ser encontrado nos anexos deste relatório.

4 – Conclusões

A principal função da disciplina de Estágio é proporcionar uma experiência prática introdutória para o estudante de graduação ter um primeiro contato com a realidade do dia-a-dia em instituições que trabalham aplicando conceitos da engenharia elétrica.

Através dessa experiência foi possível sentir as facilidades e, principalmente, as dificuldades que fazem parte hoje dos problemas a serem solucionados pelos engenheiros no Brasil, tanto na parte de ensaios de caráter técnico e experimental como na concepção de circuitos com objetivos específicos.

Os ensaios realizados foram bem sucedidos em seus objetivos. Com os dados fornecidos pelo experimento, o engenheiro responsável, sob tutela da norma vigente, foi capaz de emitir parecer sob o estado de equipamentos da Energisa Borborema, concessionária de energia elétrica local, que é obrigada a realizar esse tipo de procedimento pelo Ministério do Trabalho através da Norma Regulamentadora 10, de forma periódica.

Os testes feitos em campo com as variadas antenas mostraram que a antena cônica de baixo custo desenvolvida na própria universidade se apresentou surpreendentemente confiável, sendo capaz de representar bem as faixas de frequência de ondas eletromagnéticas emitidas por descargas corona, em especial as descargas parciais.

No teste feito na subestação de treinamento da Energisa Paraíba, foi possível constatar que a malha de aterramento foi capaz de equipotencializar os potenciais distribuídos na terra emanados da subestação vizinha e assim assegurando condições seguras de trabalho para os empregados da empresa.

Por fim, o design do medidor de potência, embora em seu estágio final, ainda necessita de alguns ajustes de precisão e testes. Além disso, uma nova fonte de alimentação é recomendada para seu circuito, visto que o sensor de tensão consome mais potência do que o esperado e acaba por comprometer o nível de tensão do circuito. Além das funções de medição de potência, tensão true rms e corrente true rms, com uma alteração no código é possível implementar outras funções como cálculo da potência reativa, cálculo do fator de potência, e até mesmo cálculo da distorção harmônica total,

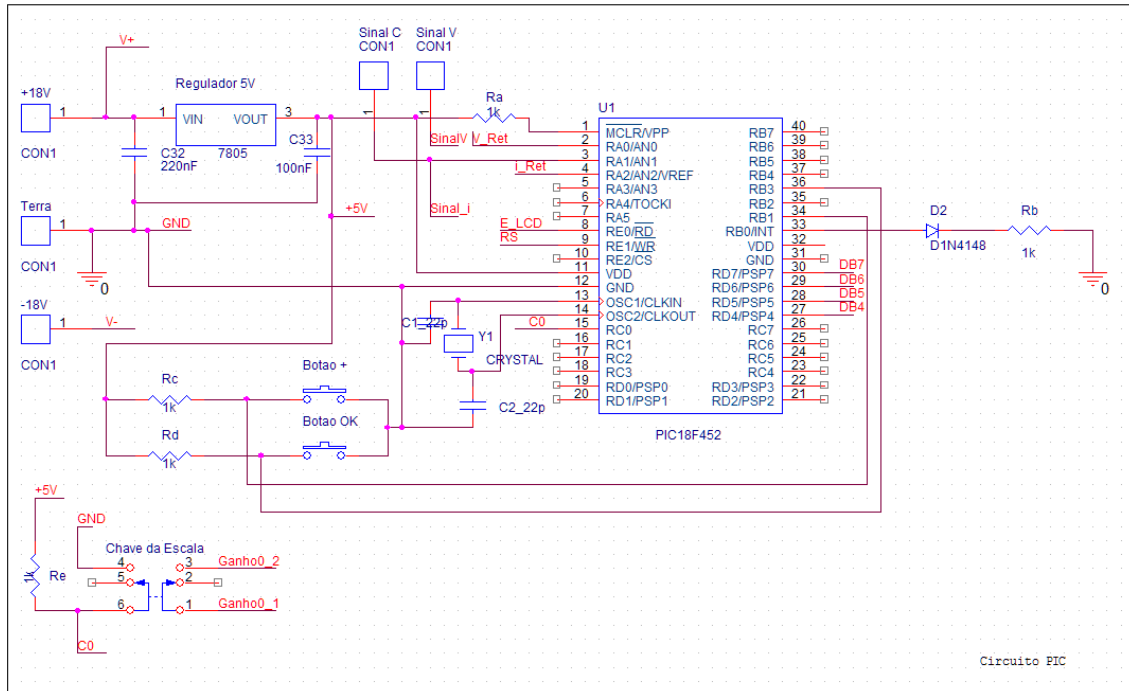
dado que o nível de ruído na saída do retificador de precisão seja minimizado da melhor maneira possível.

5 – Referências Bibliográficas

- [1] DEE, [Online]. Available: <http://www.dee.ufcg.edu.br/>. [Acesso em 08 Outubro 2012].
- [2] GSE, 2006. [Online]. [Acesso em 08 Setembro 2012].
- [3] G. C. Almeida, “Relatório de Ensaio/Laudo,” 2012.
- [4] COPEL Distribuição, “Manual de Instruções Técnicas - Procedimentos de Ensaios de ferramentas e Equipamentos de Linha Viva,” 2006.
- [5] Furnas Centrais Elétricas S.A. & Universidade Federal Fluminense, Equipamentos Elétricos: Especificação e aplicação em subestações de alta tensão, Rio de Janeiro, 1985.
- [6] R. Bartnikas, “Partial Discharges: Their Mechanism, Detection and Measurement,” *IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation*, p. 763, Outubro 2002.
- [7] S. A. Boggs, “Partial Discharge: Overview and Signal Generation,” *IEEE Electrical Insulation Magazine*, p. 33, Julho/Agosto 1990.
- [8] A. S. e. Silva, “Trabalho de Conclusão de Curso: Avaliação das Condições de Malha de Aterramento em Instalações Elétricas,” 2009.
- [9] F. d. Chagas, *Distorções de Ondas*, Campina Grande, 2011.
- [10] a. e. l. Wikipédia. [Online]. Available: http://pt.wikipedia.org/wiki/Valor_eficaz. [Acesso em 14 Setembro 2012].
- [11] LEM, *Voltage Transducer LV 20-P*.
- [12] LEM, *Current Transducer FHS 40-P/SP600*.

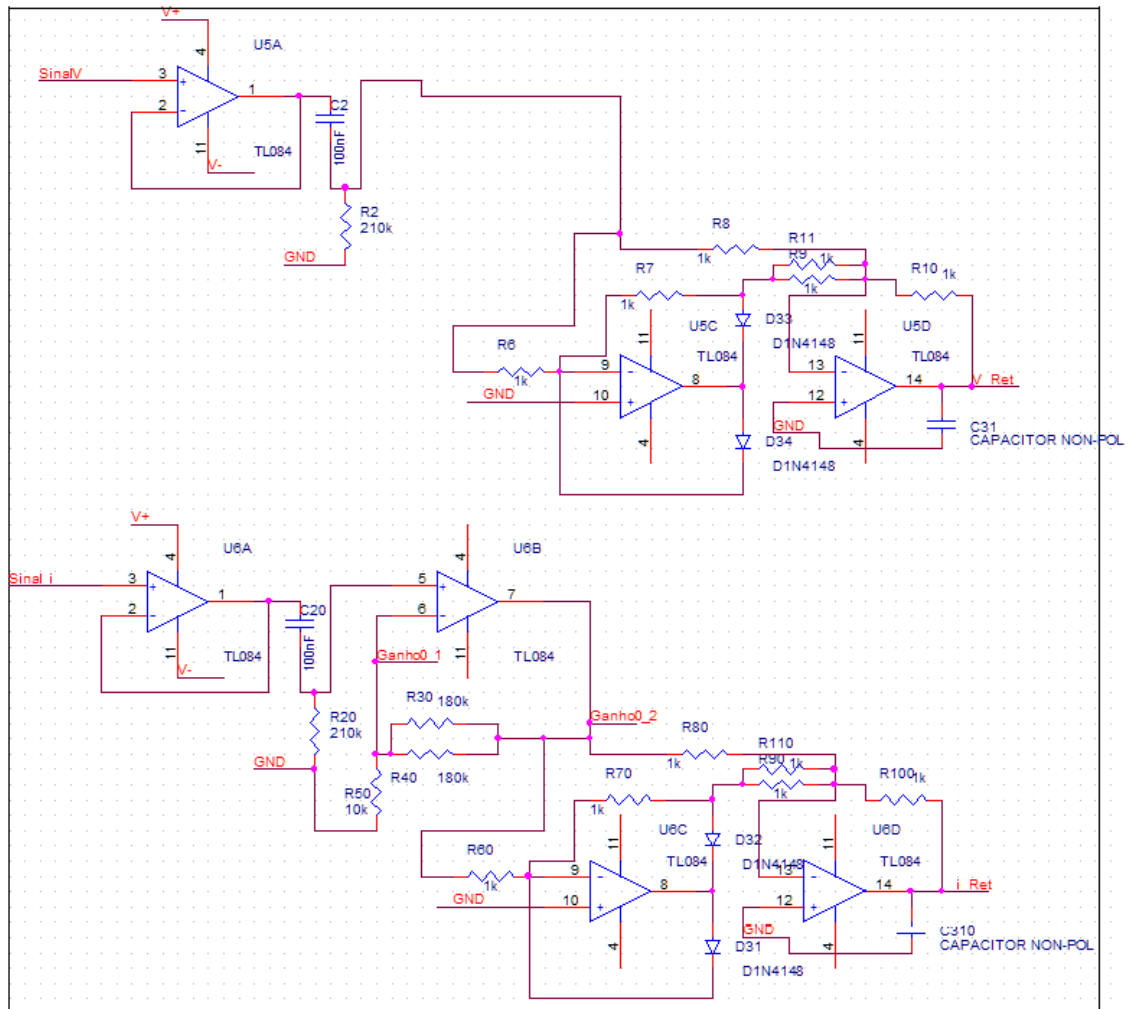
Anexos

Esquemático PIC

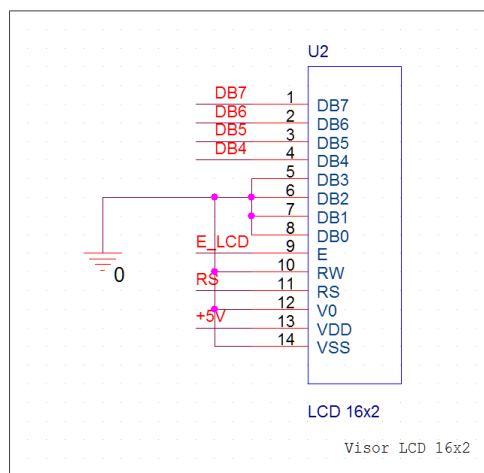


Circuito PIC

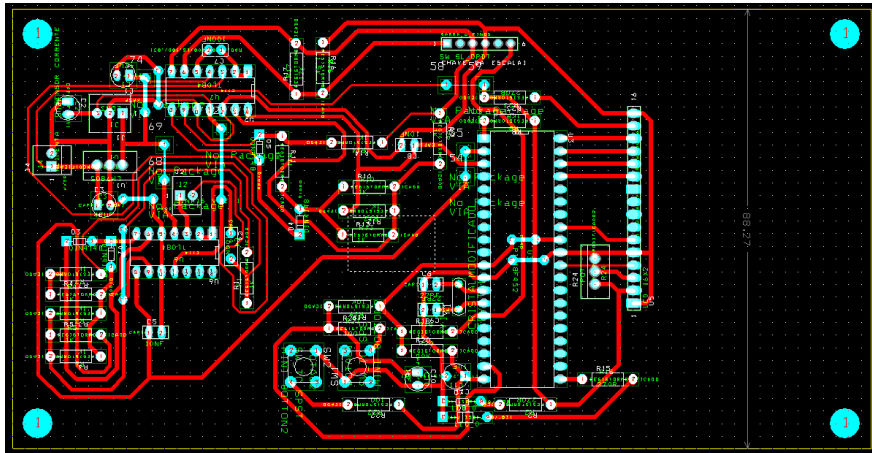
Esquemático - Retificadores



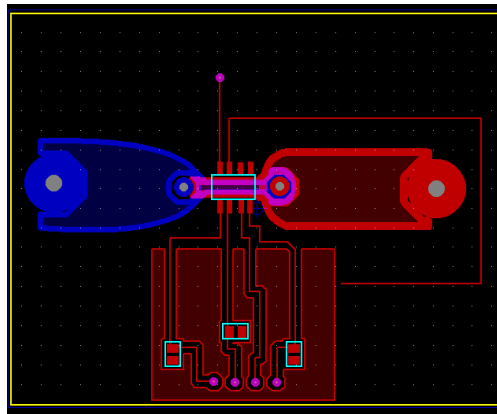
Esquemático - Visor LCD



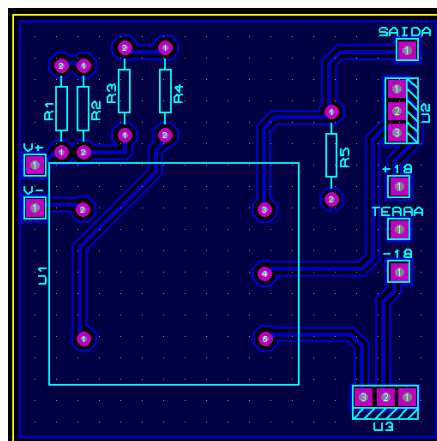
Placa PIC



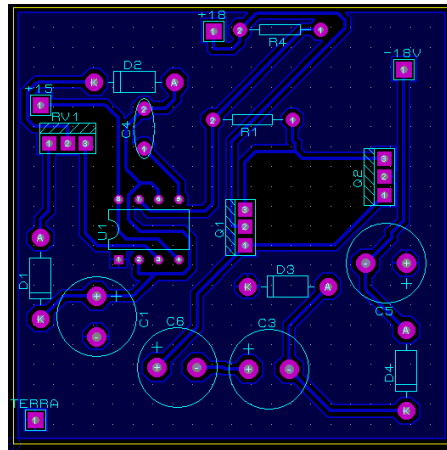
Sensor de Corrente



Sensor de Tensão



Circuito de Alimentação



Esquemático do Circuito de Alimentação

