



**Universidade Federal de Campina Grande**

**Centro de Engenharia Elétrica e Informática**

Curso de Graduação em Engenharia Elétrica

JONATHAN PORFÍRIO DE QUEIROZ

**RELATÓRIO DE ESTÁGIO SUPERVISIONADO**

LOCAL DO ESTÁGIO: TRANSFORMADORES CAMPINENSE

Campina Grande, Paraíba  
Dezembro de 2014

JONATHAN PORFÍRIO DE QUEIROZ

## 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 Ciências no  
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Equipamentos Elétricos e Instalações Elétricas

Orientador:

Professor Karcus Marcelus Colaço Dantas, D.Sc.

Campina Grande, Paraíba  
Dezembro de 2014

JONATHAN PORFÍRIO DE QUEIROZ

## 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 Ciências no Domínio da Engenharia  
Elétrica.*

Área de Concentração: Equipamentos Elétricos e Instalações Elétricas

Aprovado em        /        /

**Professor Avaliador**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Avaliador

**Professor Karcus Marcelus Colaço Dantas, D.Sc.**  
Universidade Federal de Campina Grande  
Orientador, UFCG

## AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, por me guiar ao longo deste caminho que ela representa e pelas pessoas que colocou em meu convívio.

Agradeço a meus pais e a minha esposa pelo apoio conferido em qualquer momento. Agradeço também a meu filho, cujo sorriso ingênuo e sublime acalmava-me nos momentos difíceis e cuja imensa curiosidade tornava-se motivo de inspiração.

Agradeço a minha família pelo incentivo, ajuda, conselhos e descontração que me proporcionaram até então.

A essa Instituição, pela minha acolhida e pelos valorosos conhecimentos que me foram transmitidos ao longo de minha jornada acadêmica como aluno de graduação.

À empresa Transformadores Campinense, pela oportunidade de estágio, representada nas figuras do engenheiro supervisor Miqueias Melo e do diretor Nicolau Melo, cujas imensas contribuições permitiram o desenvolvimento deste trabalho. Agradeço também a Maria da Conceição Dantas, pela pequena ação realizada que me levou a conseguir este estágio.

Agradeço ao meu orientador, Karcus Dantas, pela paciência e tempo dedicado as sugestões.

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

*“Eu vim procurar trabalho,  
Não foi riqueza que eu vim buscar.  
Peço a Deus que me dê saúde,  
Para a família poder sustentar,*

...

*Seu moço, os documentos  
Que eu tenho para mostrar,  
São essas mãos calejadas  
E a vontade de trabalhar.”*

Luiz Gonzaga.

## RESUMO

Este trabalho relata as principais atividades desenvolvidas durante o estágio supervisionado realizado pelo aluno Jonathan Porfírio de Queiroz, concluinte do curso de graduação em Engenharia Elétrica, na Transformadores Campinense, em Campina Grande – PB. Sob supervisão do engenheiro Miqueias de Souza Melo, desenvolveu atividades relacionadas ao estudo de equipamento de medição de relação de transformação (MRT ou TTR) e a serviços de instalações elétricas, como visitas a diversas obras e acompanhamento da execução de projetos.

**Palavras-chave:** Medição de relação de transformação, MRT, TTR, Instalações Elétricas .

# SUMÁRIO

Lista de Ilustrações .....	8
Lista de Abreviaturas e Siglas .....	11
1- Introdução .....	12
2- A Empresa .....	12
3- Instrumento de Medição de Relação de Transformação (TTR).....	12
4- Atividades Realizadas .....	14
4.1- Estudo do TTR .....	14
4.2 – Visitas Técnicas .....	32
4.2.1 – Empresa Mineradora em Soledade .....	32
4.2.2 – Hospital Municipal de Boqueirão.....	36
4.2.3 – Galpão industrial em Campina Grande.....	41
4.2.4 – Indústria de Utensílios de Alumínio em Patos.....	47
5- Conclusão .....	61
6- Referências Bibliográficas .....	62

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Vista geral do TTR em estudo.....	14
Figura 2 – Pannel do TTR, contendo chaves seletoras e medidores.....	15
Figura 3 – Estado de conservação de cabos e pontas de medição. (a) Conectores secundários. (b) Conectores primários.....	15
Figura 4 – Desmontagem do pannel do TTR.....	16
Figura 5 – Placa do circuito de medição. (a) Presa na placa de suporte. (b) Visão inferior da placa.....	16
Figura 6 – Placa base do TTR e periféricos separados da caixa envoltória.....	17
Figura 7 – Visão da caixa sem a placa base, evidenciando a parte interna do gerador e seus terminais.....	17
Figura 8 – Placa base com componentes internos do TTR.....	18
Figura 9 – Detalhes dos componentes: (a) transformador interno de referência (maior) e do transformador de isolamento (menor); (b) derivações (taps) do lado esquerdo (L); (c) trimpots (potenciômetros); (d) derivações do lado direito (R); (e) conexões entre a placa de medição, o transformador de isolamento e os trimpots.....	19
Figura 10 – Diagrama elétrico de fiação desenhado no AutoCAD.....	20
Figura 11 – Diagrama esquemático simplificado desenhado no AutoCAD.....	20
Figura 12 – Gerador do TTR sendo utilizado para alimentar um transformador de relação 4.1:1 pelos terminais de baixa tensão (terminais superiores).....	21
Figura 13 – Transformador de referência submetido a um TTR para aferição da relação de espiras de suas derivações.....	22
Figura 14 – Remoção dos fios das derivações do transformador interno e separação dos demais componentes.....	22
Figura 15 – Instalação do transformador, base de chaves seletoras e placa de medição em uma nova base de suporte.....	23
Figura 16 – Diagrama de simulação do circuito de detecção.....	24
Figura 17 – Tensão na fonte e corrente no detector para ponte desequilibrada.....	25
Figura 18 – Tensão nos diodos para ponte desequilibrada.....	25
Figura 19 – Tensão na fonte e corrente no detector para ponte desequilibrada.....	26
Figura 20 – Tensão na fonte e corrente no detector para ponte equilibrada.....	26
Figura 21 – Diagrama de blocos simplificado.....	27
Figura 22 – Diagrama de simulação do circuito completo.....	27
Figura 23 – Corrente nos diodos para transformador de teste de maior relação de espiras que o de referência.....	28
Figura 24 – Comparativo de tensão entre o transformador de referência e o de teste.....	29
Figura 25 – Corrente no detector para transformador de teste de maior relação de espiras que o de referência.....	29
Figura 26 – Corrente nos diodos para transformador de teste de menor relação de espiras que o de referência.....	30
Figura 27 – Comparativo de tensão entre o transformador de referência e o de teste.....	30
Figura 28 – Corrente no detector para transformador de teste de menor relação de espiras que o de referência.....	30
Figura 29 – Comparativo de tensão no lado secundário entre o transformador de referência e o de teste.....	31
Figura 30 – Corrente no detector quando relação de espiras do transformador de teste é igual a do transformador de referência.....	31
Figura 31 – Fachada da empresa com os dois postes ao fundo.....	32



Figura 32 – Destaque do poste com transformador instalado ao lado do poste a receber o segundo transformador de alimentação.....	33
Figura 33 – Quadro de medição já edificado.....	33
Figura 34 – Quadro Geral de Distribuição da Empresa.....	34
Figura 35 – Dispositivos e componentes elétricos internos ao Quadro de Distribuição.....	34
Figura 36 – Quadro de força para acionamento de duas máquinas.....	36
Figura 37 – Destaque do Soft-Starter (direita) e do Inversor de frequência (esquerda).....	36
Figura 38 – Vista do Hospital de Boqueirão, com o poste e quadro de medição à esquerda.....	37
Figura 39 – Vista de trás do poste da subestação aérea de baixa tensão com transformador instalado.....	37
Figura 40 – Invólucro de concreto das hastes de aterramento.....	38
Figura 41 – Material para o serviço.....	38
Figura 42 – Condutor de interligação acessando as hastes dentro de seus invólucros.....	39
Figura 43 – Conectores fixando o cabo de interligação da malha às hastes de aterramento.....	39
Figura 44 – Aplicação de massa isolante sobre a conexão cabo e haste.....	39
Figura 45 – Cobertura da massa isolante com plástico e caixa de concreto fechada.....	40
Figura 46 – Condutor de aterramento acessando o quadro de força: condutor nu (a esquerda) e coberto por PVC (a direita).....	40
Figura 47 – Vista geral do Quadro de força e medição.....	41
Figura 48 – Detalhe do cabo de aterramento com conector próprio.....	41
Figura 49 – Foto do transformador a ser instalado.....	42
Figura 50 – Placa de Identificação do Transformador.....	42
Figura 51 – Poste onde será instalado o transformador.....	43
Figura 52 – Quadro de medição da Subestação de Baixa Tensão.....	43
Figura 53 – Vista do galpão em construção.....	44
Figura 54 – Galpão e seu poste de alimentação.....	44
Figura 55 – Rede local de onde será realizada a ligação de energia à empresa.....	45
Figura 56 – Base de polias (talha) a ser posicionada no poste.....	45
Figura 57 – Transformador sendo posicionado próximo ao poste.....	45
Figura 58 Transformador sendo içado pelo gancho.....	46
Figura 59 – (a) Transformador próximo do ponto de instalação. (b) Visão aproximada.....	46
Figura 60 – Vista Panorâmica da Subestação Abrigada.....	47
Figura 61 – Transformador de alimentação atual da empresa e os cabos da nova instalação abrigada.....	48
Figura 62 – Vista da linha de entrega de energia.....	48
Figura 63 – Placas de Alerta de Perigo na porta de entrada da instalação.....	49
Figura 64 – Aterramento de estruturas metálicas.....	49
Figura 65 – Janela de ventilação isolada por grade e aterrada.....	49
Figura 66 – Vista das entradas de ventilação da estrutura.....	50
Figura 67 – Placa de aviso sobre operação indevida das chaves.....	50
Figura 68 – Placa de aviso sobre especificação do transformador.....	51
Figura 69 – Extintores de incêndio com fácil acesso e sinalizados.....	51
Figura 70 – Vista de entrada da subestação.....	51
Figura 71 – Cabine 1 da subestação abrigada.....	53
Figura 72 – Saída da Cabine 1 da subestação.....	53
Figura 73 – Entrada da Cabine 2 da subestação e primeira chave seccionadora trifásica.....	54
Figura 74 – Cabine 2 da subestação.....	54
Figura 75 – Interface de controle do disjuntor da cabine 2.....	55
Figura 76 – Entrada da Cabine 3 e segunda chave seccionadora trifásica.....	55
Figura 77 – Conexão da Chave seccionadora ao Transformador na Cabine 3.....	56
Figura 78 – Alavanca de acionamento da seccionadora.....	56
Figura 79 – Aparelho megômetro utilizado no teste de isolamento.....	57
Figura 80 – Medição de isolamento entre terminal fase do disjuntor e o terra.....	57
Figura 81 – Medição entre fase e terra nos condutores de entrada da subestação (Cabine 1).....	58
Figura 82 – Teste de medição da resistência de terra com o terrômetro.....	58

Figura 83 – Caixa de passagem de cabos subterrâneo com acesso a condutor de terra.....	59
Figura 84 – Conexão das pontas de prova às hastes de aterramento.....	59
Figura 85 – Detalhe das pontas de prova, distanciadas para aplicação do Método de Wenner...	60
Figura 86 – Resistência de terra aferida pelo aparelho.....	60

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

kV = kilo-volt

kVA = kilo-volt-ampère

MRT = Medidor de Relação de Transformação

TTR = do inglês Transformer-turns-ratio, equivalente a MRT

# 1- INTRODUÇÃO

Este documento tem como objetivo apresentar as atividades desenvolvidas no estágio realizado na Transformadores Campinense, sediada na cidade de Campina Grande – PB. O estágio teve duração de pouco mais de dois meses, compreendido entre 20 de Agosto de 2014 e 31 de Outubro de 2014.

Durante o estágio, o foco principal foi o estudo de instrumento responsável pela aferição da razão de transformação, ou relação de espiras, de transformadores, baseando-se em equipamento disponível na empresa. Este estudo iniciou-se pela esquematização dos circuitos constituintes do equipamento, objetivando-se elaborar um modelo que represente seu princípio de funcionamento.

Em paralelo, foram realizadas outras atividades no setor de instalações elétricas, como visitas técnicas a obras e empresas para elaboração ou acompanhamento de execução de projetos.

## 2- A EMPRESA

A Transformadores Campinense atua na área de Equipamentos Elétricos, tendo como enfoque principal o recondicionamento de transformadores de potência e de distribuição de baixa e média tensão, exercendo suas atividades a mais de vinte anos. Sediada no Distrito Industrial de Campina Grande – PB, negocia com clientes e fornecedores de várias cidades do estado, bem como cidades de outros estados da região Nordeste. Em adição, presta consultoria e elabora projetos de instalação de subestações elétricas de baixa e média tensão.

## 3- Instrumento de Medição de Relação de Transformação (TTR)

Os transformadores de potência relacionam vários parâmetros em sua especificação, sendo os mais comuns às tensões de operação de seus terminais (primário e secundário ou outros, se houver) e sua potência (aparente), dados em kV e kVA, respectivamente. Não menos importante, a razão de transformação, ou relação de espiras entre seus terminais, fornece o valor necessário para que se empregue o equipamento de forma correta, de modo a se obter a tensão desejada em um par de terminais.

Existem várias formas de se obter essa relação, seja aferindo o número de espiras de cada um de seus enrolamentos ou empregando uma fonte de tensão alternada para alimentar um dos enrolamentos enquanto se observa a tensão induzida no outro enrolamento. Entretanto, há uma forma mais prática de descobrir este valor ao se utilizar um medidor de relação de transformação, também conhecido por MRT ou por TTR

Este instrumento normalmente mede a relação de espiras de enrolamentos de transformadores até o valor de 130, podendo medir ainda a relação de até 330 com o uso de equipamentos auxiliares. É composto basicamente de mostradores de corrente e de tensão de excitação, indicador de nulo, chaves seletoras com diferentes valores multiplicativos ( $\times 10$ ,  $\times 1$ ,  $\times 0.1$ ), um potenciômetro, um terminal de aterramento, pontas de prova para terminais de baixa e alta tensão e, quando não alimentados diretamente pela rede ou por baterias, um gerador de imã permanente de corrente alternada com operação manual.

Ele se baseia no princípio de comparação das tensões aplicadas e induzidas no transformador que se deseja descobrir a razão de espiras e em um transformador de referência, contido dentro do aparelho. Este transformador de referência pode ter sua razão de transformação modificada pela ação das chaves seletoras, que podem comutar diferentes níveis de *taps*. Quando o ponteiro do detector de nulo indica o valor zero em sua escala, o equilíbrio é atingido, isto é, tanto o transformador sob teste, como o transformador de referência, estão com a mesma relação de espiras. O número composto pelos dígitos da posição de cada chave seletora representa a razão dos enrolamentos do transformador testado. O potenciômetro – geralmente a quarta chave seletora – permite uma variação contínua da relação do transformador interno, de modo a realizar um ajuste fino para obtenção do casamento de relações de ambos os transformadores.

## 4- ATIVIDADES REALIZADAS

Nesta seção serão apresentadas as atividades desenvolvidas no decorrer do estágio supervisionado.

### 4.1- ESTUDO DO TTR

Feitas as considerações iniciais sobre o funcionamento básico de um TTR, descreve-se a seguir o estudo realizado.

A empresa possuía, em seu inventário, um modelo antigo de TTR. Encontrava-se em desuso por não estar funcionando. Trata-se de um aparelho acionado por gerador a manivela, montado em sua caixa-embaladora. No painel encontram-se três chaves seletoras (com ajuste de  $\times 10$ ,  $\times 1$  e  $\times 0,1$ , respectivamente), um potenciômetro (4º seletor) para ajuste fino, três medidores (voltímetro, amperímetro e detector de nulo), além de um terminal de conexão para aterramento do instrumento.

O passo inicial foi analisar o exterior do equipamento, recolhendo informações sobre o nome do fabricante e estado dos componentes como medidores, cabos e garras (ou pontas de prova). Na figura 1 é apresentada uma vista geral do TTR em estudo. Já nas figuras 2 e 3 mostra-se detalhes do painel, dos cabos e das pontas de prova.



Figura 1 – Vista geral do TTR em estudo.



Figura 2 – Painel do TTR, contendo chaves seletoras e medidores.



(a)



(b)

Figura 3 – Estado de conservação de cabos e pontas de medição. (a) Conectores secundários. (b) Conectores primários.

Em seguida, procedeu-se com a desmontagem do instrumento de medição, conforme é ilustrado na figura 4. Seguindo os conselhos dados pelo diretor da empresa, esboços/rascunhos em papel das ligações e conexões foram elaborados à medida que o



desmonte prosseguia, de forma a não perder algum detalhe que comprometesse o estudo e uma futura remontagem.

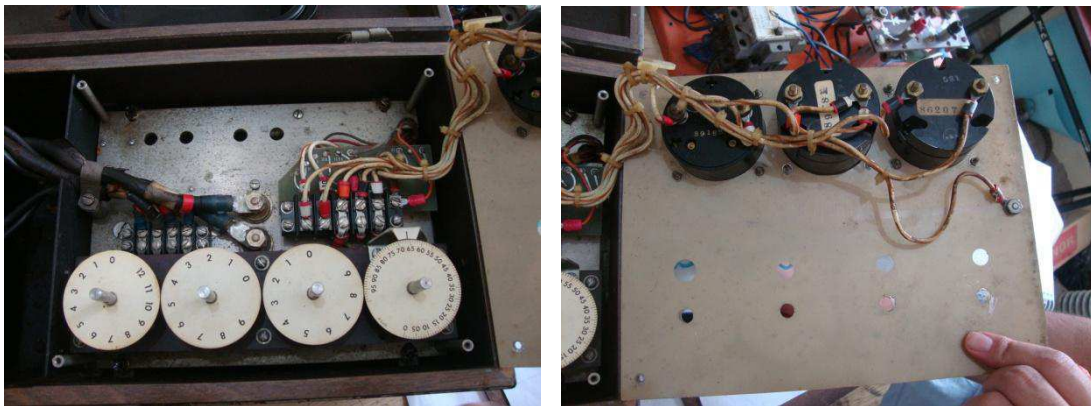


Figura 4 – Desmontagem do painel do TTR.

Após a remoção da tampa superior que continha os medidores (um voltímetro e um amperímetro para medir tensão e corrente de excitação, além de um detector de nulo) e das placas de conexão que conectavam as pontas de prova, o desmanche continuou com a remoção dos suportes da placa do circuito de detecção, de acordo com a figura 5.

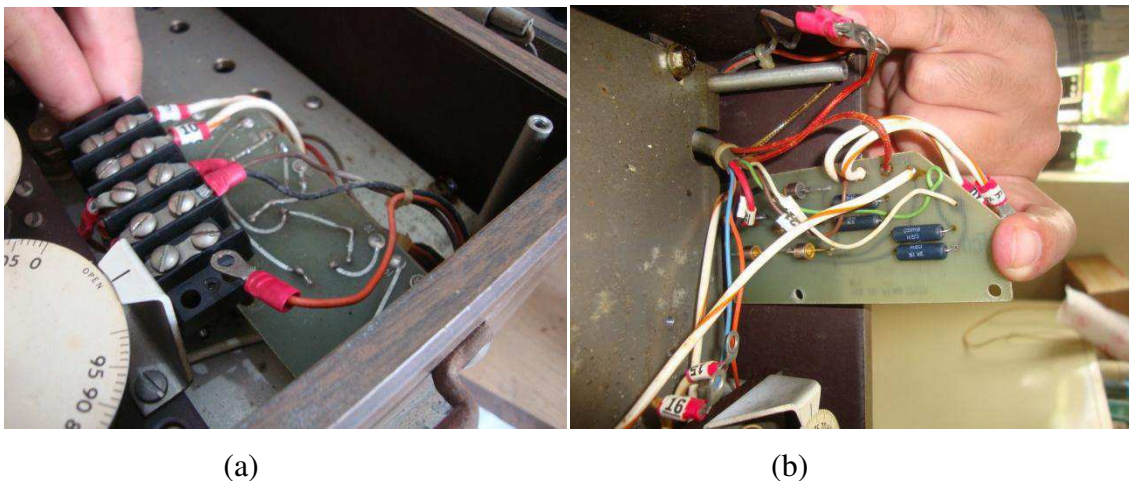


Figura 5 - Placa do circuito de medição. (a) Presa na placa de suporte. (b) Visão inferior da placa.

A base das chaves seletoras de taps do transformador interno encontrava-se presa a placa base do equipamento, além dos parafusos de fixação, pelos fios que interligavam a chave ao transformador interno. A remoção completa da placa base,



mostrada na figura 6, permitiu preservar intactas essas ligações, e facilitou os atos de inspeção e esquematização destas partes constituintes. A figura 7 apresenta o interior da caixa envoltório, ressaltando o gerador.

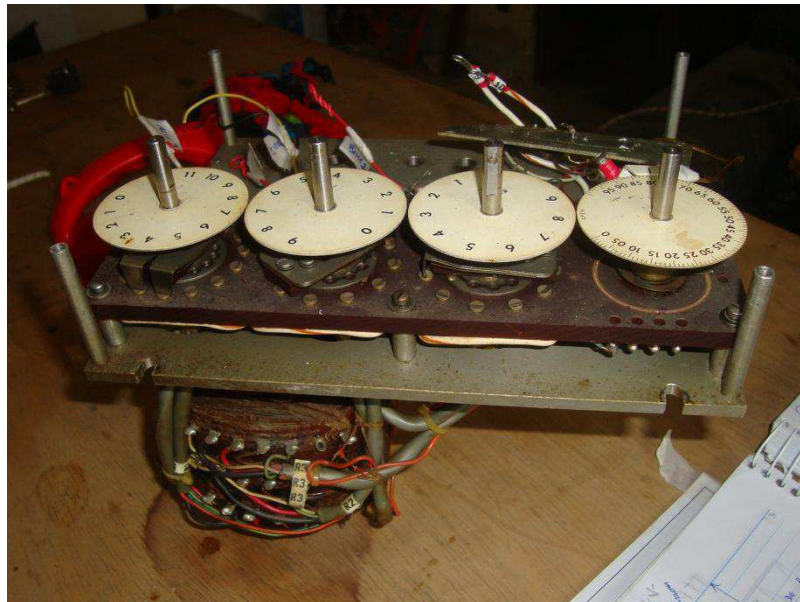


Figura 6 – Placa base do TTR e periféricos separados da caixa envoltória.

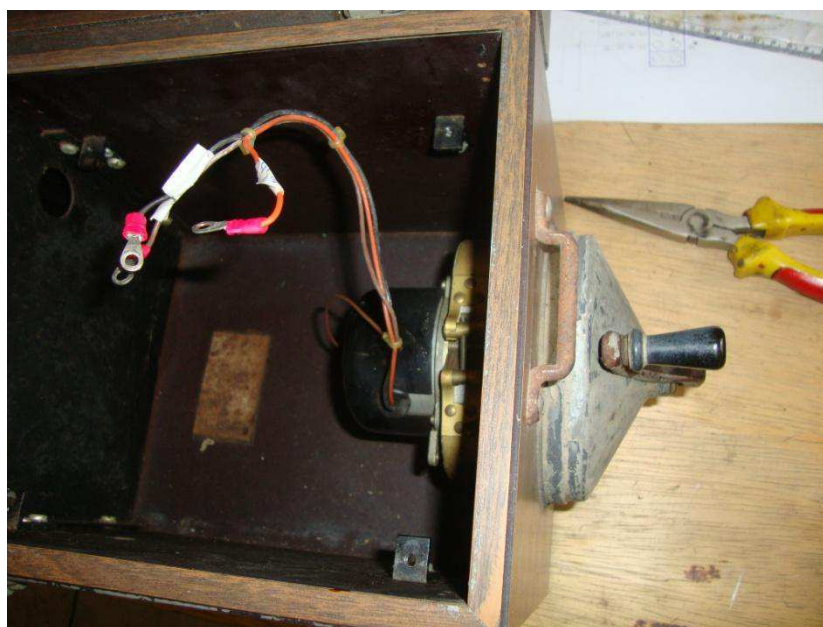
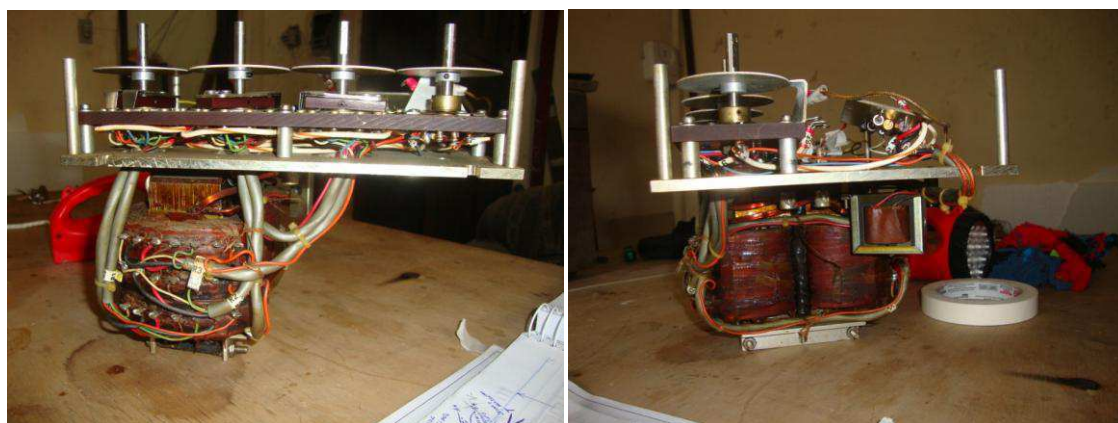


Figura 7 – Visão da caixa sem a placa base, evidenciando a parte interna do gerador e seus terminais.

A partir deste momento, a elaboração dos esboços foi conduzida com mais cautela e detalhamento, à medida que as ligações entre os componentes ficavam mais complexas.

A figura 8 ilustra a placa base com os componentes internos, enquanto a figura 9 detalha os componentes contituintes



(a)

(b)



(c)

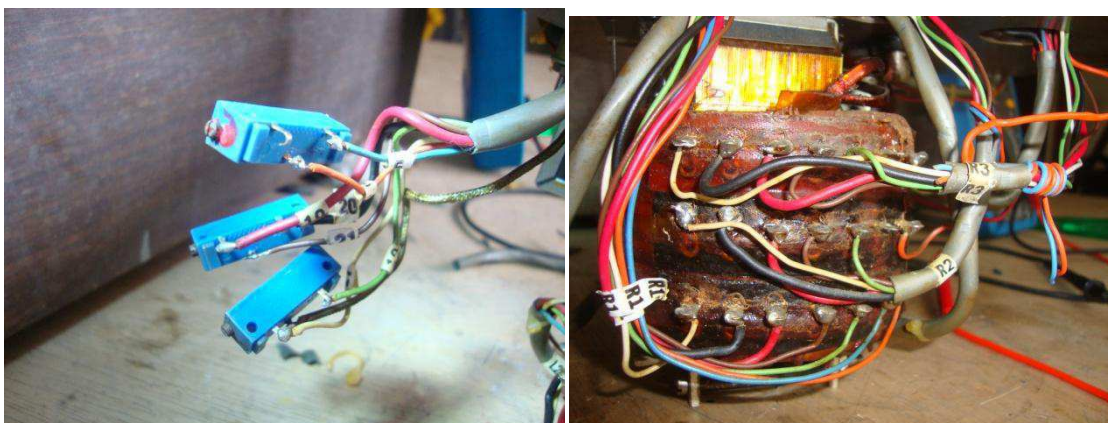
Figura 8 – Placa base com componentes internos do TTR.





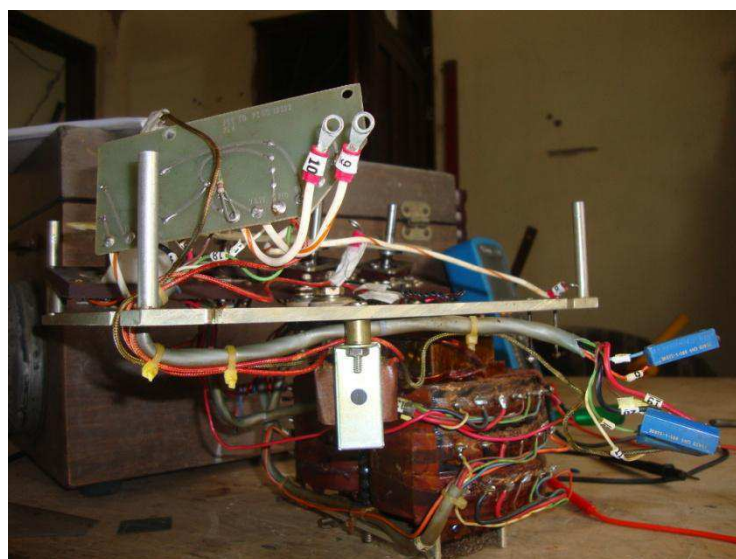
(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

Figura 9 – Detalhes dos componentes: (a) transformador interno de referência (maior) e do transformador de isolamento (menor); (b) derivações (taps) do lado esquerdo (L); (c) trimpots (potenciômetros); (d) derivações do lado direito (R); (e) conexões entre a placa de medição, o transformador de isolamento e os trimpots.

Concluída a etapa de esquematização dos componentes do TTR, foram elaborados diagramas de circuitos em desenho manual e em ambiente AutoCAD para representar o diagrama elétrico geral do equipamento. A metodologia adotada foi buscar a simplificação dos diagramas, visando-se aproximar cada vez mais de modelos simples e idealizados dos vários componentes eletroeletrônicos constituintes como resistores, potenciômetros, diodos, transformadores, etc. Este processo de simplificação é fundamental para facilitar a análise do circuito do equipamento, como mostram as figuras 10 e 11.

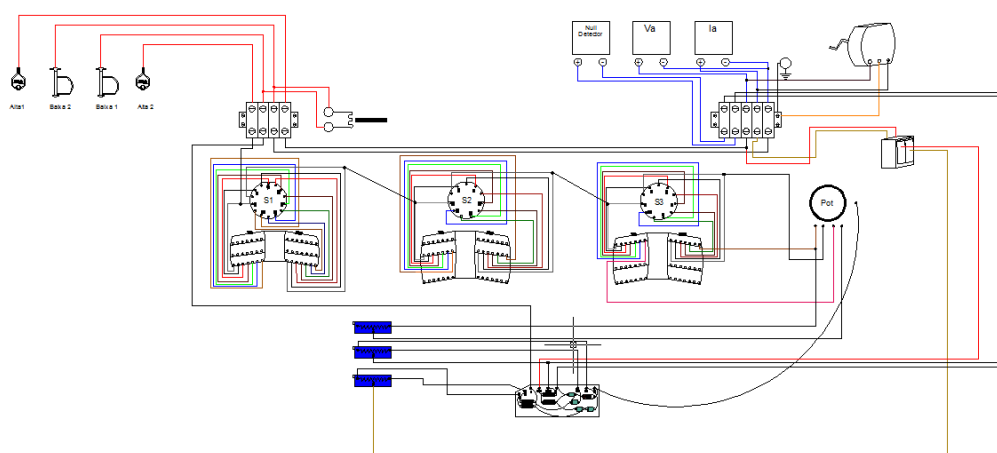


Figura 10 – Diagrama elétrico de fiação desenhado no AutoCAD.

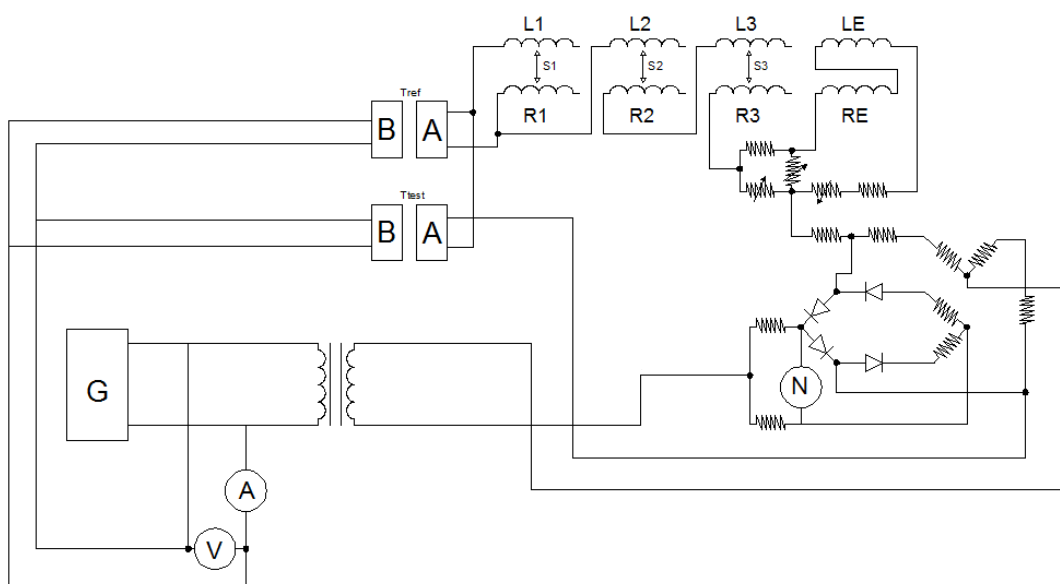


Figura 11 – Diagrama esquemático simplificado desenhado no AutoCAD.

Deu-se continuidade ao estudo do TTR com a realização de testes e medições. O gerador movido a manivela funcionava corretamente, fornecendo tensão alternada em 60 Hz com valores de pico superiores à 8 volts, padrão comum em instrumentos de medição como esse em questão, não alimentados por energia proveniente da rede ou por baterias. A figura 12 apresenta teste realizado com o gerador para alimentar um transformador de relação de transformação de 4.1:1.



Figura 12 – Gerador do TTR sendo utilizado para alimentar um transformador de relação 4.1:1 pelos terminais de baixa tensão (terminais superiores).

Após estar separado da placa base, mediram-se as resistências e indutâncias dos taps do transformador interno do aparelho. Com o auxílio de um outro TTR de propriedade da empresa, também foram medidas as razões de espiras entre os terminais de baixa tensão e os taps presentes no lado de alta tensão do transformador de referência interno, como indicado na figura 13.





(a)

(b)

Figura 13 – Transformador de referência submetido a um TTR para aferição da relação de espiras de suas derivações.

Esses dados são importantes caso seja necessário reconstruir o transformador de referência, que deve possuir contagem exata de espiras entre as derivações.

Ao término dos testes, decidiu-se por remontar o aparelho em estudo de forma mais acadêmica, na qual suas partes constituintes foram instaladas em uma base de suporte grande que permitiu organizá-los mais espaçadamente, facilitando sua visualização e eventuais necessidades de reparação.

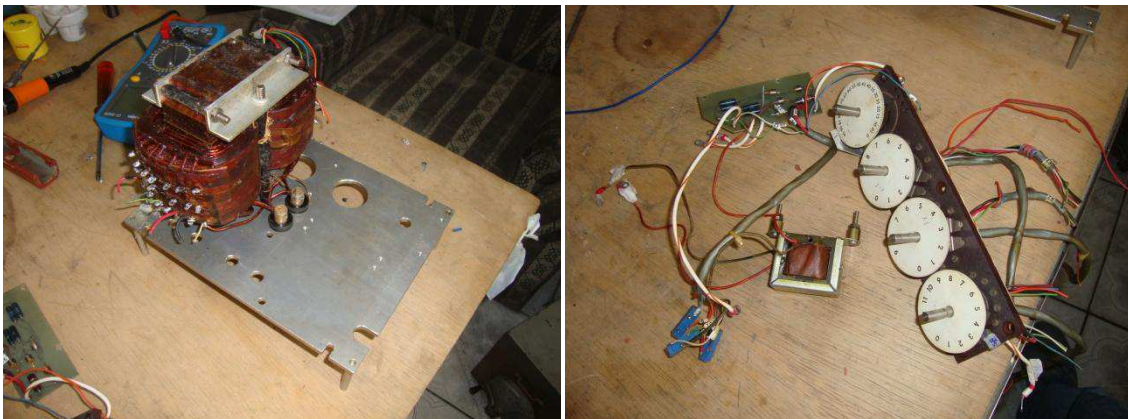


Figura 14 – Remoção dos fios das derivações do transformador interno e separação dos demais componentes.

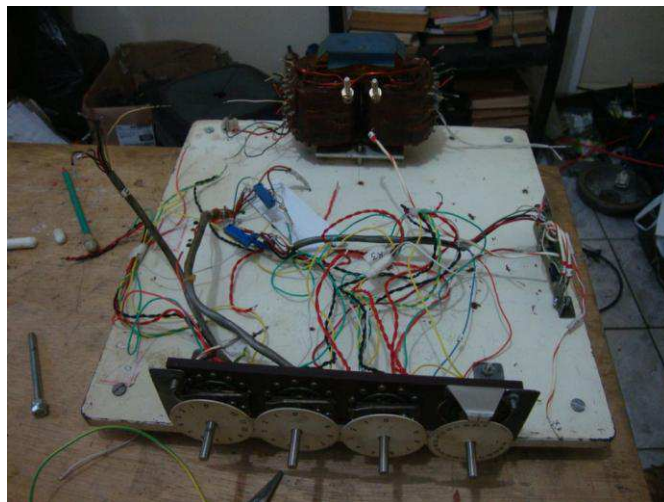


Figura 15 – Instalação do transformador, base de chaves seletoras e placa de medição em uma nova base de suporte.

Concluídas as etapas de simplificação do diagrama elétrico do TTR, iniciou-se o processo de análise do mesmo, visando compreender o seu funcionamento e como o detecção de nulo determinava quando as razões de transformação do transformador testado e o de referência se apresentavam iguais ou diferentes.

O circuito de detecção é composto por uma fonte de alimentação alternada (a mesma que alimenta os transformadores), um transformador de isolamento (suprimido no diagrama) e um retificador síncrono, tendo em seu interior conectado um microamperímetro DC de zero central.

O retificador síncrono trata-se de uma ponte retificadora de diodos, em que um dos braços contém resistores – provenientes de um potenciômetro. Este tipo de ponte é muito comum em circuitos de modulação para comunicação, daí a razão de seu nome. Além desses resistores, há outros que interligam a fonte ao retificador e outro potenciômetro, responsável pelo equilíbrio da ponte. Um diagrama deste circuito é mostrado na figura 16.

Para simular este circuito utilizou-se o ambiente virtual Simulink, contido no pacote do software MatLab. Por meio das simulações, evidenciou-se o funcionamento do circuito de detecção e como os resistores afetam a calibração do mesmo.





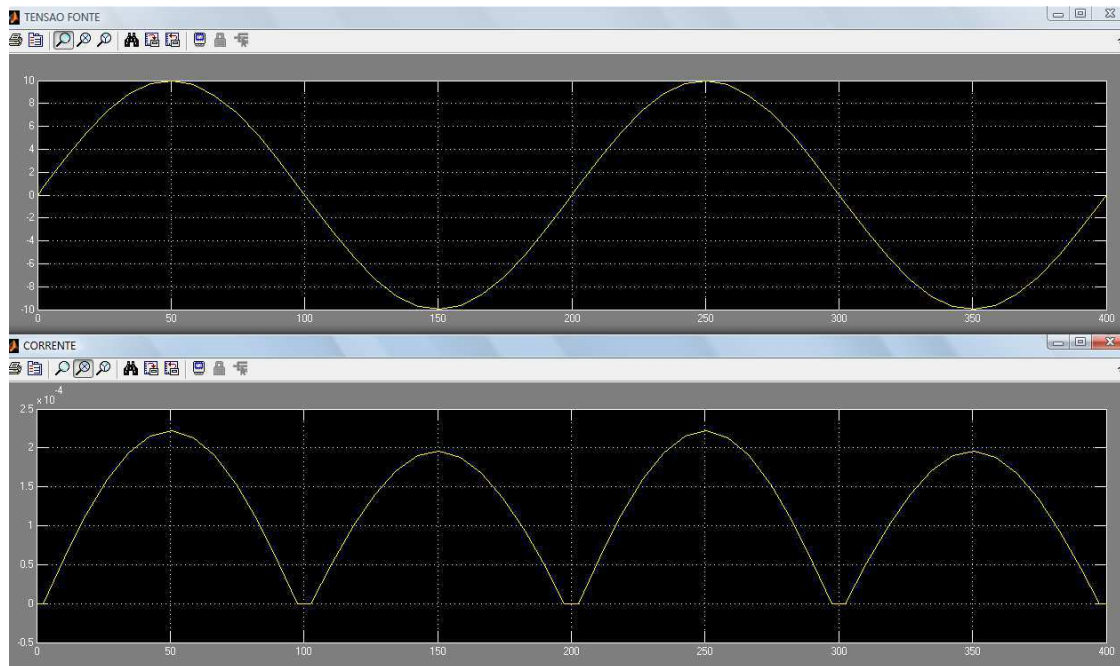


Figura 17 – Tensão na fonte e corrente no detector para ponte desequilibrada.

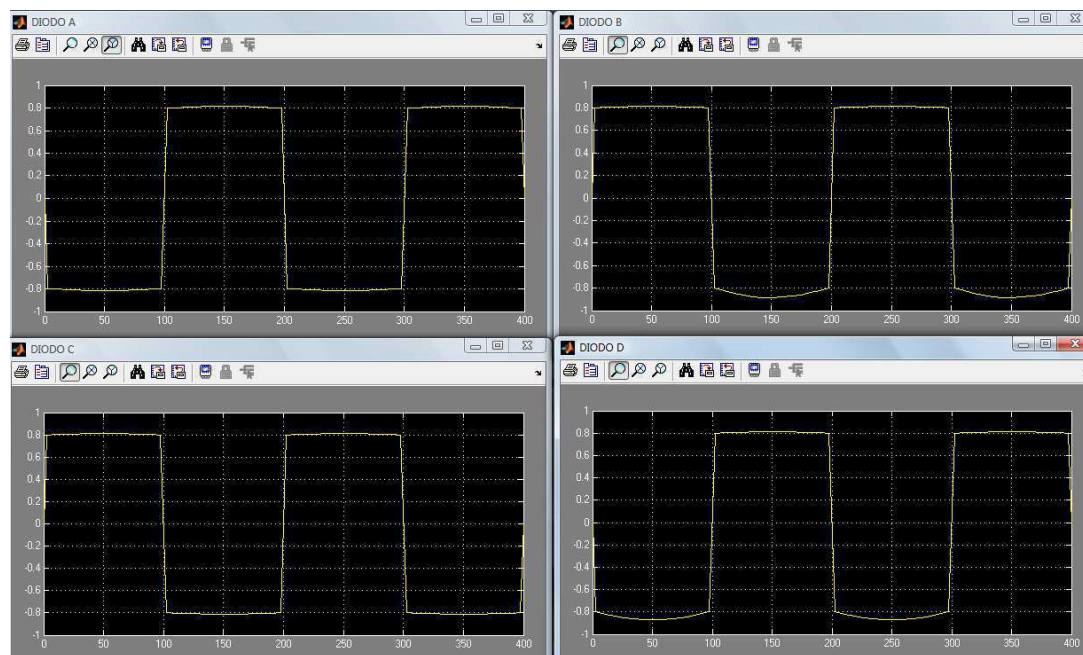


Figura 18 – Tensão nos diodos para ponte desequilibrada.

Análise semelhante é feita quando a resistência inferior ( $r_5$ ) é menor, resultando numa corrente média negativa sobre o amperímetro, conforme figura 19.

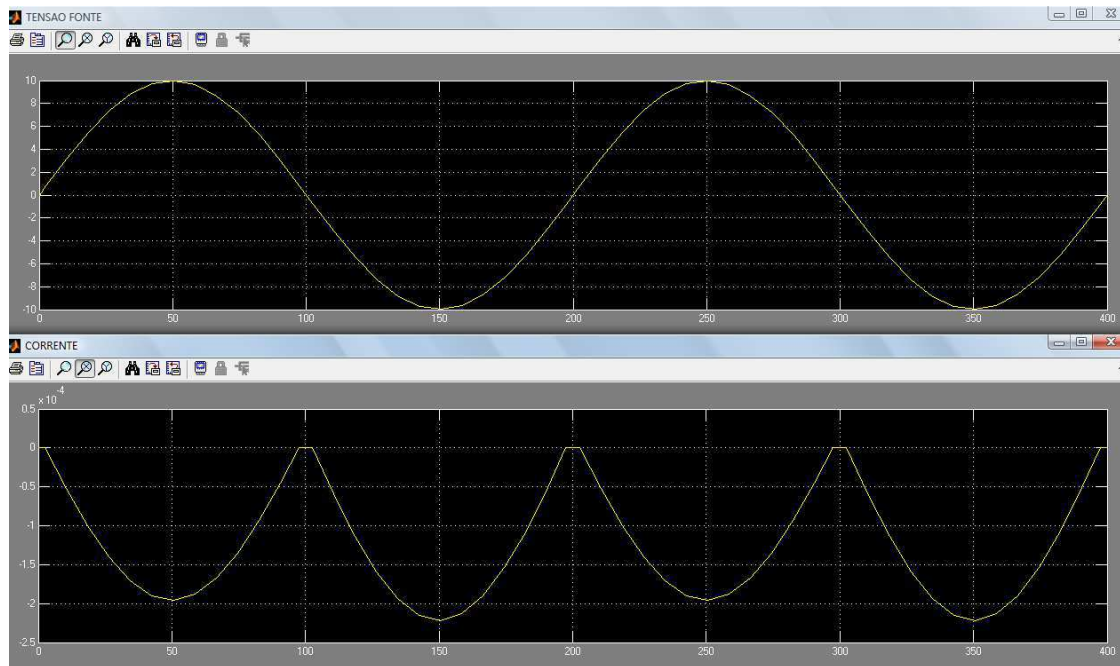


Figura 19 – Tensão na fonte e corrente no detector para ponte desequilibrada.

Quando as resistências superiores e inferiores são iguais, a ponte fica equilibrada e a corrente no amperímetro se alterna entre os semiciclos senoidais, apresentando valor médio igual à zero (figura 20).

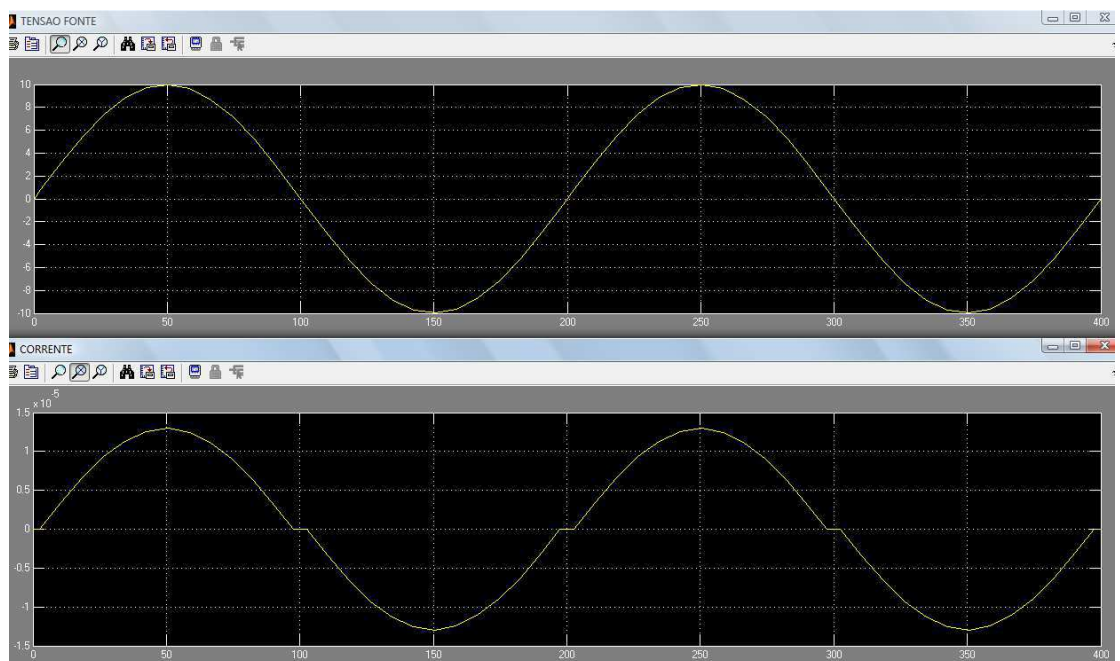


Figura 20 – Tensão na fonte e corrente no detector para ponte equilibrada.

As formas de onda de tensão dos diodos para corrente média negativa e corrente média nula permaneceram iguais às registradas para a ponte desequilibrada e corrente média positiva.

Acrescentando os transformadores ao circuito anterior, tem-se o seguinte diagrama de blocos simplificado representado na figura 21. Note que, assim como o transformador de isolamento, as chaves e o potenciômetro foram omitidos para fins de simulação.

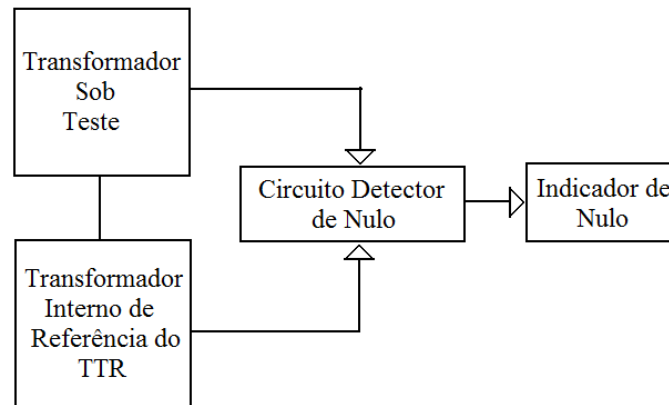


Figura 21 - Diagrama de blocos simplificado

No diagrama de simulação da figura 22, os transformadores (de teste e de referência) foram modelados como fontes de tensão, de amplitude superior ao gerador, e interligadas ao circuito de detecção pelos terminais superior e inferior da ponte retificadora síncrona.

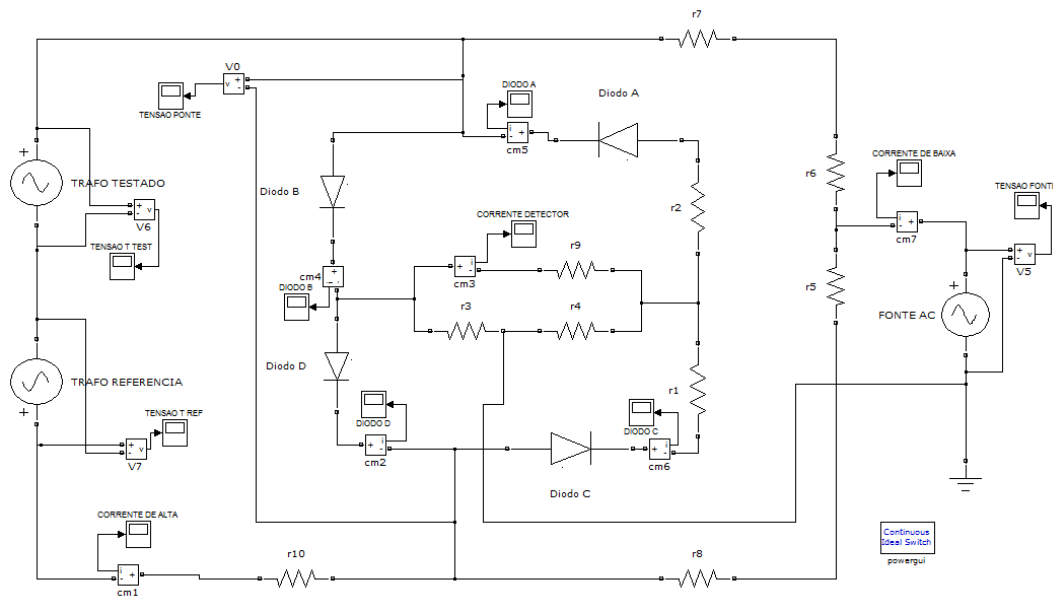


Figura 22 - Diagrama de simulação do circuito completo.

Para o circuito completo do TTR, contendo os transformadores e circuito de medição, supõe-se que o retificador síncrono está equilibrado. Caso contrário, o galvanômetro indicaria corrente média negativa ou positiva quando os transformadores estiverem com relações de espiras iguais, o que seria indesejável.

Têm-se três casos possíveis: 1) o transformador sob teste apresenta relação de espiras maior que o do transformador de referência; 2) o transformador sob teste apresenta relação de espiras menor; 3) ambos os transformadores apresentam a mesma relação de espiras.

Para o 1º caso (figuras 23, 24 e 25), a tensão maior da fonte superior polariza os diodos B e D (A e C ficam bloqueados) no semiciclo positivo da fonte. No semiciclo negativo, a tensão da fonte inferior se torna maior e os diodos C e A são polarizados diretamente (D e B são reversamente polarizados).

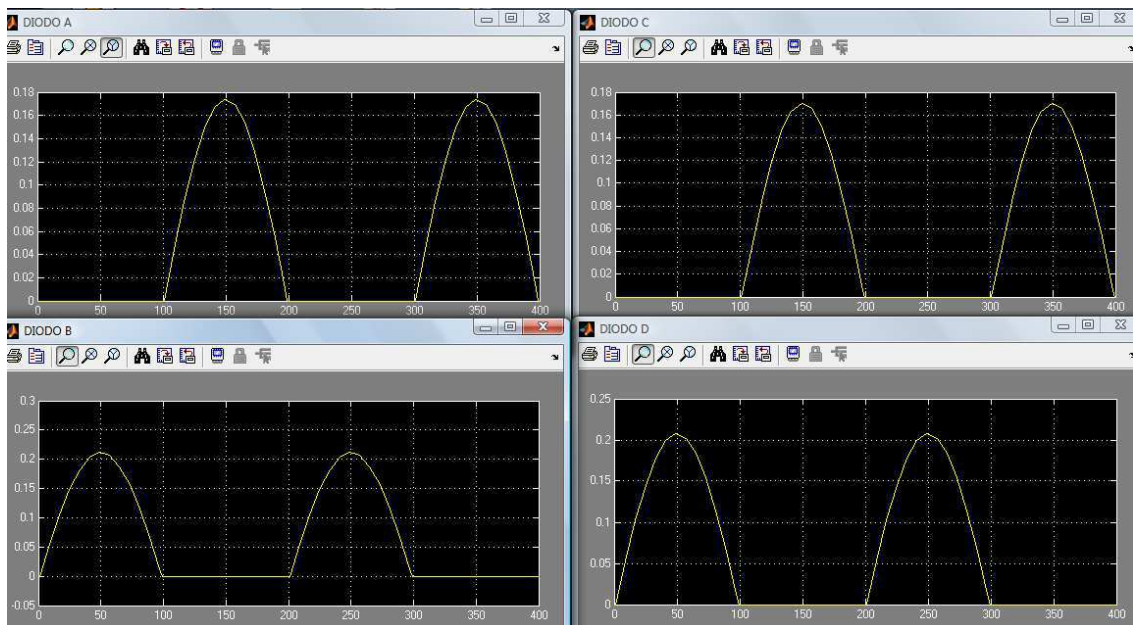


Figura 23 – Corrente nos diodos para transformador de teste de maior relação de espiras que o de referência.

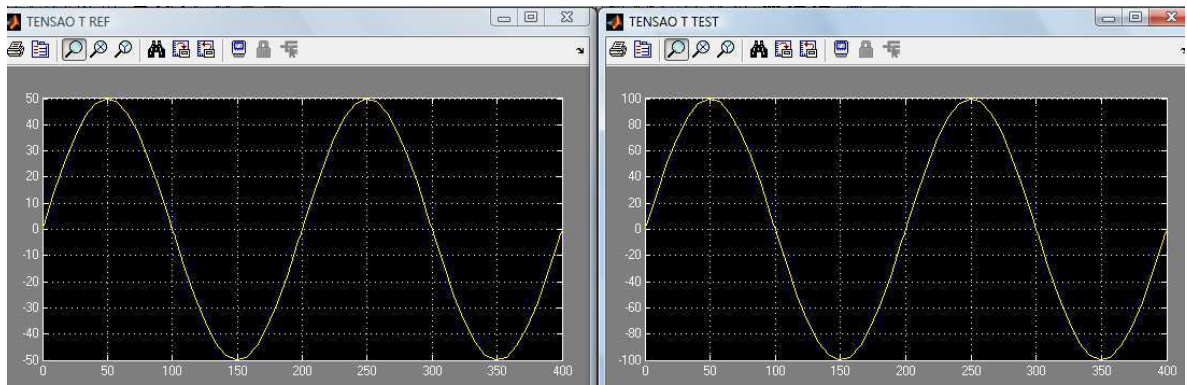


Figura 24 – Comparativo de tensão entre o transformador de referência e o de teste.

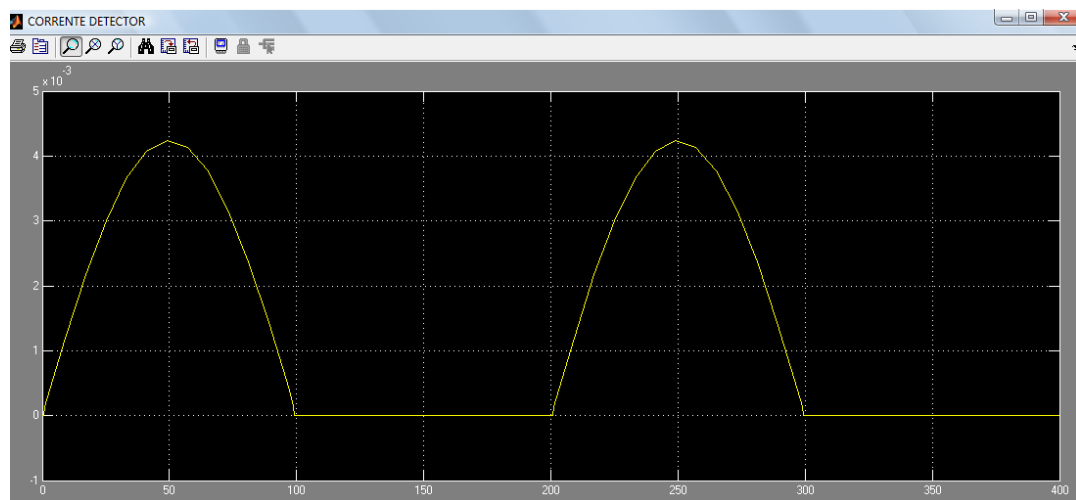


Figura 25 – Corrente no detector para transformador de teste de maior relação de espiras que o de referência.

Contudo, vale salientar que a função primordial das fontes (ou transformadores) é simplesmente polarizar os diodos e estabelecer o caminho de condução, já que a referência das tensões no circuito se encontra no terminal do gerador. Como pode ser observado, a fonte ligada ao circuito de detecção é quem fornece a corrente que atravessará o galvanômetro e este, por sua vez, indicará se haverá ou não corrente circulando pelos terminais secundários dos transformadores.

No 2º caso (figuras 26, 27 e 28) ocorre o inverso da situação descrita para o 1º caso.



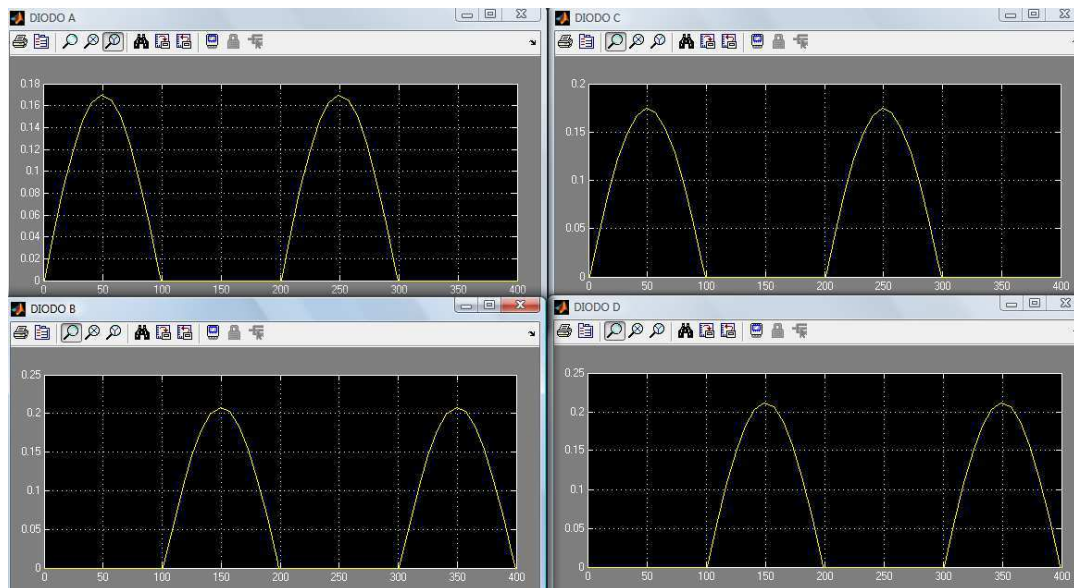


Figura 26 – Corrente nos diodos para transformador de teste de menor relação de espiras que o de referência.

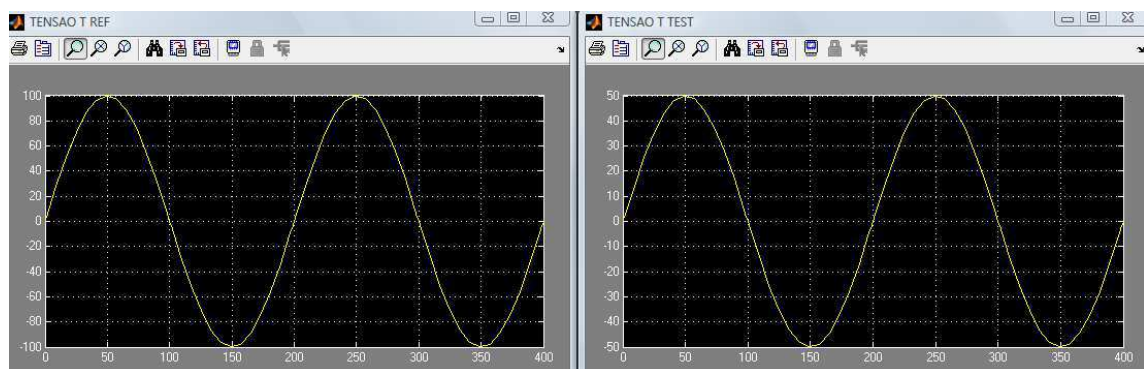


Figura 27 – Comparativo de tensão entre o transformador de referência e o de teste.

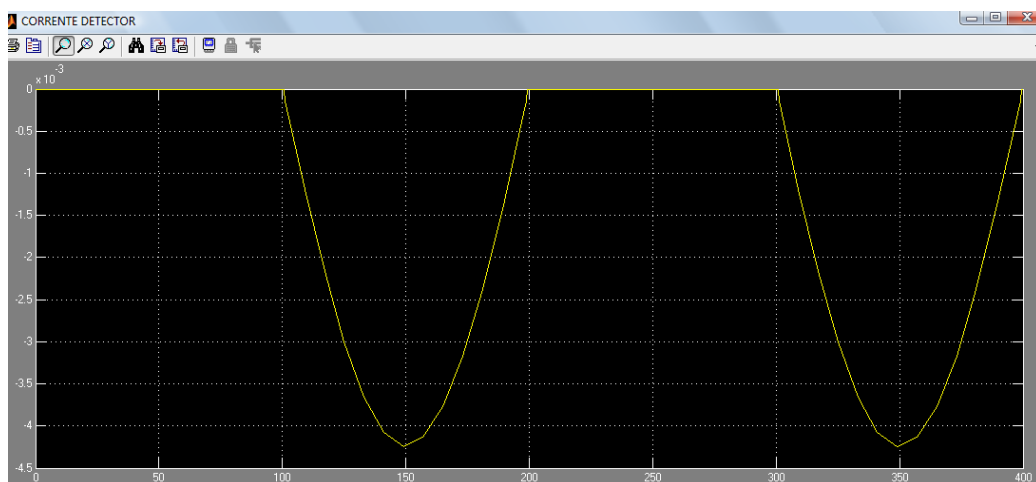


Figura 28 – Corrente no detector para transformador de teste de menor relação de espiras que o de referência.

No 3º caso (figuras 29 e 30), como as razões de transformação são equivalentes, não há circulação de corrente pelos terminais secundários de ambos os transformadores e tem-se o mesmo resultado observado para o circuito de detecção isolado com a ponte equilibrada, isto é, o galvanômetro informa corrente média zero, conforme figura 30.

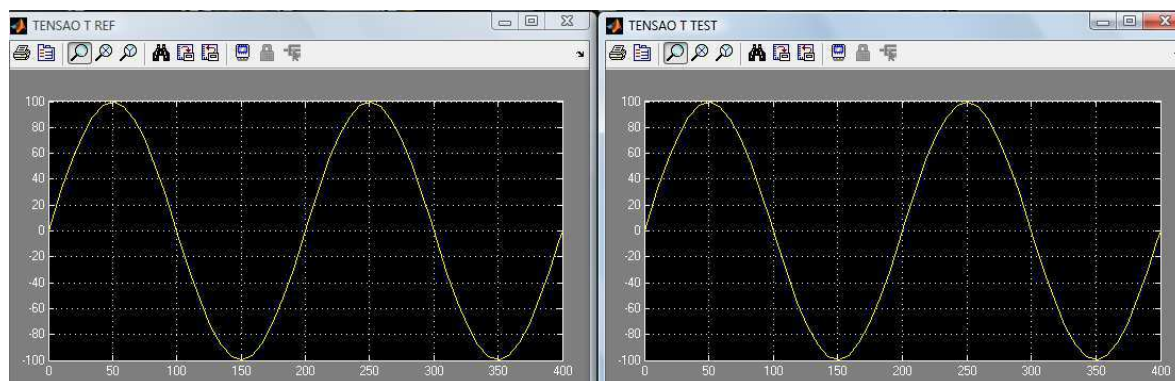


Figura 29 – Comparativo de tensão no lado secundário entre o transformador de referência e o de teste.

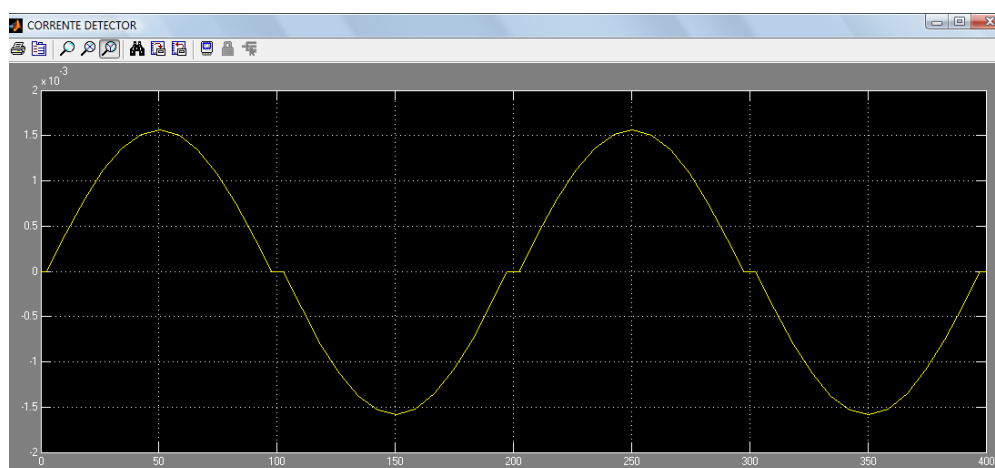


Figura 30 – Corrente no detector quando relação de espiras do transformador de teste é igual a do transformador de referência.

Dessa forma, quando o ponteiro do detector de nulo indicar a posição central (zero), os valores informados pelas chaves seletoras representarão o valor da relação de espiras do transformador testado.

## 4.2 – VISITAS TÉCNICAS

Destacam-se nesta seção as principais visitas técnicas, das várias realizadas em diversas empresas.

### 4.2.1 – EMPRESA MINERADORA EM SOLEDADE

A primeira empresa visitada foi uma mineradora localizada no município de Soledade - PB, que tinha como atividades a extração e processamento de minérios e de compostos argilosos para produção de argamassa e produtos do gênero. Para isso recorria a amplo uso de motores em sua instalação.

A empresa pretendia adquirir um novo transformador para alimentação de seu recinto. Assim, ela entrou em contato com a empresa Transformadores Campinense informando que gostaria de instalá-lo em um poste já edificado (figura 32) e com quadro de medição já construído (figura 33), próximo a outro que já continha um transformador abaixador trifásico 13,8 kV/220 V. Para isso, ela solicitou um projeto elétrico para alimentação deste novo transformador pela rede de distribuição primária local.



Figura 31 – Fachada da empresa com os dois postes ao fundo.





(a) (b)  
Figura 32 – Destaque do poste com transformador instalado ao lado do poste a receber o segundo transformador de alimentação.



Figura 33 – Quadro de medição já edificado.

Para elaboração do projeto, foi avaliada a necessidade de instalação de mais um poste para suporte do ramal de entrada vinda da rede de baixa tensão primária para o novo transformador, além do levantamento de cargas a serem abastecidas pelo mesmo.

Adicionalmente, pode-se vistoriar o serviço empreendido pelo eletrotécnico da empresa nos quadros de distribuição e de força para o acionamento das máquinas operadoras, mostrado nas figuras 34 e 35.



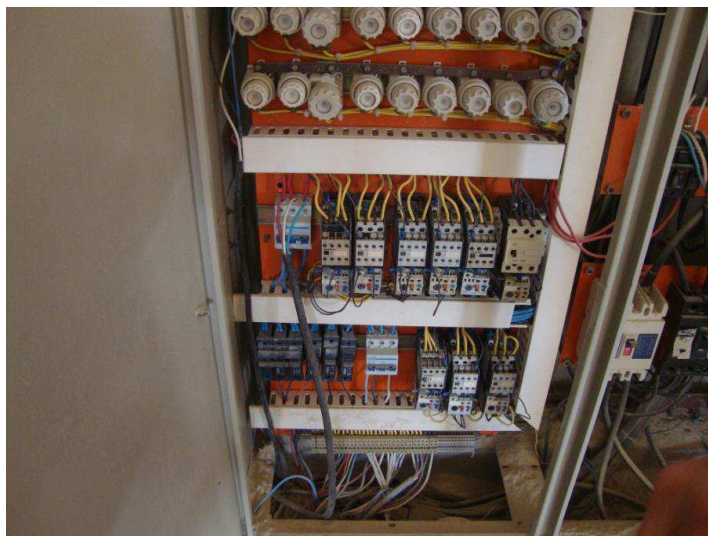
Figura 34 – Quadro Geral de Distribuição da Empresa.



(a)



(b)



(c)

Figura 35 – Dispositivos e componentes elétricos internos ao Quadro de Distribuição.

Cabe ressaltar que, segundo a norma regulamentadora NR-10, foram constatadas algumas irregularidades, como falta de sinalização de perigo de estrutura energizada e de identificação dos quadros, placas ou avisos de informações adicionais sobre o quadro.

Em outro quadro de força (figura 36), destaca-se o arranjo adotado para acionamento de dois motores de indução. Há um soft-starter, isto é, um módulo para partida suave dos motores, de forma a minimizar a queda de tensão e aumento da intensidade da corrente drenada da rede de alimentação. Conjugado a ele, há um inversor de frequências com um pequeno visor e botões de comando, responsável por controlar a velocidade e outros parâmetros de funcionamento dos motores. Ambos estão ilustrados na figura 37. Um inconveniente relatado pelo técnico residia no fato de que o esquema de conexões atual impedia o acionamento de ambas às máquinas simultaneamente, pois apenas um contator por vez poderia ter sua bobina alimentada. Propôs-se uma mudança no arranjo, de modo que ambos os contatores pudessem ser alimentados ao mesmo tempo.





(a)

(b)

Figura 36 – Quadro de força para acionamento de duas máquinas.



(a)

(b)

Figura 37 – Destaque do Soft-Starter (direita) e do Inversor de frequência (esquerda).

#### 4.2.2 – HOSPITAL MUNICIPAL DE BOQUEIRÃO

A prefeitura de Boqueirão havia solicitado um projeto de subestação aérea de baixa tensão para abastecer o hospital local (figura 38). O transformador foi encomendado à Transformadores Campinense.

No dia da visita, o transformador já estava instalado em seu poste de suporte (figura 39), o quadro de medição já se encontrava edificado e os cabos de baixa tensão das fases estavam pré-instalados. Os cabos de alta tensão seriam instalados em outro momento.



Figura 38 – Vista do Hospital de Boqueirão, com o poste e quadro de medição à esquerda.

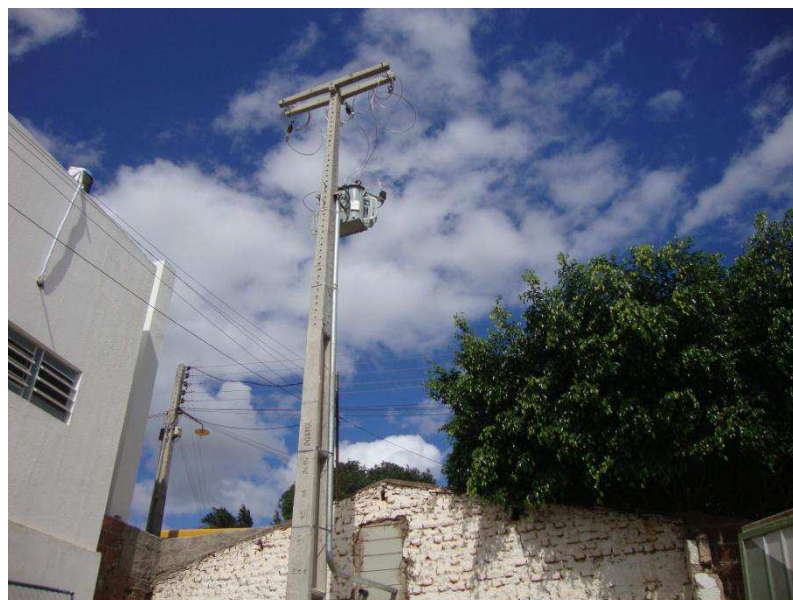


Figura 39 – Vista de trás do poste da subestação aérea de baixa tensão com transformador instalado.

No referido dia, pôde-se acompanhar o serviço de interligação da malha de aterramento da obra. O espaço destinado à malha já havia sido demarcado e escavado e



as hastes de aterramento encontravam-se fincadas ao solo. Ao redor de cada uma delas foi erguida uma caixa circular com tampa, ambos de concreto, segundo a figura 40.



Figura 40 – Invólucro de concreto das hastes de aterramento

Pequenas galerias nos invólucros de concreto permitiam a passagem do cabo de interligação das hastes. Além do cabo, foram utilizados conectores próprios para fixar o cabo de interconexão às hastes de aterramento, para compor a malha, e uma espécie de massa isolante, chamada de massa de calafeta, como ilustram as figura 41, 42 e 43. Aplicou-se esta massa sobre a conexão para evitar o processo de oxidação e, depois envolvida por uma manta plástica para proteção contra a ação da umidade (figuras 44 e 45).



Figura 41 – Material para o serviço.





(a)

(b)

Figura 42 – Condutor de interligação acessando as hastes dentro de seus invólucros.



(a)

(b)

Figura 43 – Conectores fixando o cabo de interligação da malha às hastes de aterramento.



(a)

(b)

Figura 44 – Aplicação de massa isolante sobre a conexão cabo e haste.





(a)

(b)

Figura 45 – Cobertura da massa isolante com plástico e caixa de concreto fechada.

Após o fechamento dos invólucros de concreto, guiou-se o condutor de aterramento da base do invólucro mais próximo até o quadro de medição (figura 46-a). Visando não deixar o condutor exposto, cobriu-se temporariamente ele com um cabo de PVC (figura 46-b) até que uma solução definitiva seja depois tomada.



(a)

(b)

Figura 46 – Condutor de aterramento acessando o quadro de força: condutor nu (a esquerda) e coberto por PVC (a direita).

A figuras 47 apresenta o quadro de força e medição da instalação, enquanto na figura 48 é destacado o cabo de aterramento.





Figura 47 – Vista geral do Quadro de força e medição.



Figura 48 – Detalhe do cabo de aterramento com conector próprio.

#### 4.2.3 – GALPÃO INDUSTRIAL EM CAMPINA GRANDE

Esta visita acompanhou o serviço de instalação de um transformador de distribuição em uma subestação de baixa tensão aérea para abastecer um futuro empreendimento comercial e industrial situado próximo à alça sudoeste, em Campina Grande - PB . O poste e o quadro de medição já haviam sido edificados, enquanto o sistema de aterramento ainda encontrava-se em construção.



(a)

(b)

Figura 49 – Foto do transformador a ser instalado.



Figura 50 – Placa de Identificação do Transformador.

Observa-se na figura 49 o transformador a ser instalado no poste. A figura 50 apresenta a placa de identificação do transformador. Já as figuras 51 e 52 ilustram o poste e o quadro de medição edificados, constituintes da subestação aérea.



Figura 51 – Poste onde será instalado o transformador.



Figura 52 – Quadro de medição da Subestação de Baixa Tensão.

Uma vista do galpão é apresentada na figura 53, enquanto a figura 54 situa a localidade do poste da subestação diante da obra. A figura 55, por sua vez, mostra a rede de distribuição local de onde será realizada a ligação para a futura empresa.





Figura 53 – Vista do galpão em construção.



Figura 54 – Galpão e seu poste de alimentação.



Figura 55 – Rede local de onde será realizada a ligação de energia à empresa.

Devido à indisponibilidade de um caminhão guindauto para realizar a tarefa de içar o transformador até seu local de fixação no poste, utilizou-se um sistema de polias e cabos para efetuar o procedimento. Uma base contendo duas polias, conhecida popularmente por talha (figura 56), deve ser fixada no ponto mais alto do poste, enquanto que outro dispositivo mecânico com alavancas aparentes, chamada de tifoide, é preso próximo à base do poste. Este aparato é o responsável por tracionar os cabos de suporte para que o transformador seja erguido.



Figura 56 – Base de polias (talha) a ser posicionada no poste.



Figura 57 – Transformador sendo posicionado próximo ao poste.

Após a instalação dos dispositivos mecânicos de suporte, posicionou-se o transformador próximo ao poste para iniciar o procedimento (figura 57). Com o auxílio de uma haste extensora, acionava-se a alavanca da tifoide para tracionar os cabos para erguer o transformador (figura 58), e prosseguia-se dessa forma até que o mesmo ficasse no local de sua instalação (figura 59). Normalmente, o transformador é instalado no décimo oitavo furo, partindo do topo do poste para baixo. Neste ponto, um parafuso é colocado em um dos furos do poste, servindo de apoio para a base de suporte do equipamento, que possui cavidade apropriada para o encaixe do parafuso de suporte.



Figura 58 Transformador sendo içado pelo gancho.



(a)

(b)

Figura 59 – (a) Transformador próximo do ponto de instalação. (b) Visão aproximada.

#### 4.2.4 – INDÚSTRIA DE UTENSÍLIOS DE ALUMÍNIO EM PATOS

Uma fábrica de utensílios de alumínio, sediada às margens da BR-230 e próxima à cidade de Patos-PB, solicitou ao engenheiro supervisor um laudo de isolamento e de aterramento para a subestação de energia abrigada, recentemente construída. Para a elaboração do laudo, além de uma inspeção realizada nas instalações, foram medidas as resistências de isolamento entre diversos equipamentos da subestação, bem como a medição da resistência de aterramento da instalação. A figura 60 ilustra a subestação abrigada. As figuras 61 e 62 mostram o transformador e a rede de alimentação atual.



(a)



(b)

Figura 60 – Vista Panorâmica da Subestação Abrigada.





Figura 61 – Transformador de alimentação atual da empresa e os cabos da nova instalação abrigada.



Figura 62 – Vista da linha de entrega de energia.

A primeira atividade realizada foi à inspeção da estrutura e se a mesma estava atendendo aos requisitos da norma regulamentadora. Observaram-se placas de alerta na entrada da instalação, alertando sobre o perigo de recinto energizado. Todas as janelas de ventilação da estrutura abrigada estavam gradeadas e devidamente aterradas, assim como outras partes metálicas, como as portas por exemplo. No interior, grades metálicas isolam os equipamentos em funcionamento das pessoas. Há também placas de aviso, como de operação indevida das chaves seccionadoras, e de especificação do transformador. O recinto conta com extintores de incêndio devidamente sinalizados.





Figura 63 – Placas de Alerta de Perigo na porta de entrada da instalação.

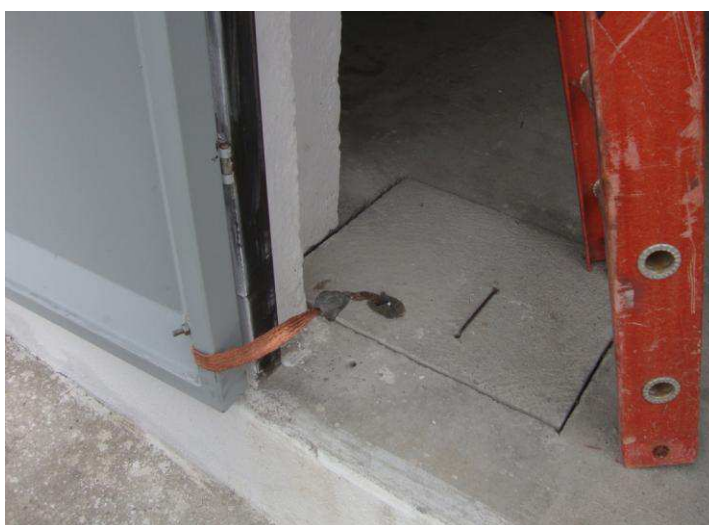


Figura 64 – Aterramento de estruturas metálicas.



Figura 65 – Janela de ventilação isolada por grade e aterrada.



Figura 66 – Vista das entradas de ventilação da estrutura.



Figura 67 – Placa de aviso sobre operação indevida das chaves.

As figuras 63 a 69 ilustram o emprego de placas de avisos diversos para sinalização, de aterramentos de estruturas e janelas, e dispositivos de segurança contra incêndio em adequação com a norma regulamentar NR-10.



Figura 68 – Placa de aviso sobre especificação do transformador.



Figura 69 – Extintores de incêndio com fácil acesso e sinalizados.



Figura 70 – Vista de entrada da subestação.

Falando sobre a subestação, trata-se de uma instalação abrigada, cuja tensão de entrada é de 13,8 kV e tensão de saída de 380 V (entre fases) e 220 V (fase e neutro). Por ser abrigada, deve atender as exigências da norma X. A mesma é composta por três cabines, onde foram instalados os seguintes componentes:

Cabine 1: Condutores de entrada isolados por mufla;

Para-raios;

Transformadores de Corrente (TCs);

Transformadores de Potencial (TPs);

Isoladores de porcelana.

Cabine 2: Isoladores de porcelana;

Chave seccionadora (tipo faca) trifásica de acionamento manual;

Transformadores de Potencial (TPs);

Disjuntor trifásico 17,5 kV/16kA.

Cabine 3: Isoladores de porcelana;

Chave seccionadora (tipo faca) trifásica de acionamento manual;

Transformador trifásico 500 kVA 13,8kV/ 380-220V;

Condutores de saída.

Na saída do transformador, os condutores atravessam eletrodutos que entram no quadro geral de força, conectando-se a um disjuntor de onde saem condutores a alimentar os demais quadros de força e luz da empresa.

As figuras 71 a 78 apresentam os ambientes internos de cada cabine, mostrando os equipamentos instalados em cada uma, bem como os dispositivos e instrumentos externos a elas, como o painel de interface do disjuntor e a alavanca de acionamento da chave seccionadora.



Figura 71 – Cabine 1 da subestação abrigada.



Figura 72 – Saída da Cabine 1 da subestação.





Figura 73 – Entrada da Cabine 2 da subestação e primeira chave seccionadora trifásica.

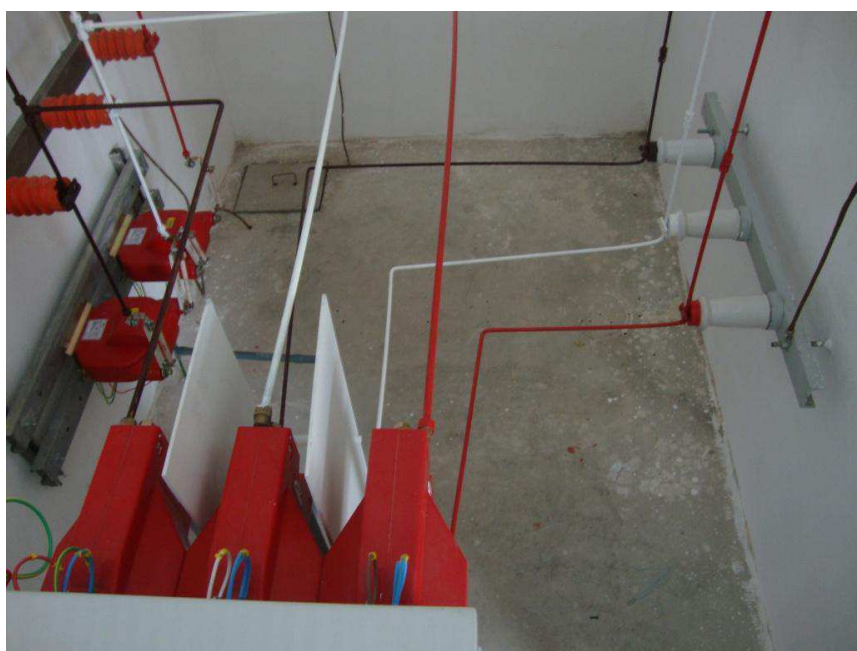


Figura 74 – Cabine 2 da subestação.



Figura 75 – Interface de controle do disjuntor da cabine 2.



Figura 76 – Entrada da Cabine 3 e segunda chave seccionadora trifásica.



Figura 77 – Conexão da Chave seccionadora ao Transformador na Cabine 3.



Figura 78 – Alavanca de acionamento da seccionadora.

A segunda tarefa foi efetuar medidas da resistência de isolamento entre as fases e entre as fases e o terminal de terra dos vários equipamentos contidos nas cabines. Para tanto, usou-se o aparelho teste de isolamento, megômetro (figura 79), cujo acionamento era feito por manivela quando as pontas de prova estavam conectadas aos terminais ou conexões de interesse.



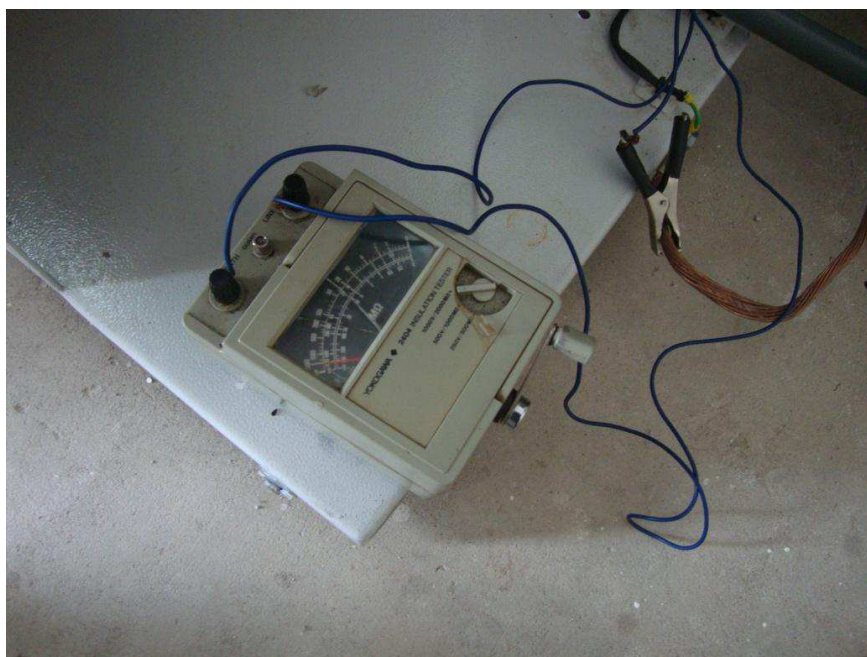


Figura 79 – Aparelho megômetro utilizado no teste de isolamento.



Figura 80 – Medição de isolamento entre terminal fase do disjuntor e o terra.

As figuras 80 e 81 ilustram o uso do megômetro para aferir a resistência de isolamento entre terminal fase e o terra do disjuntor, e entre os condutores de fase da entrada e o terra na cabine 1, respectivamente.



(a)

(b)

Figura 81 – Medição entre fase e terra nos condutores de entrada da subestação (Cabine 1).

Em seguida, utilizou-se o aparelho terrômetro para medir a resistência de terra do local. Para aplicar o método de Wenner, as pontas de prova do instrumento foram conectadas a hastes e condutor de aterramento, espaçados igualmente por uma mesma distância. Efetuaram-se medidas de resistência em outras direções, usando o condutor de aterramento da caixa de passagem como marco zero. Constatou-se que, pela média das medidas realizadas, o valor estava dentro do previsto pela norma NBR-5419.



Figura 82 – Teste de medição da resistência de terra com o terrômetro.



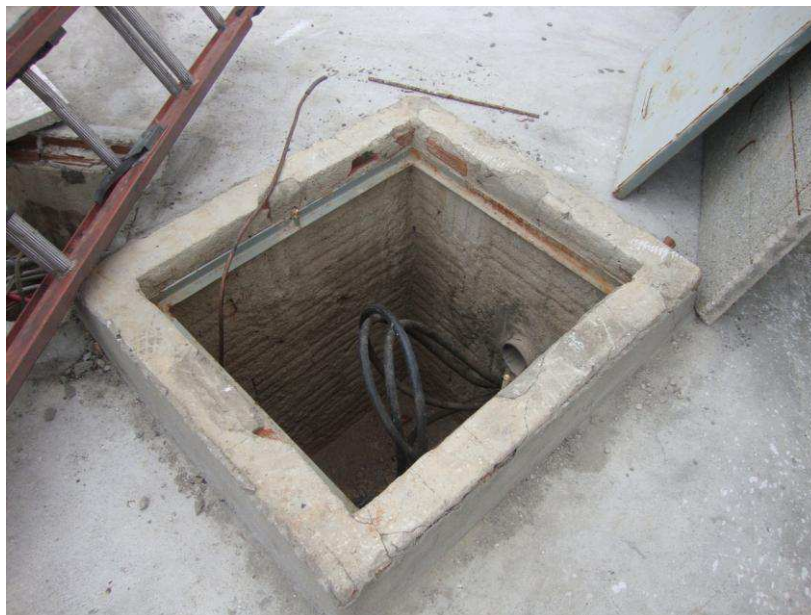


Figura 83 – Caixa de passagem de cabos subterrâneo com acesso a condutor de terra.



Figura 84 – Conexão das pontas de prova às hastes de aterramento.

O uso do terrômetro para aplicação do Método de Wenner está ilustrado na figura 82. A figura 83 mostra o local para acesso do condutor de aterramento da instalação. Já as figuras 84 e 85 destacam o espaçamento e as pontas de prova presas às hastes condutoras, enquanto a figura 86 apresenta o valor de resistência mostrado no display do instrumento de medição.



Figura 85 – Detalhe das pontas de prova, distanciadas para aplicação do Método de Wenner.



Figura 86 – Resistência de terra aferida pelo aparelho.

A partir das medições efetuadas na data da inspeção, o estagiário contribuiu para a elaboração do laudo de isolamento e de aterramento, que foi entregue a empresa dentro do prazo estabelecido.

## 5- CONCLUSÃO

Conclui-se que as atividades propostas durante o estágio relatado foram realizadas com êxito, pois o estudo do instrumento de medição de relação de espiras de transformadores, o TTR, resultou numa análise mais aprofundada que somente a documentação dos componentes e suas interações com os demais, no qual pôde-se compreender e explicar seu princípio de funcionamento. De forma análoga, as visitas técnicas abordaram novos temas dentro do escopo das instalações elétricas e das subestações de energia de baixa e média tensão, ilustrando os procedimentos, as ferramentas, as pessoas e os ambientes de trabalho.

Constata-se que, além de possibilitar a aplicação de vários conhecimentos adquiridos ao longo da vida acadêmica, a experiência prática recompensou o aluno com novos ensinamentos, novas metodologias para concepção e gestão de processos e uma visão mais acurada do mercado de trabalho. Esta visão não pode ser construída somente através do que é apresentado e discutido nas instituições de ensino, evidenciando a importância deste tipo de estágio.

O convívio dentro do ambiente da empresa em que se realizou o estudo do TTR, e das demais empresas e locais de trabalho visitados, foi bastante positivo e permitiu o contato com pessoas de vários níveis da esfera social, propiciando intercâmbio de ideias e experiências e contribuindo para o aperfeiçoamento profissional e pessoal do futuro engenheiro.

Várias disciplinas do curso de graduação tiveram grande participação na elaboração deste trabalho, destacando-se Equipamentos Elétricos e muitas disciplinas de laboratório que introduziram os conceitos básicos e os primeiros contatos com o TTR e os softwares de simulação, respectivamente. Os ambientes virtuais, como AutoCAD e Simulink foram essenciais na produção dos desenhos e diagramas esquemáticos, como nas simulações dos circuitos do aparelho em estudo. Cita-se também a disciplina de Instalações Elétricas, que fornece os conceitos fundamentais para a elaboração e execução criteriosa de projetos elétricos, bem como de sua análise, de forma a ressaltar o que está de acordo com as normas vigentes que regulamentam as atividades da área e atuar sobre o que não está de acordo com tais normas.

## 6- REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

**MILASCH, Milan.** *Manutenção de Transformadores em Líquido Isolante*. Ed. Edgard Blicher. São Paulo – SP. 1984.

**COTRIM, Ademaro A. M. B.** *Instalações Elétricas*. 4ª Edição. Editora Pearson. 2ª reimpressão, 2006.

**MTE.** Ministério de Trabalho e Emprego. NR-10: *Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade*. 2004.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 5410: *Instalações elétricas de baixa tensão*. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS.** NBR 5419: *Proteção de estruturas contra descargas atmosféricas*. Rio de Janeiro: ABNT, 2005.

**COSTA,** Edson Guedes e **MACÊDO,** Ana Vitória de Almeida. *Guia de Experimento: Medição de Resistência de um Sistema de Aterramento e Resistividade do Solo*. Laboratório de Equipamentos Elétricos. DEE – CEEI – UFCG. Campina Grande. Versão revisada, 2011.

**FERNANDES,** Darlan Alexandria; **FERREIRA,** Hέλvio Alves e **COSTA,** Edson Guedes. *Guia de Experimentos com Transformador de Distribuição*. Laboratório de Equipamentos Elétricos. DEE – CEEI – UFCG. Campina Grande. Versão atualizada, 2008 (pág 13 e 33).