



UNIVERSIDADE LUTERANA DO BRASIL
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA



MAURO ALVES NUNES

**MEDIÇÃO DA UMIDADE INTERNA DE TRANSFORMADORES
IMERSOS EM ÓLEO DE FORMA NÃO INVASIVA ATRAVÉS DA
VERIFICAÇÃO DA TENSÃO DE RECUPERAÇÃO.**

Canoas, Dezembro de 2012



MAURO ALVES NUNES

**MEDIÇÃO DA UMIDADE INTERNA DE TRANSFORMADORES
IMERSOS EM ÓLEO DE FORMA NÃO INVASIVA ATRAVÉS DA
VERIFICAÇÃO DA TENSÃO DE RECUPERAÇÃO.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Departamento:
Engenharia Elétrica

Área de Concentração:
Medidas Elétricas, Magnéticas e Eletrônicas.

Professor Orientador:

MSc. Eng. Eletricista. Dalton Vidor – CREA-RS: 79.005-D

Canoas, 2012



FOLHA DE APROVAÇÃO

Nome do Autor: Mauro Alves Nunes

Matrícula: 052006449-6

Título: Medição da Umidade Interna de Transformadores Imersos em Óleo de Forma não Invasiva Através da Verificação da Tensão de Recuperação.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Elétrica da ULBRA como um dos requisitos obrigatórios para a obtenção do grau de Engenheiro Eletricista.

Professor Orientador:

Professor MSc. Eng. Eletricista. Dalton Vidor

CREA-RS: 79.005-D

Banca Avaliadora:

Professor MSc. Eng. Eletr. Luis Fernando Espinosa Cocian

CREA-RS: 88.866-D

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Professor Dr. Eng. Eletr. João Carlos Vernetti dos Santos

CREA-RS: CREA-RS: 45282

Conceito Atribuído (A-B-C-D):

Assinaturas:

Autor
Mauro Alves Nunes

Orientador
Msc. Eng. Eletr. Dalton Vidor

Avaliador
Msc. Eng. Eletr. Luis Fernando
Espinosa Cocian

Avaliador
Dr. Eng. Eletr. João Carlos
Vernetti dos Santos

Relatório aprovado em: ____/____/____.



DEDICATÓRIA

Dedico aos meus pais por tudo o que eles são e fizeram por mim, pois esse sonho também é deles.

À minha esposa, por suportar minha ausência durante intermináveis horas de trabalho.



AGRADECIMENTOS

A todos que colaboraram direta ou indiretamente na elaboração deste trabalho, o meu reconhecimento.

Aos professores pelo estímulo, dedicação e esforço pessoal proporcionado, em especial ao meu Orientador pela atenção dispensada nas orientações buscadas nos momentos mais inoportunos.

Aos colegas e amigos do caminho que por diversas oportunidades, dispensaram atenção e sugeriram melhorias.

As Empresas que colaboraram, à Alston pelas oportunidades das visitas as dependências, à GKN do Brasil pelo subsídio a esta graduação.

Aos familiares que toleraram a ausência por sucessivas vezes e aos colegas graduandos pelas sugestões e observações valiosas.



EPIGRAFE

"Se vi mais longe foi por estar de pé sobre
ombros de gigantes."
Isaac Newton



RESUMO

NUNES, Mauro Alves. **Medição da Umidade Interna de Transformadores Imersos em Óleo de Forma não Invasiva através de Verificação da Tensão de Recuperação.** Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Elétrica - Departamento de Engenharia Elétrica. Universidade Luterana do Brasil. Canoas, RS. 2012.

Este trabalho mostra o desenvolvimento de um instrumento para obter informações sobre a umidade interna dos transformadores isolados com papel imersos em óleo. Para tanto, foi desenvolvido um protótipo para medir a umidade liberada pelo papel através da medição da tensão de recuperação obtida através de ciclos de polarização e relaxação do meio isolante do transformador com tensão em corrente contínua. A variação do tempo de polarização e relaxação da tensão é utilizado um microcontrolador PIC16F877A. Os resultados são demonstrados de forma gráfica e armazenados em arquivo em um PC através de uma interface desenvolvida em linguagem voltada ao objeto. Uma fonte de alta tensão e um eletrovoltímetro foram desenvolvidos. Um circuito equivalente a um transformador a óleo com umidade interna de 4% denominado *text box* proposto pelo fabricante do instrumento comercial RVM modelo-5462 foi montado. O instrumento comercial calibrado e o circuito equivalente foram utilizados para aferição das medidas do protótipo por comparação. A técnica de medição de tensão de recuperação foi desenvolvida recentemente e tem sido apresentada em fóruns especializados. O método de medição utilizado é um dos poucos métodos que obtém simultaneamente a umidade contida no óleo e no papel, de forma não invasiva. Os resultados obtidos demonstraram ser possível testar, obter relatórios e gerar históricos sobre a umidade interna de transformadores sem a desmontagem ou retirada de amostras de óleo e papel para análise em laboratório.

Palavras chave: Transformador. Medição. Isolação. Umidade.



ABSTRACT

NUNES, Mauro Alves. **Measurement of Internal Moisture in Oil Immersed Transformers Form Noninvasive through Tension Check Recovery.** Work of Conclusion of Course in Electrical Engineering - Electrical Engineering Department. Lutheran University of Brazil. Canoas, RS. 2012.

This work shows the development of an instrument to obtain information about the internal moisture of paper insulated transformers immersed in oil. The state of isolation transformers immersed in oil is an important factor for its operation and of great interest to many areas of following supply and consumption of electricity. To this end, a prototype was developed to measure the moisture released by the paper through the polarization and relaxation of the insulating transformer with DC voltage. The time variation of polarization and relaxation of tension is controlled by a microcontroller PIC16F877A which stores the data and sends it via a serial communications port to a computer which gives the results obtained after analysis of the data provided. The same equivalent circuit was tested in a model RVM-5462 for calibration of measurements. The method for assessing the humidity inside the transformer used the technique of measuring voltage recovery. This technique has been presented in specialized forums and recently developed, this study shows a possible design and realized through an engineering project. Measurements performed demonstrate the moisture found in whole oil and insulating paper, one of the few methods to get this information noninvasively This way you can test and obtain reports on the status of transformers without disassembly or removal of oil and paper samples for analysis in laboratory.

Keywords: Transformer. Measure. Isolation. Moisture



LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Transformador de potência a óleo	5
Figura 2 - Detalhes de montagem dos isolantes do núcleo do transformador	6
Figura 3 - Compostos Furânicos	7
Figura 4 - Enrolamentos do transformador	8
Figura 5 - Impedância de instrumentos e limites de medição	9
Figura 6 - circuito de polarização	11
Figura 7 - Equivalente elétrico a geometria do transformador	12
Figura 8 - Circuito equivalente completo	12
Figura 9 - Polarização do circuito	13
Figura 10 - Tensão de polarização	13
Figura 11 - Processo de carga do circuito	14
Figura 12 - Descarga do circuito	14
Figura 13 - Tempo de descarga	15
Figura 14 - Processo de descarga do circuito	15
Figura 15 - Medição da tensão de recuperação	16
Figura 16 - Tensão de Recuperação	16
Figura 17 - Relaxamento do dielétrico	17
Figura 18 - Ábaco do porcentual de umidade	17
Figura 19 - Diagrama de blocos do Hardware	19
Figura 20 - Circuito equivalente	20
Figura 21 - Diagrama do circuito equivalente	20
Figura 22 - Hardware do microcontrolador	21
Figura 23 - Diagrama de blocos do microcontrolador 16F877A	22
Figura 24 - Transformador do circuito de elevação de tensão	23
Figura 25 - Retificador e filtro do circuito de elevação de tensão	23
Figura 26 - Circuito eletrônico de elevação de tensão	23
Figura 27 - Contatores	24
Figura 28 - Eletrovoltímetro	25
Figura 29 - Circuito eletrônico do Eletrovoltímetro	26
Figura 30 - Fonte de alimentação	26
Figura 31 - Protótipo Montado	27
Figura 32 - RVM 5462	27
Figura 33 - Display do RVM 5462	27
Figura 34 - Fluxograma do software	28
Figura 35 - Interface de desenvolvimento	29
Figura 36 - Interface desenvolvida em C++	29
Figura 37 - Protótipo interligado ao Microcomputador	30
Figura 38 - Fluxograma simplificado do firmware	31
Figura 40 - Valores máximos de tensão para polarização de 1 segundo	35
Figura 41 - Valores máximos de tensão para a polarização de 2 segundos	35
Figura 42 - Valores máximos de tensão para a polarização de 5 segundos	36



LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AD – Analógico para Digital

DMM – Digital Multi Meter

EEPROM - Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory

FET – Transistor de Efeito de Campo

Gap – Distância

MIPS - Milhões de Informações por Segundo.

NBR – Norma Brasileira

nVM – Nano Volt Meter

nV PreAmp – Nano Voltímetro Pré Amplificado

PC – Personal Computer

PIC – Periferal Interface Controler

RAM - Random Access Memory

RC - Circuito Resistivo e Capacitivo

RS232 – Protocolo de comunicação

RVM – Recovery Voltage Method

USB – Universal Serial Bus

VCC – Volts Corrente Contínua



LISTA DE SÍMBOLOS

C_g – Capacitor equivalente a geometria do transformador

C_p – Capacitor de Polarização

d – distância

ε - Campo elétrico

C – capacitância

Q – carga elétrica

CO – *Monóxido de Carbono*

CO_2 – *Gás Carbônico*

H_2O – *Água*

I_p - Corrente no circuito de polarização

R_g – Resistor equivalente a geometria do transformador

R_p - Resistor de Polarização

t_c - Tempo de polarização

t_d - Tempo de descarga

τ_d - Constante de tempo de descarga

τ_p - Constante de tempo de carga

U_c - Tensão de polarização

u_{Cp} - Tensão no capacitor de polarização

U_r - Tensão de recuperação

W_{cp} – Energia no capacitor de polarização



SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo Principal.....	3
1.2. Objetivos Especificos.....	3
2. REFERENCIAL TEÓRICO	4
2.1. Polarização e Relaxação Dielétrica.....	4
2.2. Transformadores	4
2.2.1. Isolantes	6
2.2.2. Envelhecimento do Papel Isolante	7
2.2.3. Condutores.....	8
2.3. Eletrovoltímetros	8
2.4. Normas	9
2.5. Tensão de Recuperação.....	10
2.5.1 Circuitos equivalentes	10
2.5.2 Medição da umidade	13
2.6. Microcontroladores	18
3. MATERIAIS E MÉTODOS	19
3.1 Diagrama de Blocos.....	19
3.2. Circuito equivalente	20
3.3. Medição	20
3.4. Placa Microcontrolada	21
3.5. Circuito de Alta Tensão.....	23
3.6. Contatores	24
3.7. Eletrovoltímetro	24
3.8. Fonte de Alimentação	26
3.9. Protótipo Montado	27
3.10. O Instrumento Comercial.....	27
3.11. O Software	28
3.12. O firmware.....	30
4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	33
4.1. Circuito de Alta Tensão.....	33
4.2. O Eletrovoltímetro.....	33
4.3. Aquisição pela Placa de Desenvolvimento.....	34
4.4. Demonstração das Medidas pela Interface	34
4.5. Comparação da Medição.....	35
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	37
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39
OBRAS CONSULTADAS	41
APÊNDICE A – ELETROVOLTÍMETRO	43
APÊNDICE B – CIRCUITO DE ALTA TENSÃO	44
APÊNDICE C – FONTE DE ALIMENTAÇÃO	45
APÊNDICE D – FIRMWARE	46



APÊNDICE E – SOFTWARE	49
APÊNDICE F - MEDIDAS DE TENSÃO DO PROTÓTIPO	57
APÊNDICE G – MEDIDAS RVM TETEX	65
ANEXO A – ESQUEMA ELETRÔNICO.....	66
ANEXO B – ESQUEMA ELETRÔNICO.....	67
ANEXO C – ESQUEMA ELETRÔNICO.....	68



1. INTRODUÇÃO

A medição do envelhecimento dos transformadores de alta tensão isolados por papel e imersos em óleo requer técnicas para a obtenção de dados sobre a sua situação interna. Algumas medições ocorrem de forma invasiva, ou seja, é necessário executar a coleta de amostras do óleo do transformador e do papel e enviá-las para análise em laboratório.

O envelhecimento dos equipamentos elétricos também altera a sua rigidez dielétrica, evidenciada pela alteração irreversível dos materiais dos seus componentes. As causas principais de aceleração do envelhecimento dos transformadores ocorrem pelo estresse proveniente de quatro fontes principais: elétrica, térmica, mecânica e química.

Para a retirada de amostras do óleo, portanto, é imprescindível adentrar na área do cubículo onde o transformador está instalado e acessar a tomada de dreno. Esse procedimento se torna perigoso, pois quando o transformador está energizado, tensões elevadas são aplicadas aos seus terminais. Existem alguns transformadores que não escoam o óleo pela tomada de dreno, pois apresentam pressão interna negativa. Esses transformadores necessitam que a tampa de inspeção superior do transformador ou bocal de abastecimento sejam abertas. Nesses casos, a referida abertura possibilita a entrada de ar para alívio da pressão negativa, bem como, a indesejada entrada de poeiras e umidade, gerando a contaminação do isolante e caracterizando o procedimento como invasivo.

A isolação dos equipamentos elétricos depende da rigidez dielétrica dos componentes internos que os constituem. Os componentes de estado sólido determinam a isolação do sistema, pois estão localizados entre os elementos da parte condutora do transformador ou separando outros componentes internos e as partes metálicas da carcaça. Os isolantes líquidos como os óleos com base parafínica e naftênica podem ser contaminados pela água liberada pela celulose do papel isolante. No entanto, podem ser reparados com mais facilidade por se encontrarem no estado líquido. A restauração da isolação proporcionada pelos



componentes que estão no estado líquido, pode ser executada por substituição simples ou reparando-os por sistemas em filtragem adequados e os reinsertados novamente no transformador. Em ambos os casos, o transformador é drenado e reabastecido. [13]

O diagnóstico do envelhecimento da isolação dos transformadores pode ser realizado através da análise do óleo e do papel separadamente. Neste método, uma amostra do óleo de transformador é extraída e enviada para análise. Embora seja apenas uma amostra, se torna necessário abrir duas conexões: uma para a retirada do óleo e outra para a entrada de ar no transformador. É essa entrada de ar que pode contaminar o isolante e os componentes internos com umidade e poeira. A retirada de amostras do papel é ainda mais invasiva e degradante, pois é necessário retirar tampas de inspeção do transformador e retirar uma amostra do papel, esta amostra será de um ponto somente do transformador e a análise de laboratório é complexa para obter a umidade impregnada no papel.

Portanto, nos testes não invasivos, onde não há abertura do transformador, tampouco é permitida a entrada de ar pelas suas conexões externas mantendo a integridade interna do equipamento, o que permite resultados mais aproximados do real. A avaliação do transformador pode ser feita sem a necessidade de aparatos especializados dos laboratórios químicos, reduzindo o tempo de análise em função de que os laboratórios podem ficar distantes na maioria das ocasiões.

Assim, a proposta desse trabalho é obter uma análise do envelhecimento do transformador de forma não invasiva, utilizando apenas medições elétricas, sem necessidade de abertura da tampa superior do transformador. Para tanto, foi utilizada a técnica de medição da tensão de recuperação – RVM (Recovery Voltage Method). O método pode facilitar, agilizar e tornar mais segura a realização do procedimento de medição dos transformadores de alta tensão.

O desenvolvimento de um projeto de medição através das medições elétricas tornou-se necessário, principalmente, porque outras técnicas existentes não apresentam bons resultados. A técnica utilizada (RVM) é uma das técnicas implementadas de forma comercial, que retorna os percentuais de umidade presentes tanto no óleo quanto no papel.

O método proposto é executado com o transformador desligado e desconectado da rede. A medição pelo método de tensão de recuperação retorna resultados que refletem não somente a situação do óleo isolante, mas também avalia a situação do papel isolante impregnado com óleo. A geometria do transformador não influencia na medição executada através deste método. As



outras técnicas de medição limitam-se tão somente a obtenção de resultados relacionados à situação do óleo isolante, deixando de lado a análise do papel. A avaliação do papel torna-se necessária, visto que este se deteriora ao longo do tempo.

1.1. Objetivo Principal

Implementar um sistema de medição da umidade interna de transformadores isolados em papel e imersos em óleo.

1.2. Objetivos Específicos

Utilizar a técnica de medição da tensão de recuperação (RVM).

Desenvolver um sistema de coleta de valores de medição e gerar gráficos.

Comparar os tempos de obtenção da tensão de recuperação medidos sobre circuito equivalente do transformador.

Alcançar valores de tensão máximos com os mesmos tempos de polarização que o instrumento comercial para comprovar a funcionalidade do projeto.



2. REFERENCIAL TEÓRICO

Neste capítulo será abordada a composição de um sistema de medição de umidade em transformadores imersos em óleo e isolados com papel, bem como a medição de tensão de recuperação dos isolantes internos do transformador.

2.1. *Polarização e Relaxação Dielétrica*

O comportamento dos materiais dielétricos num campo elétrico externo é determinado pelas propriedades de seus dipolos microscópicos. Esses dipolos podem ser permanentes ou induzidos por um campo elétrico externo. Eles têm origem pela separação entre as cargas positivas dos núcleos e as negativas dos elétrons, nos átomos, íons ou moléculas que formam o material. [1]

Capacitores são dispositivos de circuitos elétricos que armazenam energia elétrica do deslocamento relativo entre as cargas positivas e negativas do material, quando submetidos a um campo elétrico. [1]

Capacitores de placas planas afastadas de uma distância d , quando submetidos a uma diferença de potencial V (volts) produzem um campo elétrico com intensidade $\mathcal{E} = V/d$, no sentido da placa positiva para a placa negativa. A capacitância C pode ser determinada pela divisão do módulo de carga Q pela diferença de potencial V aplicada $C=Q/V$, conhecida como capacitância geométrica [1].

O óleo isolante e o papel que envolve as camadas de condutores das bobinas do enrolamento do núcleo transformador podem ser considerados como os dielétricos de um capacitor, enquanto que os componentes metálicos dos enrolamentos e a caixa metálica do transformador podem ser considerados as placas metálicas do capacitor. Desta forma, a isolação do transformador pode ser medida como um capacitor.

2.2. *Transformadores*

Um transformador possui como componentes básicos, duas ou mais bobinas ou *enrolamentos*, isolados eletricamente um do outro, enrolados em um mesmo núcleo. O núcleo dos transformadores, em geral, é feito de um material de elevada

permeabilidade magnética relativa, composto de ligas de materiais ferrosos como o aço. O primário de um transformador é o enrolamento conectado à fonte de tensão e o secundário é o enrolamento que fornece através de seus terminais a tensão transformada. [2]

Os transformadores são utilizados em todas as áreas do sistema de energia, ou seja, na elevação da tensão do sistema de geração, na interligação da geração com a transmissão e na interligação desta com a subtransmissão e distribuição, que é feita com transformadores elevadores e rebaixadores de tensão.

Os transformadores a óleo possuem um sistema isolante composto por componentes sólidos como papel isolante, cerâmicas, resinas e uma parte líquida onde é utilizado um tipo de óleo isolante. Este conjunto tem a função de garantir a rigidez dielétrica e mecânica do bobinado. Os transformadores a óleo são os mais comuns e os mais utilizados. [9]

Os transformadores a seco não utilizam óleo e possuem seu bobinado encapsulado em resina. Possuem menor dimensão, porém não são recomendados para utilização em ambientes externos, devido aos problemas de dissipação e peso para as aplicações em tensões elevadas. Tais transformadores são recomendados para aplicações em média tensão em instalações internas. [9]

Os transformadores a óleo possuem diversos formatos. A figura 1 ilustra um transformador de potência a óleo, com aletas para refrigerar o óleo por convecção térmica e ventilação natural.



Figura 1 - Transformador de potência a óleo

2.2.1. Isolantes

Os materiais isolantes têm grande importância para a montagem de equipamentos elétricos e eletrônicos. Os materiais de alta rigidez dielétrica tais como o papel, resinas, cerâmicas, óxidos inorgânicos, materiais poliméricos são exemplos de materiais isolantes utilizados para montagem de equipamentos elétricos.

Os materiais que possuem um grande *gap* de energia entre a banda de valência e condução são considerados isolantes elétricos. [1]

Os materiais isolantes utilizados em transformadores são de base celulósica (papel Kraft, papelão Kraft, papel manilha e papelão com fibra de algodão), impregnados com óleo. O papel Kraft é utilizado na forma de finas camadas envolvendo os enrolamentos ou na forma de espaçadores e tubos de alta densidade, para promover o isolamento entre níveis de tensão e entre fases. Nas buchas cerâmicas capacitivas e não capacitivas de alta tensão, é usado papel impregnado com óleo ou com resina. Nas buchas de menor tensão podem ser utilizados materiais cerâmicos ou poliméricos [4].

Os papéis a base de poliamida suportam temperaturas elevadas da ordem de 180 °C a 200 °C, outra característica importante destes isolantes é a resistência mecânica elevada sendo utilizados como espaçadores, no preenchimento de bobinas e na isolação de terminais.

Na figura 2 tem-se a montagem de um transformador que utiliza vários tipos de isolantes.

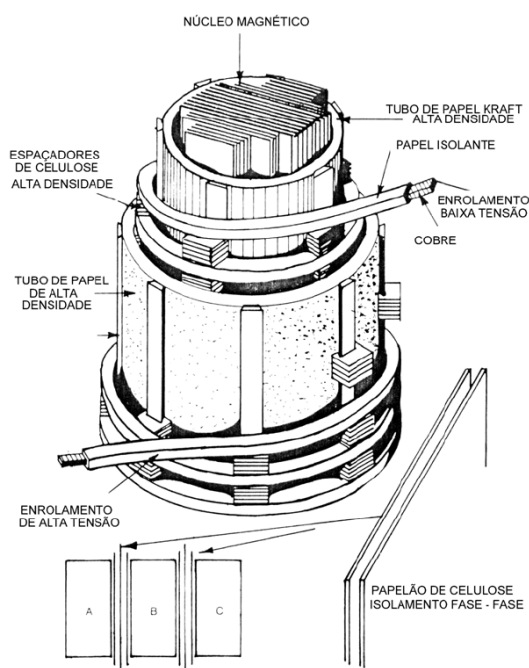


Figura 2 - Detalhes de montagem dos isolantes do núcleo do transformador [9]

O óleo isolante mineral de base parafínica ou naftênica é utilizado devido as propriedades dielétricas e refrigerantes (baixa viscosidade). Resinas e fibras são empregadas com a finalidade de fixação dos componentes isolantes e magnéticos. Materiais à base de borracha compatíveis com o óleo mineral são utilizados com a finalidade de promover a vedação e proteção do transformador. [9]

2.2.2. Envelhecimento do Papel Isolante

O envelhecimento da celulose depende das solicitações as quais ela foi submetida. O processo de envelhecimento é acelerado pelos efeitos combinados de temperatura, presença de água e oxigênio.

O envelhecimento por ação térmica ocorre pela alteração da molécula da celulose, alterando as ligações e produzindo moléculas menores que a original, gerando como subprodutos água, óxidos de carbono, hidrogênio, e outros produtos.

A presença de oxigênio gera o envelhecimento oxidativo, unindo-se as cadeias poliméricas e tornando-as mais fracas. O enfraquecimento das ligações pode levar a cisão das cadeias poliméricas de onde surgem moléculas de CO, CO₂ e H₂O e como reação secundária gerando hidrólise.

A água e os ácidos afetam as ligações das moléculas da celulose, este processo é chamado de envelhecimento hidrolítico, provoca o encurtamento das cadeias poliméricas com o consequente enfraquecimento das fibras, desidratação e formação de compostos furânicos e outros produtos.[9]

A formação de composto furânicos decorrente da degradação do papel podem provocar descargas parciais, arcos voltaicos e superaquecimento. [11]

A figura 3 mostra a estrutura molecular de compostos furânicos decorrentes da degradação do papel.

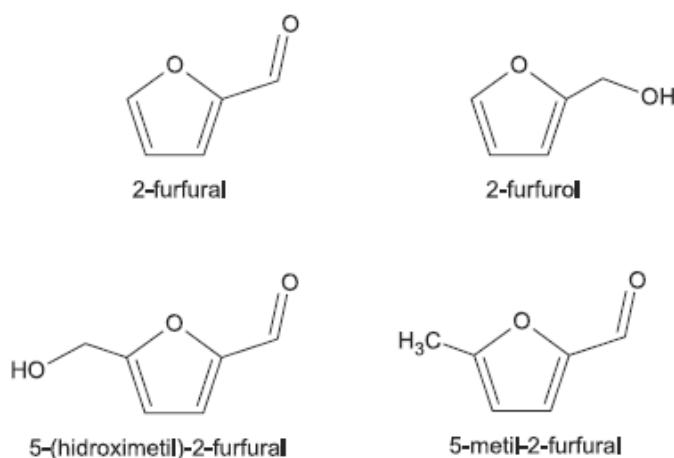


Figura 3 - Compostos Furânicos

2.2.3. Condutores

Os condutores são materiais que tem a camada de valência incompleta. Metais como o cobre, o ouro e a prata possuem somente um elétron na camada de valência, fracamente ligados ao núcleo denominados elétrons livres. Estes elétrons podem facilmente ser deslocados, o que caracteriza o material por ser um bom condutor. [5]

Os condutores utilizados para a confecção dos enrolamentos dos transformadores a óleo são normalmente de cobre, devido à ductibilidade e maleabilidade deste tipo de metal.

As bobinas formadas pelos condutores são montadas no núcleo magnético. A figura 4 mostra um transformador de em fase de montagem como os enrolamentos montados e interligados aos barramentos internos do transformador.

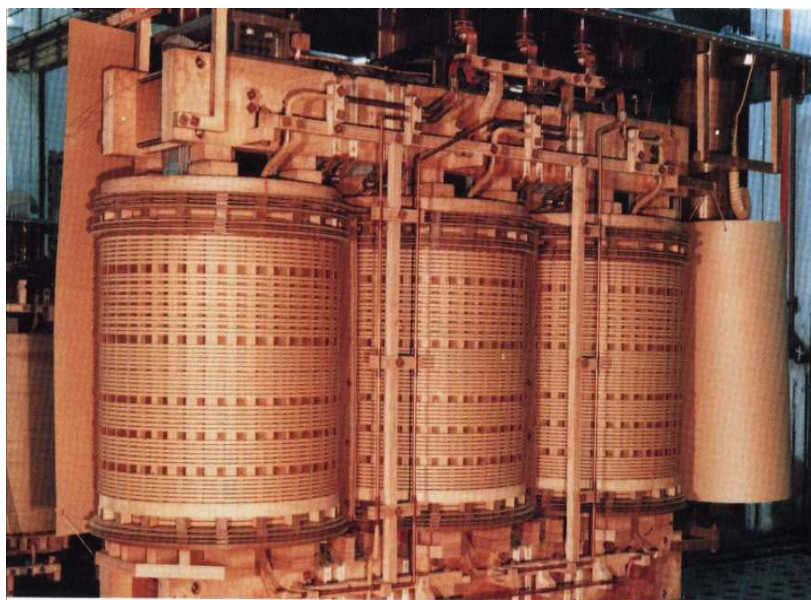


Figura 4 - Enrolamentos do transformador. [10]

2.3. Eletrovoltímetros

Os Eletrovoltímetros são circuitos para medição de tensão com impedância de entrada muito alta. Os eletrovoltímetros são circuitos utilizados para executar medidas de tensão em circuitos ou componentes onde a corrente drenada para o circuito de medição deve ser muito pequena. Impedâncias de ordem superior a $10^{12}\Omega$ são comuns para os eletrovoltímetros. [10]

Os voltímetros digitais dos instrumentos comerciais simples têm impedância da ordem de $10^6\Omega$, o que gera uma influência muito significativa nas

medidas e a inserção de erros indesejáveis quando as medidas a realizar são provenientes de cargas elétricas.

A figura 5 mostra as impedâncias de entrada e os limites de medição de alguns instrumentos de medição de tensão como um típico multímetro digital (DMM), um nano voltímetro (nVM), um nano voltímetro pré-amplificado (nV PreAmp) e o eletrovoltímetro (Electrometer).[10]

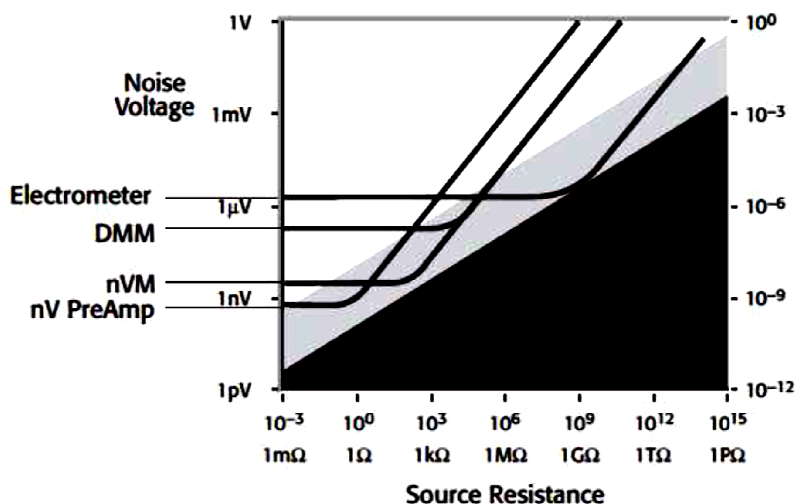


Figura 5 - Impedância de instrumentos e limites de medição. [10]

2.4. Normas

Atualmente não há uma norma específica para regulamentar o teste pelo método de RVM, mas existem normas que orientam e regulamentam os testes em transformadores imersos em óleo.

A resistência do isolamento dos transformadores pode ser preliminarmente medida com um megaohmímetro de 1000 V no mínimo para transformadores de tensão menor ou igual a 72,5kV e 2000V para tensões superiores 72,5kV. A resistência do isolamento deve ser medida antes dos ensaios dielétricos de tensão aplicada e tensão induzida. A medição da resistência do isolamento não constitui critério único para aprovação ou rejeição do transformador, conforme NBR 5356. [12]

Com relação ao isolamento elétrico existem algumas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, que especificam as características do óleo isolante:

NBR 6234 Tensão interfacial.
NBR 14248 Acidez.
NBR 12133 Fator de perdas dielétricas.
NBR 14483 Cor.
NBR 6869 Rigidez dielétrica.
NBR 10710 Teor de água.
NBR 7148 Densidade.
NBR 5778 Índice de refração.
NBR 15349 Determinação de furfural e derivados.
NBR 10505 Determinação de Enxofre corrosivo.

2.5 Tensão de Recuperação

A tensão de recuperação foi medida em testes de cabos de alta tensão isolados com papel e impregnados com óleo isolante. Após desconexão destes cabos dos equipamentos de teste em corrente contínua para verificação do isolamento elétrico. Foi evidenciado que mesmo após a descarga adequada da tensão utilizada no teste (curto circuito e aterramento), após a retirada do curto circuito uma tensão residual foi medida e definida como tensão de retorno ou de recuperação, proveniente da polarização dos materiais isolantes de composição dos cabos. [13]

O fenômeno foi descrito, mas não foi apreciado como um indicador do estado de isolação dos cabos até um grupo húngaro ao final da década de 60, coordenado pelo professor Csernatony Hoffer. O grupo de estudos observou em que o tempo que o valor máximo da tensão de recuperação ocorre é inversamente proporcional ao teor de umidade.

O método apresenta certa complexidade, o mesmo é executado em três fases e um período de relaxação do dielétrico e requer a utilização de equivalentes elétricos para o seu entendimento.

2.5.1 Circuitos equivalentes

O circuito equivalente que melhor atendeu a representação do circuito formado pelos isolantes e pela umidade contida no transformador foi a combinação de um circuito RC em série. A característica dominante do circuito é a constante de

tempo formada pelo produto dos valores do capacitor de e do resistor. A figura 6 mostra o circuito de polarização equivalente.

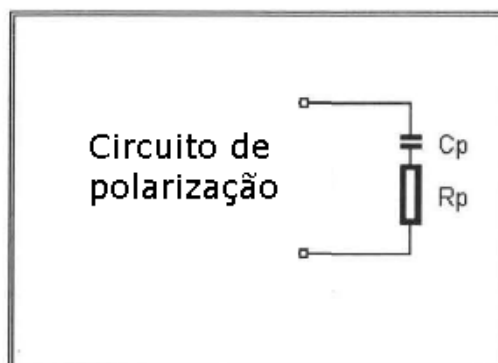


Figura 6 - circuito de polarização [13]

A constante de tempo do circuito RC de polarização está ilustrada na equação 2.6.1

$$\tau_p = R_p * C_p \quad (2.1)$$

A corrente de carga do circuito de polarização de polarização esta evidenciada na equação 2.6.2.

$$I_p(t) = \frac{U_c}{R_p} * e^{-t/\tau_p} \quad (2.2)$$

A tensão instantânea no capacitor tem o comportamento conforme a equação 2.6.3.

$$u_{Cp}(t) = U_c * (1 - e^{-t/\tau_p}) \quad (2.3)$$

A energia acumulada no capacitor de polarização no tempo tem-se pela equação 2.6.4.

$$W_{Cp}(t) = \frac{1}{2} * C_p * u_{Cp}^2 \quad (2.4)$$

O circuito equivalente a geometria, corresponde aos enrolamentos e a carcaça do transformador, bem como, o isolante dielétrico utilizados na construção dos transformadores foi representada por um circuito RC em paralelo. A figura 7 mostra o circuito equivalente a geometria do transformador.

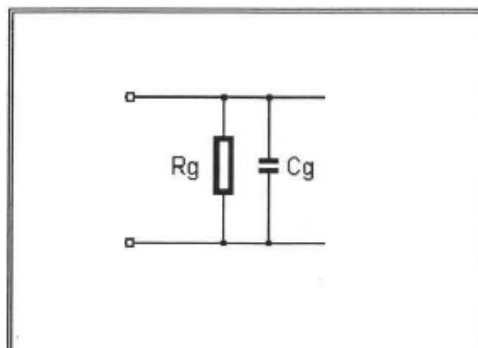


Figura 7 - Equivalente elétrico a geometria do transformador

Para modelar o transformador foi necessário agrupar o circuito equivalente de polarização com o equivalente a geometria do transformador. O capacitor de polarização C_p e o resistor de polarização R_p que foram ligados em série no circuito equivalente de polarização representam os dipólos formados pelas moléculas de água da umidade contida no papel e no óleo isolante do transformador. O resistor R_g demonstra a capacidade limitada da isolação dos dielétricos utilizados na construção dos transformadores que permite fugas de corrente. O capacitor C_g corresponde as partes metálicas do transformador como o enrolamento primário e secundário imersos no óleo adicionado da carcaça do transformador.

A figura 8 mostra o circuito equivalente completo correspondente ao circuito de polarização e ao circuito da geometria do transformador agrupados.

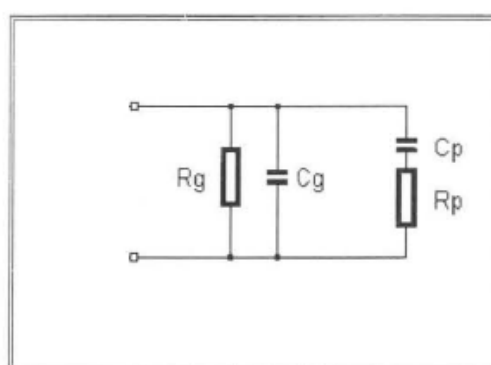


Figura 8 - Circuito equivalente completo

2.5.2 Medição da umidade

O método de medição da tensão de recuperação para obtenção da umidade porcentual do isolamento dos transformadores imersos em óleo ocorre em três fases mais o relaxamento do dielétrico.

A primeira etapa do método de medição da umidade consiste na polarização do isolamento. O circuito equivalente recebe uma tensão em corrente contínua “ U_c ”. O processo de carga inicia a polarização do isolamento por fornecimento de energia na forma de corrente de carga. Dependendo do valor de “ τ_p ” o processo atinge a saturação após o tempo de cinco vezes a constante de tempo. Caso o processo de carregamento seja interrompido antes de atingir a saturação o processo de polarização permanecerá incompleto. O tempo utilizado para aplicação da tensão “ U_c ” é chamado de tempo de carga “ t_c ”. A figura 9 mostra a tensão de alimentação U_c aplicada ao circuito equivalente.

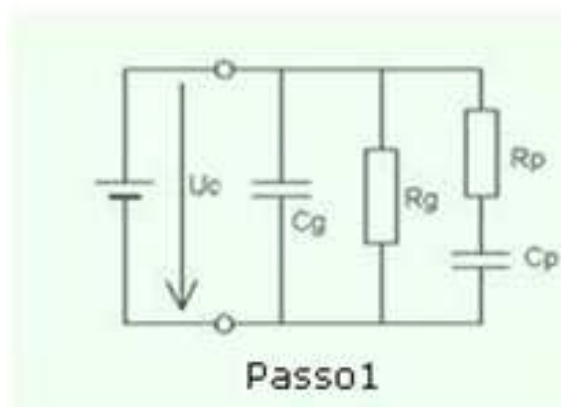


Figura 9 - Polarização do circuito [14]

A corrente do processo de carregamento do circuito equivalente completo tem o comportamento conforme a equação 2.5.

$$i_c(t) = \frac{U_c}{R_g} + \frac{U_c}{R_p * e^{-t/\tau_p}} \quad (2.5)$$

A figura 10 mostra a tensão de polarização aplicada ao circuito equivalente.

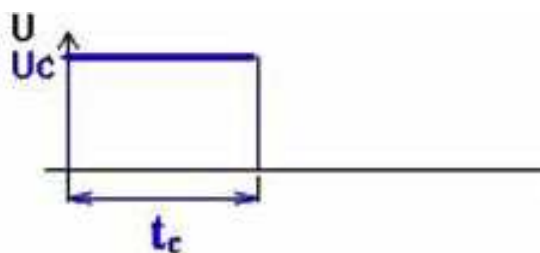


Figura 10 - Tensão de polarização

A figura 11 mostra o comportamento da tensão de carga do circuito equivalente no capacitor C_p .

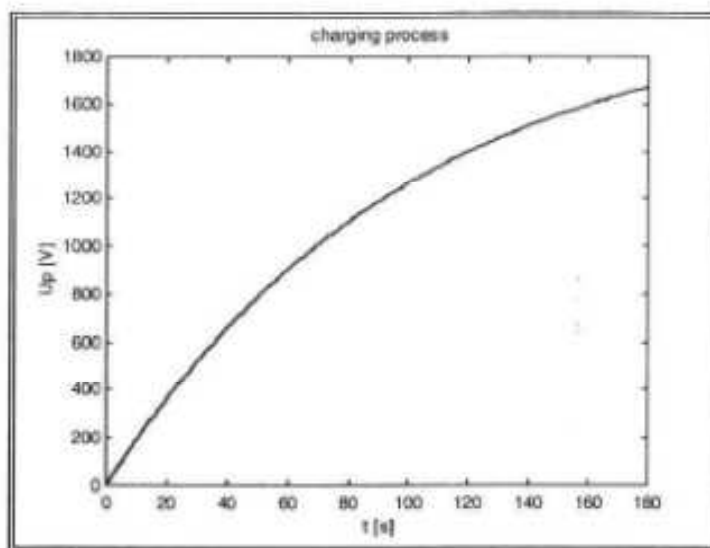


Figura 11 - Processo de carga do circuito

A segunda etapa da medição da umidade executa a descarregamento do circuito. A fonte utilizada na polarização do circuito " U_c " é desconectada do circuito equivalente, os terminais do circuito são conectados em curto circuito. O processo de descarga é iniciado. O tempo em que a descarga do circuito esta ativa é denominado de " t_d " e obrigatoriamente deve ter a metade do período de " t_c ". A figura 12 mostra o curto circuito aplicado aos terminais do circuito equivalente.

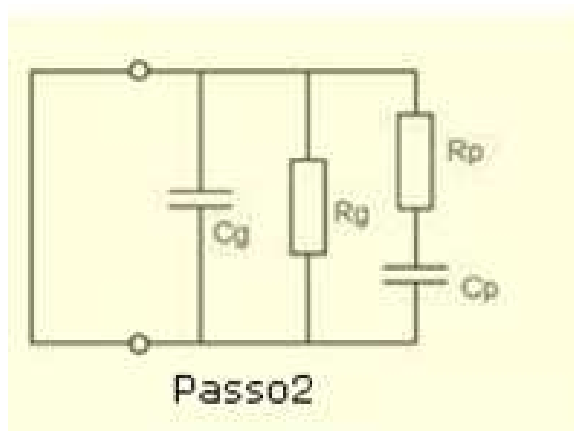


Figura 12 - Descarga do circuito

A corrente de descarga do circuito e descrita pela equação 2.6

$$I_d(t) = U_c * (1 - e^{-t/\tau_p}) / (R_p * e^{-t/\tau_p}) \quad (2.6)$$

A figura 13 mostra graficamente os tempos “td” e “tc” onde o tempo de descarga e igual a metade do tempo de carga do circuito.

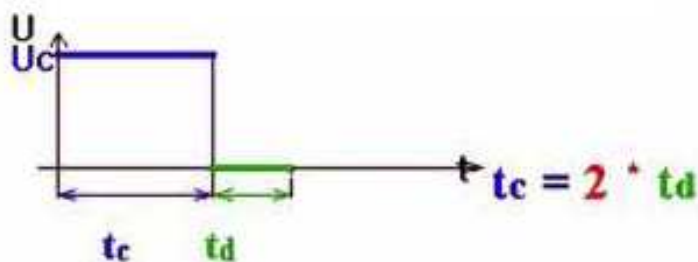


Figura 13 - Tempo de descarga

A figura 14 mostra o comportamento da tensão descarga do circuito equivalente no capacitor Cp.

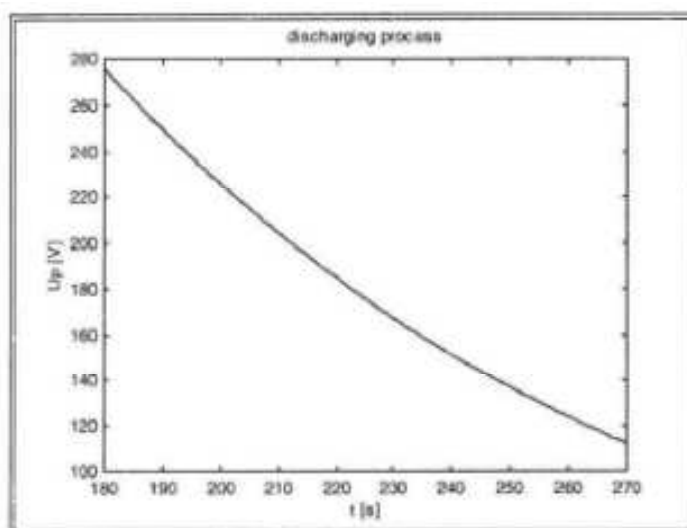


Figura 14 - Processo de descarga do circuito

O terceiro passo da medição para obter a umidade contempla a medição da tensão de recuperação. O curto circuito do passo anterior é retirado, e inserido um eletro voltímetro para medir a tensão residual proveniente do circuito de polarização

que equivale às moléculas da umidade do papel e do óleo polarizadas denominada tensão de recuperação ou tensão de retorno. A figura 15 ilustra o terceiro passo.

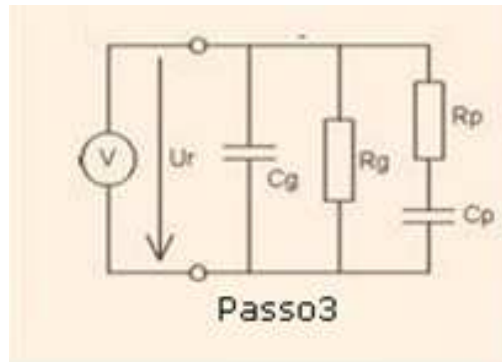


Figura 15 - Medição da tensão de recuperação

A figura 16 mostra os três passos e evidencia o valor U_{rmax} que corresponde ao maior valor de tensão de recuperação encontrado.

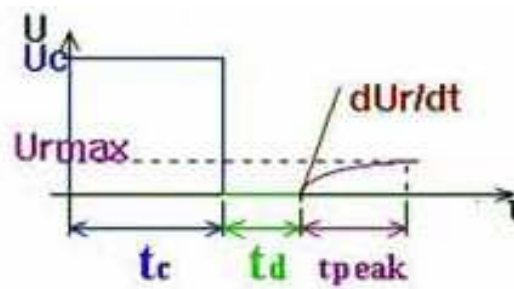


Figura 16 - Tensão de Recuperação

$$I_p = I_{gc} + I_{gr} \quad (2.7)$$

$$I_{gr}(t) = \frac{U_c * \left(1 - e^{-\frac{t_c}{\tau_p}}\right) * e^{-\frac{t_d}{\tau_d}}}{(R_g + R_p) * e^{-t / ((R_g + R_p) * C_p)}} \quad (2.8)$$

$$I_{gc}(t) = \left(U_c * \left(1 - e^{-\frac{t_c}{\tau_p}}\right) * e^{-\frac{t_d}{\tau_p}} \right) R_p * e^{-t / ((C_g + C_p) * R_p)} \quad (2.9)$$

Após a obtenção da tensão de recuperação o eletro voltímetro pode ser retirado e os terminais do circuito equivalente colocados em curto circuito para

Mauro Alves Nunes – Medição da Umidade Interna de Transformadores Imersos em Óleo de Forma Não Invasiva Através da Verificação da Tensão de Recuperação.
Universidade Luterana do Brasil

realizar o descarregamento do circuito e o relaxamento do dielétrico. A figura 17 mostra o circuito equivalente em curto circuito para o relaxamento do dielétrico.

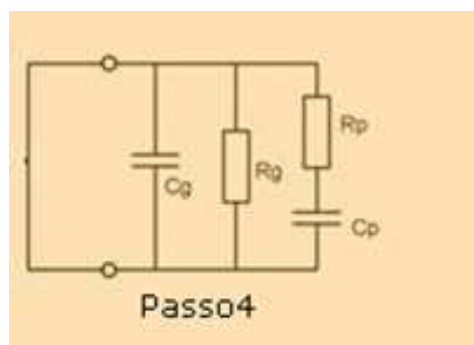


Figura 17 - Relaxamento do dielétrico

O valor porcentual da umidade é obtido através da verificação do tempo “tc” em que ocorreu a maior tensão de recuperação U_{max} . O ábaco da figura 18 mostra em seu eixo vertical o tempo de polarização “tc”, deslocando-se horizontalmente até encontrar a reta de temperatura em que foi testado o objeto sob ensaio encontrar-se-á o valor da umidade porcentual do isolamento do transformador.

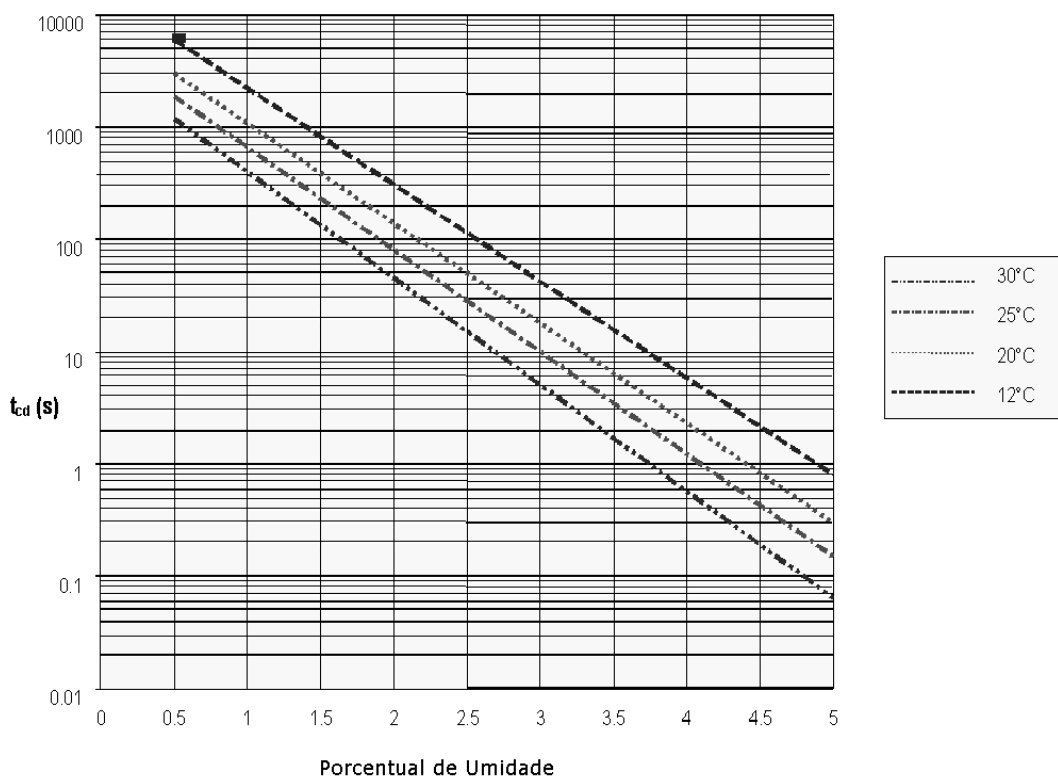


Figura 18 - Ábaco do porcentual de umidade[14]



2.6. Microcontroladores

Os microcontroladores são considerados microcomputadores de um só chip. Estão revolucionando os projetos de sistemas digitais e de outros sistemas devido a sua enorme versatilidade de *software* e *hardware* [6].

Os microcontroladores reúnem elementos de sistemas eletrônicos que nos sistemas microprocessados, eram desempenhados por vários chips independentes, tais como memórias, temporizadores, contadores, comunicação serial, portas com entradas e saídas digitais e analógicas. Os microcontroladores são dispositivos “inteligentes”, constituídos basicamente de CPU, memória e periféricos. Possuem dimensões reduzidas e são construídos com tecnologia de alta capacidade de integração, onde milhões de componentes são inseridos em uma única pastilha de silício. [7]

A programação dos microcontroladores é facilitada pelos fabricantes, que em muitos casos, fornecem *software* do ambiente de programação e compiladores gratuitos, com os *plugins* para gerar o código que, depois de compilado, pode ser enviado diretamente ao microcontrolador. Facilidades essas, que otimizam a utilização e o desenvolvimento das aplicações.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os materiais e os componentes utilizados para a construção do protótipo de medição de umidade interna de transformadores imersos em óleo e, bem assim, o método de execução dos testes.

3.1 Diagrama de Blocos

O diagrama de blocos do hardware desenvolvido é mostrado na figura 19 e detalhado nas seções seguintes.



Figura 19 - Diagrama de blocos do Hardware

3.2. Circuito equivalente

O circuito equivalente é composto de quatro componentes passivos: o circuito RC em paralelo, simula a resistência e a capacitância da geometria do elemento sob ensaio; o outro circuito RC em série, equivale aos dipolos formados pelas moléculas de água contidas elemento sob ensaio. As figuras 20 e 21 mostram o circuito equivalente e respectivo diagrama eletrônico.



Figura 20 - Circuito equivalente

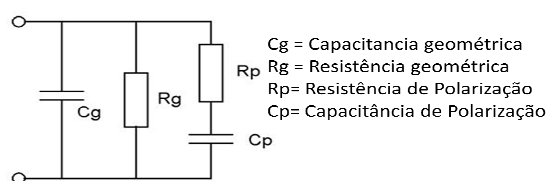


Figura 21 – Diagrama do circuito equivalente [13]

O circuito equivalente sugerido pelo fabricante do RVM 5462 foi montado e simula um transformador com 4% de umidade. Os resistores “Rp” e “Rg” são de 100MΩ/5 watts, o capacitor “Cp” 20nF/1000V e o Capacitor Cg 2,5nF/1000V.

3.3. Medição

O processo de medição executado repete ciclicamente os quatro passos. Polarização, descarga, medição da tensão de recuperação e relaxação do dielétrico.

O processo de medição foi iniciado com um tempo de polarização “tc” de 1 segundo e o tempo de descarga “td” de 0,5 segundos, para complementar o primeiro ciclo da medida foi executada a medição da tensão de recuperação aguardando a esta atingir o valor máximo por até 6 vezes o tempo de polarização “tc”. O relaxamento do dielétrico é executado após cada medição de tensão de recuperação.

O ciclo de medição reiniciado sucessivas vezes incrementando a cada ciclo o valor do tempo de polarização “ t_c ” em uma sequência determinada de 1s, 2s, 5s, 10s, 20s, 50s e assim sucessivamente, os tempos de descarga “ t_d ” também são incrementados respeitando a regra terem a metade do valor de “ t_c ”. Os valores de tensão de recuperação obtidos após a cada polarização e descarga foram enviados a um PC.

Os valores encontrados são decorrência dos valores de R_p , R_g e C_p , que no circuito equivalente são fixos e em um transformador são influenciados pela umidade que pode tanto do óleo quanto do papel. Por este motivo o equivalente C_g é descarregado e foi utilizado tempos diferentes na avaliação e obtenção da máxima tensão de recuperação.

Todos os passos foram executados ciclicamente e de forma automática. A aplicação da tensão, o curto circuito dos bornes do circuito sob ensaio e a medição de tensão de recuperação, foram operados pelos contatores acionados pela placa microcontrolada. Durante cada passo a tensão medida nos bornes do circuito sob ensaio foi amostrada e enviada ao computador para gerar o gráfico de medição.

O armazenamento em arquivo para posterior análise caso necessário também é executado simultaneamente com o processo de medição.

3.4. Placa Microcontrolada

O Hardware utilizado para aquisição dos dados de medição é um kit para microcontroladores de 40 pinos para família PIC16 e PIC18 da Microchip. A figura 7 mostra a placa para os microcontroladores das famílias PIC16 e PIC18 da Microchip utilizada. A figura 22 contém a imagem da placa de desenvolvimento utilizada.



Figura 22 - Hardware do microcontrolador [8]

O microcontrolador usado é um microcontrolador PIC 16F877A. As principais características deste microcontrolador são: memória flash de 8k, velocidade de processamento de cinco MIPS, oito canais analógicos de 10 bits, tensão de operação de 2 à 5,5 Volts, EEPROM de 256 bytes e RAM de 368 bytes.

A figura 23 mostra o diagrama de blocos interno do microcontrolador PIC 16F877A.

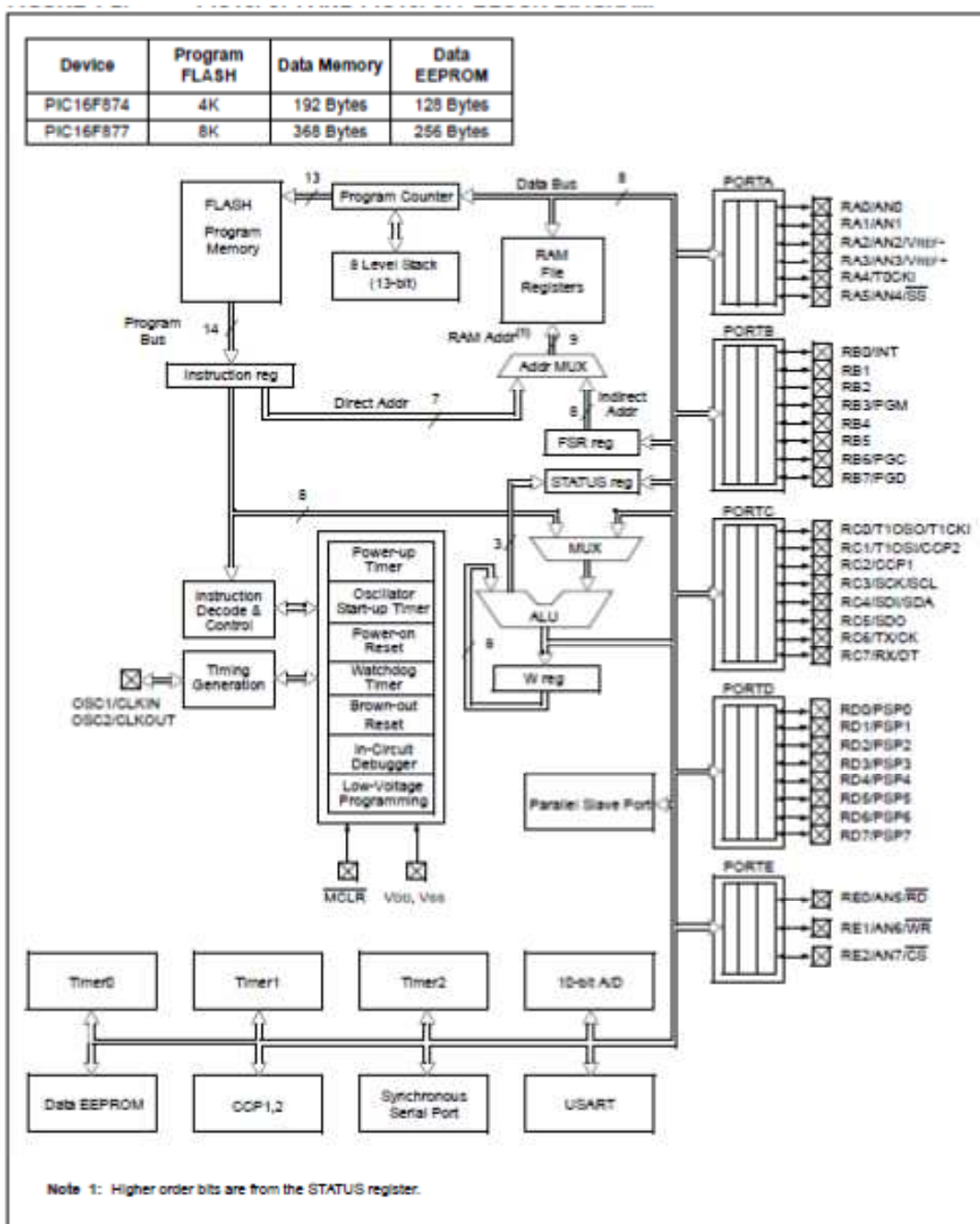


Figura 23 - Diagrama de blocos do microcontrolador 16F877A

3.5. Circuito de Alta Tensão

O circuito de elevação de tensão utilizado é composto de um transformador com alimentação 127/220V 60Hz e múltiplos secundários de 500V, construído especialmente para este projeto. O secundário do transformador foi interligado a um circuito retificador em ponte com diodos para 12kV e um capacitor para 2,1kV para filtragem da tensão. As figuras 24, 25 e 26 correspondem respectivamente ao transformador, ao retificador com filtro do circuito de elevação de tensão e o diagrama eletrônico do circuito de elevação de tensão.



Figura 24 - Transformador do circuito de elevação de tensão

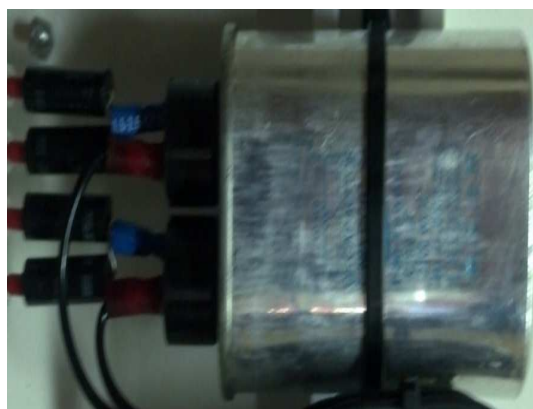


Figura 25 - Retificador e filtro do circuito de elevação de tensão

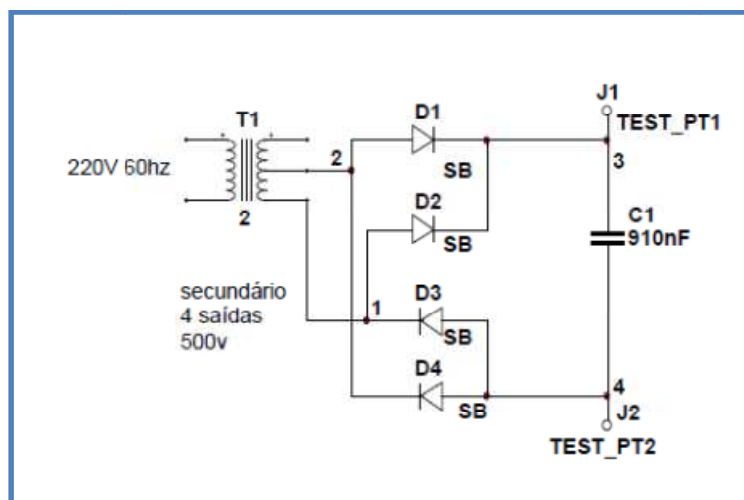


Figura 26 - Circuito eletrônico de elevação de tensão

3.6. Contatores

O circuito de chaveamento é composto de contatores. O circuito é acionado para aplicar a tensão de polarização e descarregar o circuito através dos bornes de teste do elemento sob ensaio, durante a execução dos ciclos de medição. Os contatores são acionados por relés intermediários contidos na placa de desenvolvimento obedecendo aos tempos programados no firmware armazenado no microcontrolador. A figura 27 mostra os contatores utilizados no circuito de potência.



Figura 27 - Contatores

3.7. Eletrovoltímetro

O circuito foi desenvolvido para medir a tensão aplicada ao elemento em ensaio e a tensão de recuperação proveniente do mesmo. O circuito do eletrovoltímetro possui impedância de entrada muito alta pela utilização de divisor capacitivo e amplificador operacional com entrada de efeito de campo compondo a entrada do circuito. A tensão de saída do eletro voltímetro é enviada a entrada analógica do microcontrolador.

A figura 28 corresponde à placa eletrônica do eletrovoltímetro.



Figura 28 - Eletrovoltímetro

O circuito do eletro voltímetro foi alterado muitas vezes com o objetivo de chegar a um circuito com ganho elevado e ao mesmo tempo uma corrente de entrada extremamente baixa para não descarregar o circuito medido com o instrumento de medida, minimizando assim os erros de leitura da tensão de recuperação. Foram testadas varias configurações de circuitos com amplificadores operacionais. A configuração definitiva utilizada foi um amplificador operacional interligado em configuração seguidor de tensão e adicionado de resistores na entrada e na realimentação com uma malha capacitiva na entrada que carrega e descarrega junto com o circuito a ser medido e determina o ganho do circuito .

A ilustração da figura 30 mostra o circuito final do eletrovoltímetro, os terminais do lado esquerdo da figura correspondem a entradas do circuito e o terminal do lado oposto a saída. O terminal 0v é foi utilizado como referência de tensão para a alimentação do amplificador operacional bem como a entrada e a saída de tensão do circuito .

Os terminais *In* e *Output* correspondem respectivamente a entrada e saída do sinal de tensão medido e os terminais E1 e K1 correspondem ao acionamento

das bobinas dos relés utilizados para a descarga dos capacitores da malha de entrada do circuito do eletrovoltímetro.

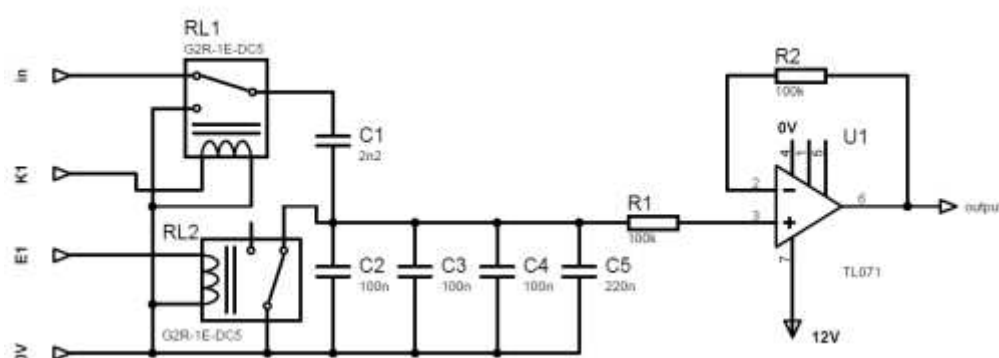


Figura 29 - Circuito eletrônico do Eletrovoltímetro

O circuito de medição do eletrovoltímetro pode ter a relação de ganho calculada pela equação da ilustração 3.1.

$$V_o = V_{in} \frac{(C_1 + C_2 + C_3 + C_4 + C_5)}{C_1} \quad (3.1)$$

Equação de do circuito do eletro voltímetro

3.8. Fonte de Alimentação

A fonte de alimentação foi desenvolvida para este projeto e utilizada para suprir a placa de desenvolvimento e o eletrovoltímetro. As tensões de saída disponíveis 12V simétrica e 30V. A figura 30 mostra a imagem da fonte de alimentação do circuito.

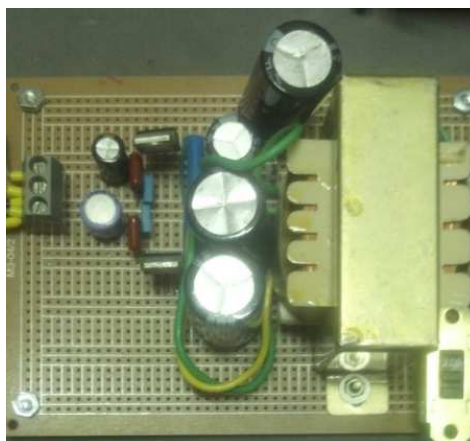


Figura 30 - Fonte de alimentação

3.9. Protótipo Montado

O protótipo foi montado em uma maleta reforçada visando proteger o circuito, facilitar o transporte e a mobilidade para executar as medições em locais externos, caso necessário.

A figura 31 mostra a imagem do protótipo montado e seu invólucro.



Figura 31 - Protótipo Montado

3.10. O Instrumento Comercial

O instrumento utilizado para aferir as medidas do protótipo construído é um equipamento comercial com aferição de fábrica válida por três anos. O instrumento utilizado para a aferição é o RVM modelo 5462 da Tetex Instruments e está com a primeira aferição para vencer a validade no ano de 2013. O equipamento é bem construído, robusto e com bom acabamento. As figuras 32 e 33 mostram respectivamente as imagens do instrumento e do display de painel do mesmo com a medida executada.



Figura 32 - RVM 5462
Tetex Instruments

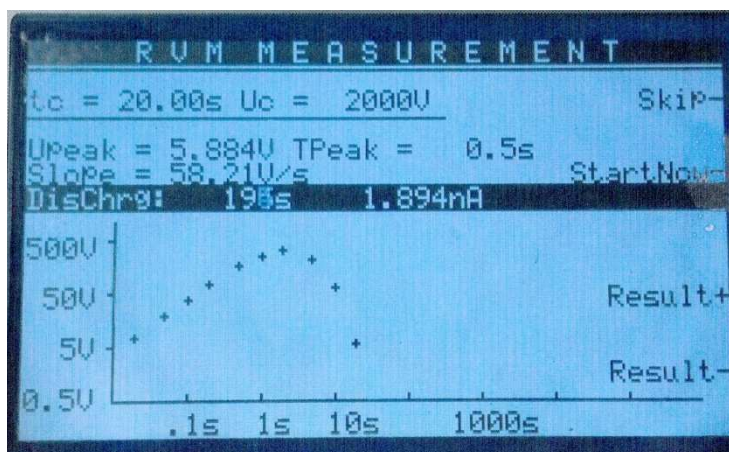


Figura 33 - Display do RVM 5462

3.11. O Software

A interface de aquisição de dados foi desenvolvida em linguagem de programação C++.

O *software* de programação escolhido para o desenvolvimento da interface foi o Builder C++ versão 5.0 da Borland, ambiente de programação voltada ao objeto.

O C++ Builder possui ambiente de desenvolvimento integrado, com as ferramentas necessárias para a criação de programas e o desenvolvimento de aplicações, onde foram utilizados basicamente: formulários, componentes e suas propriedades e bibliotecas. Esta linguagem e compilador foram escolhidos por serem de fácil utilização, possui uma interface amigável, facilidade de acesso às portas de comunicação do PC e de construção de gráficos.

A figura 34 mostra o fluxograma funcional do software desenvolvido para o medidor de umidade interna de transformadores à óleo.

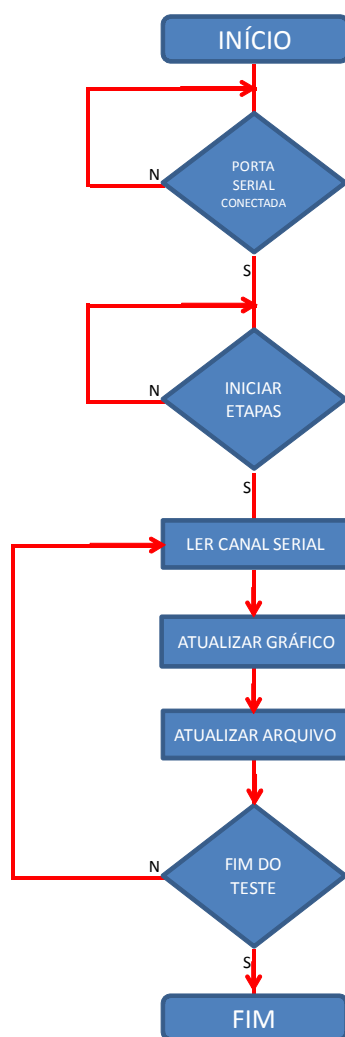


Figura 34 - Fluxograma do software

O software implementado no microcomputador tem funções para mostrar graficamente as medições adquiridas, enviadas pela placa de desenvolvimento e recebidas via porta serial computador.

A figura 35 mostra interface de desenvolvimento do Builder C++ versão 5.0 da Borland.

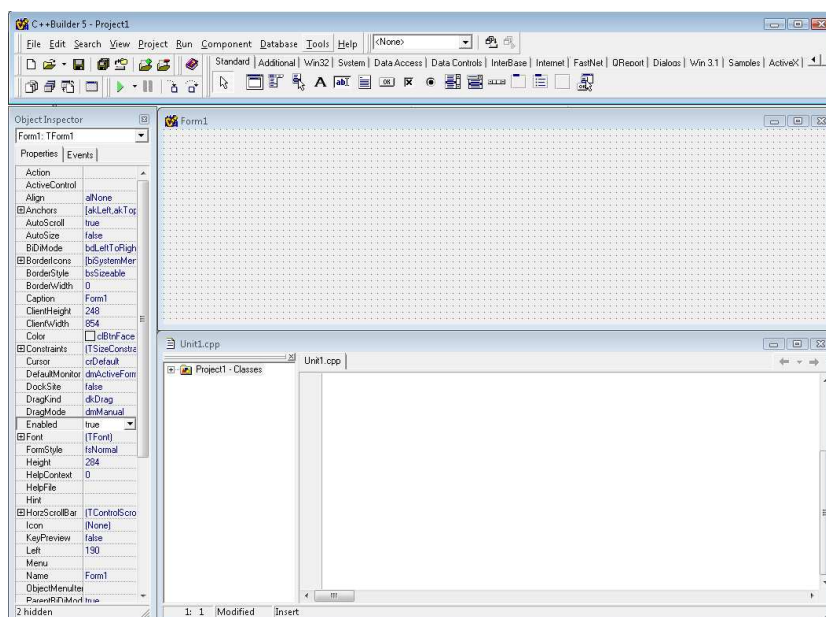


Figura 35 - Interface de desenvolvimento

O software desenvolvido no microcomputador demonstra graficamente as medidas obtidas no *hardware* pela placa microcontrolada. A figura 36 mostra a imagem da interface desenvolvida em linguagem C++.

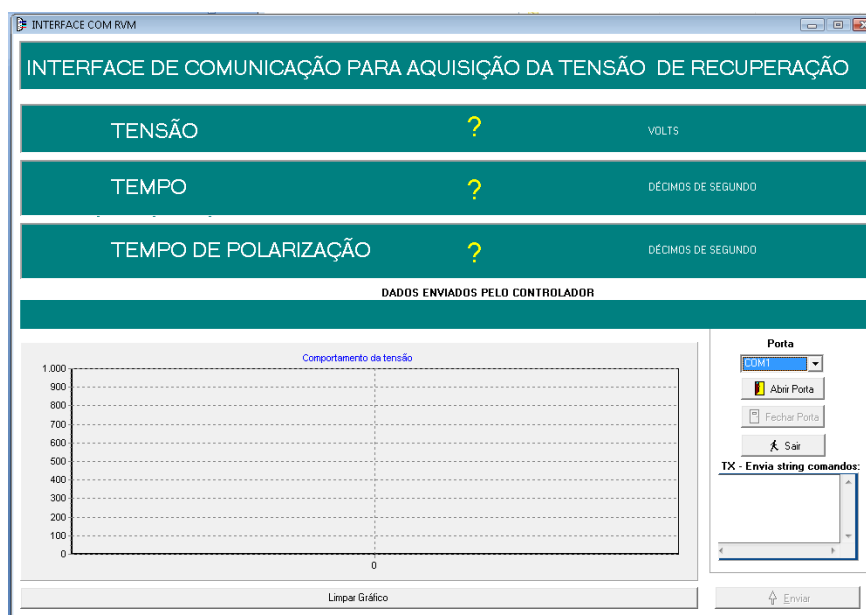


Figura 36 - Interface desenvolvida em C++

A recepção dos dados foi feita pela interligação porta serial entre o microcomputador por uma interface de adaptação serial padrão RS232 para USB.

O software desenvolvido em complemento a interface da aquisição de dados, também salva automaticamente em arquivo as informações enviadas pela placa microcontrolada visando atender a necessidade armazenar histórico de medições ou análise futura dos dados.

A listagem do software comentado pode ser visualizada no Apêndice C deste documento. A figura 37 mostra a interação do protótipo com a interface de aquisição de dados.



Figura 37 - Protótipo interligado ao Microcomputador

3.12. O *firmware*

O *firmware* foi desenvolvido em linguagem C para microcontroladores da família PIC 16 da Microchip. O *software* utilizado para compilação do programa de foi o CCS PCWH versão 4.1 para Microcontroladores das famílias PIC 10 até a família PIC18 da Microchip.

A figura 38 mostra o fluxograma simplificado do *firmware*:

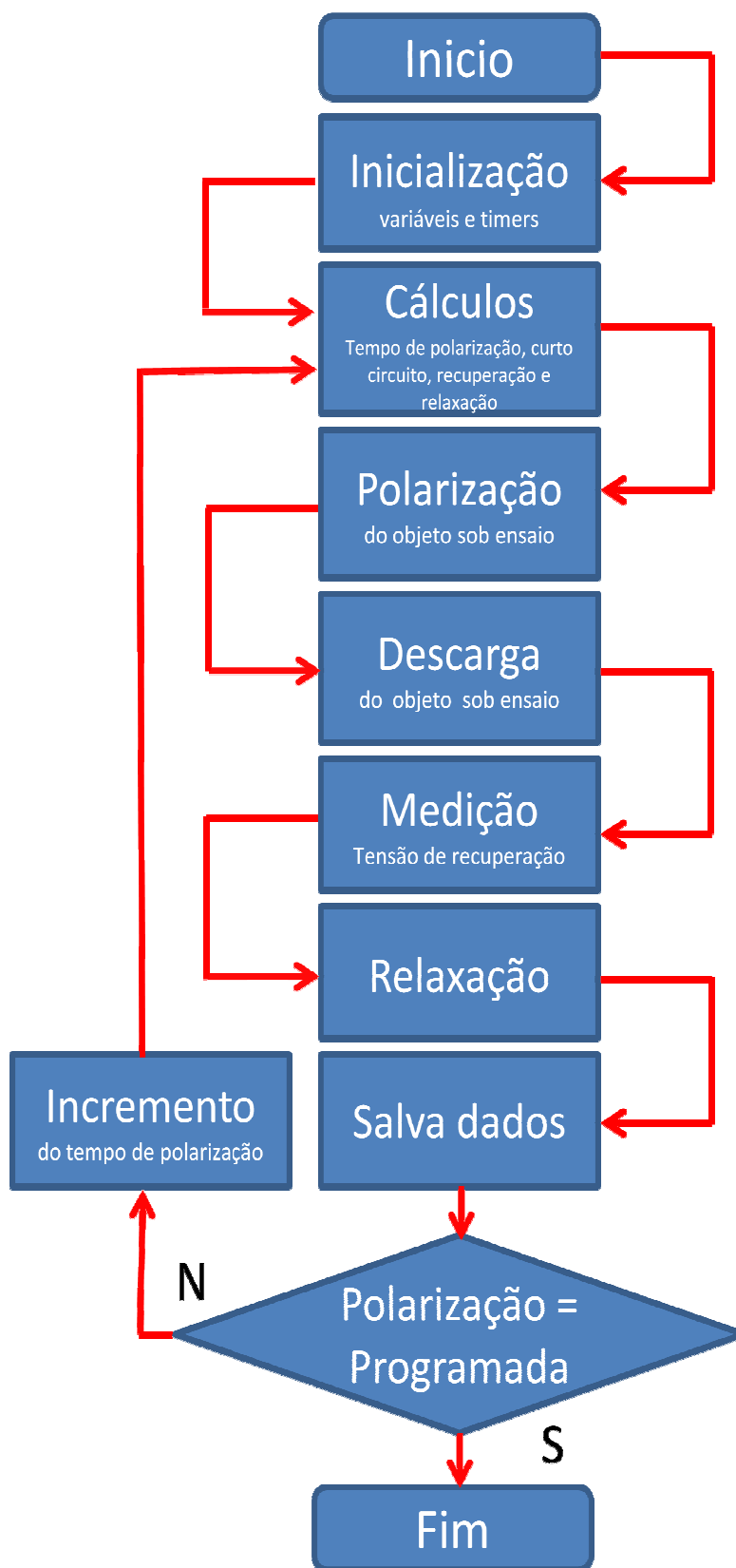


Figura 38 - Fluxograma simplificado do firmware



O *firmware*, programa compilado e armazenado no microcontrolador controla a execução dos passos da medição. As rotinas iniciais do programa inicializam variáveis e *timers*. As rotinas subsequentes colocam o microcontrolador para operar o sequenciamento dos quatro passos da medição: Polarização, Descarga, Medição da tensão de recuperação e Relaxação dielétrica. O primeiro ciclo de medição inicia com um tempo de polarização de um segundo e a cada ciclo da medição seguindo uma sequência de bases de tempo (1;2;5;10;20;50...segundos).

O tempo de duração dos outros passos da medição é calculado em função do tempo de polarização. Os ciclos de medição ocorrem até que o máximo tempo de polarização programado seja atingido. A aquisição dos valores de tensão é executada por uma das entradas analógicas do microcontrolador.

O envio dos dados adquiridos pelo microcontrolador através do AD ao PC ocorre por uma porta serial RS232. A interligação entre o microcontrolador e o PC utilizada um adaptador serial RS232 para USB, e as medidas adquiridas ocorrem a cada 100ms.

O programa do firmware pode ser visualizado no Apêndice B deste documento.

4. APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O medidor de umidade interna para medição de umidade interna de transformadores a óleo de forma não invasiva foi desenvolvido em várias etapas, que compreenderam a seleção de uma placa de desenvolvimento capaz de fazer a aquisição das medidas; a montagem das placas dos circuitos de alimentação e medição; a montagem do circuito de potência e alta tensão e, a validação dos dados.

A apresentação e discussão referente aos resultados obtidos neste trabalho estão organizadas e divididas em itens, com o objetivo de facilitar a compreensão do leitor.

4.1. Circuito de Alta Tensão

O circuito de alta tensão foi modificado ao longo do projeto, pois inicialmente a tensão utilizada para a medição teria valores da ordem de 2000 Volts, depois de efetuadas pesquisas mais aprofundadas foi verificado que não seria necessária uma tensão de tal magnitude.

O fator preponderante para determinar o fator de umidade dos transformadores a óleo não é o valor da amplitude da tensão de recuperação. O fator determinante para determinar a unidade é o tempo em que o máximo valor de recuperação ocorre.

A tensão de teste foi ajustada para 650 VCC. O valor da tensão escolhida não foi aleatória, este valor está diretamente relacionado com a máxima tensão suportada pelos contatores utilizados para o chaveamento da tensão de teste ao objeto sob ensaio.

4.2. O Eletrovoltímetro

O circuito do eletrovoltímetro foi alterado muitas vezes para atingir uma impedância de entrada suficientemente alta para não influir significativamente nos valores das medidas adquiridas, foram executados testes em varias configurações, a melhor configuração foi desenvolvida com amplificador operacional em configuração

seguidor de tensão. Foram utilizados amplificadores operacionais com entrada FET para poder garantir uma impedância de entrada superior a $10^{12}\Omega$.

O circuito adaptador de tensão de entrada foi construído inicialmente com resistores, não apresentando resultados satisfatórios, a atenuação provocada pela malha resistiva extinguiu totalmente a tensão de recuperação. A solução encontrada foi utilizar um divisor de carga capacitivo com relação de 209:1 que carrega e descarrega junto com o objeto sob ensaio.

4.3. Aquisição pela Placa de Desenvolvimento

A tensão medida proveniente do circuito do eletrovoltímetro é recebida pelo AD interno do microcontrolador do PIC 16F877A.

A tensão recebida pelo microcontrolador e convertida para valores digitais e depois de linearizados para obter valores numéricos iguais a tensão medida no objeto sob ensaio. O Microcontrolador envia os valores linearizados de tensão e o valor de tempo em que cada medida ocorreu para o PC pelo canal serial RS232.

4.4. Demonstração das Medidas pela Interface

Utilizando os valores de tensão e do tempo enviados pela placa de desenvolvimento. O *Software* da interface gera um gráfico de tensão em função do tempo demonstrando o comportamento da tensão de teste, sincronamente com a execução da medição atualiza a tela da interface uma vez por segundo exibindo todas as fases do teste.

A figura 39 mostra o gráfico do comportamento da tensão durante as fases da medição:

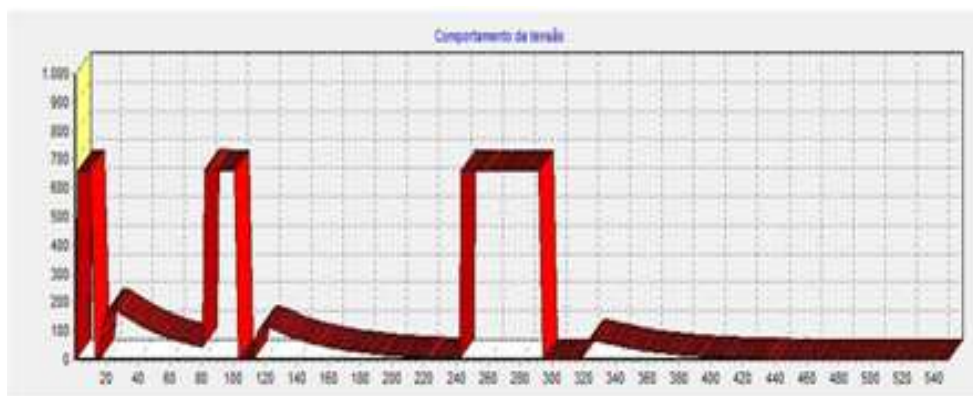


Figura 39 - Gráfico gerado a cada teste.

Os valores numéricos adquiridos são armazenados em arquivo de texto puro para facilitar a análise posterior, neste formato o arquivo pode ser importado qualquer software de análise ou planilha eletrônica. Um exemplo do arquivo gerado esta disponível para visualização no Apêndice D.

Para aferição das medidas coletadas os comparativos laboratoriais com padrões aferidos seriam caros e demorados. A comparação das medidas com outro equipamento comercial calibrado foi a opção mais rápida e com menor custo, mas forneceu parâmetros de comparação importantes para a validação do protótipo.

4.5. Comparação da Medição

Nesta seção está demonstrado as coleta das medidas executadas sobre o mesmo objeto sob ensaio o Test Box sugerido pelo fabricante.

As figuras 40, 41 e 42 mostram as medidas executadas com os dois instrumentos.

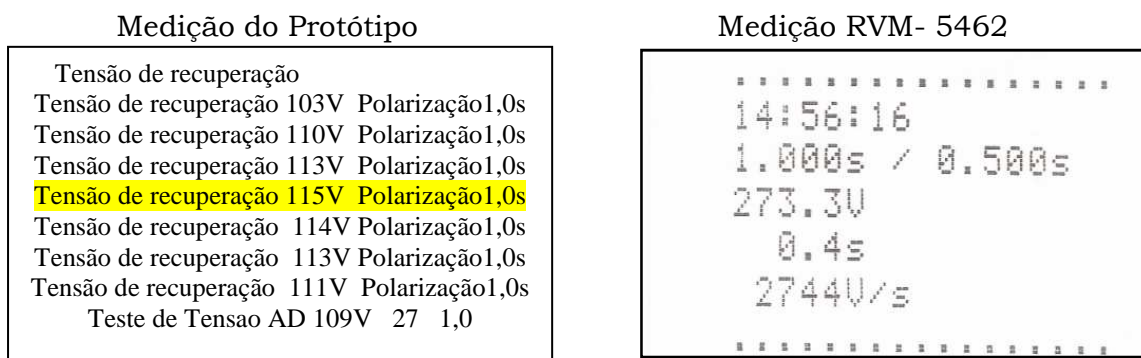


Figura 40 - Valores máximos de tensão para polarização de 1 segundo

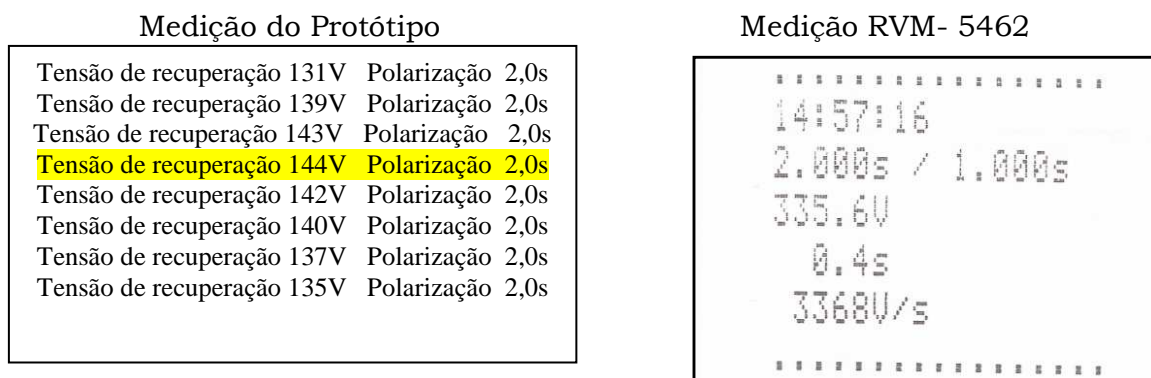


Figura 41 - Valores máximos de tensão para a polarização de 2 segundos

Medição do Protótipo	Medição RVM- 5462
Tensão de recuperação 82V Polarização 5,0s
Tensão de recuperação 84V Polarização 5,0s	14:58:21
Tensão de recuperação 85V Polarização 5,0s	5.000s / 2.500s
Tensão de recuperação 85V Polarização 5,0s	224.4V
Tensão de recuperação 84V Polarização 5,0s	0.4s
Tensão de recuperação 83V Polarização 5,0s	2249V/s
Tensão de recuperação 81V Polarização 5,0s
Tensão de recuperação 79V Polarização 5,0s

Figura 42 - Valores máximos de tensão para a polarização de 5 segundos

Observando as medidas obtidas nos dois instrumentos podemos constatar que na polarização de 2 segundos (figura 41) foi obtida a maior tensão de recuperação em ambos os instrumentos.

Assim, fica evidenciado que os dois instrumentos geraram a mesma informação e por comparação validando o protótipo. Os arquivos completos com as medições executadas estão disponíveis nos Apêndices F e G.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados dos testes e das medições realizadas no protótipo indicam que o mesmo atingiu o objetivo de desenvolver um sistema para coletar os valores de medição e demonstrá-los de forma gráfica. A comparação dos tempos de obtenção da tensão de recuperação sobre o circuito equivalente e os valores máximos foram obtidos com os mesmos tempos de polarização que o instrumento comercial. As expectativas de desempenho do equipamento, a qualidade e o tempo de execução foram atendidas.

A técnica de medição de umidade de forma não invasiva através da tensão de recuperação é recente. A necessidade de aprofundar estudos foi preponderante no projeto e na criação da solução de engenharia para a resolução do problema proposto.

O projeto eletrônico implementado no protótipo representa uma solução de baixo custo em relação ao comercialmente existente, e apresentou resultados similares ao equipamento comercial calibrado.

No presente trabalho foi executado um conjunto significativo das atividades do engenheiro. Foram realizados estudos, pesquisas e análises teóricas a respeito do problema e desenvolvida uma técnica eficaz para solucionar os problemas. Foi proposta uma estrutura eletrônica de *hardware* e *software*, incluindo etapas de potência e dispositivos analógicos de instrumentação, os problemas funcionais foram resolvidos, foram realizados testes de avaliação de desempenho da estrutura e validado o protótipo, foi realizado o relatório de medidas e anexadas a este relatório, documentando o trabalho realizado.

Assim, o conjunto de atividades e situações revelam a complexidade do problema e as soluções apresentadas revelam a capacidade e a boa formação do candidato a engenheiro que realiza este trabalho.

Concluídas as etapas de projeto e validação do protótipo, ficou evidenciado que é possível determinar o estado de um transformador à óleo e papel utilizando um método não invasivo.



Como sugestão para projetos futuros uma mudança na maneira de armazenar os dados poderia tornar o protótipo mais autônomo, salvando os valores máximos de medição também na memória do microcontrolador.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] REZENDE, Sergio M. **Materiais e dispositivos eletrônicos**. 2. Ed. São Paulo: Editora Livraria da Física, 2004. 547 p.
- [2] YOUNG, Hugh D.; FREEDMAN, Roger A. **Sears e Zemansky Física III: eletromagnetismo**. Colaboradores T.R. Sandin, A. Lewis Ford, tradução e revisão técnica Adir Moysés Luiz. 10. ed. São Paulo: Addison Wesley, 2004. 402 p.
- [3] ALEXANDER, Charles K.; SADIKU, Matthew N. O., **Fundamentos de circuitos elétricos**., tradução Gustavo Guimarães Parma. Porto Alegre: Bookman, 2003. 857p.
- [4] FERNANDES, P. O. **Manutenção de transformadores através do controle do óleo isolante mineral**: Westinghouse do Brasil - Divisão de Serviços Industriais, 17f. Apostila.
- [5] PARANÁ, Djalma Nunes da Silva. **Física Eletricidade**., 7. ed. São Paulo: Editora Ática, 1999. 431 p.
- [6] MIYANDAIRA, Alberto Noboru. **Microcontroladores PIC18**, 3. ed. rev. e atual. São Paulo: Editora Érica, 2012. 400 p.
- [7] BALBINOT, Alexandre; BRUSAMARELLO, Valner João. **Instrumentação e Fundamentos de Medidas, v.1**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2010. 385 p.
- [8] PERSONAL PIC. Homepage disponível em <<http://www.personalpic.com.br>>. Acesso em 20. mar. 2012.
- [9] PIAZZA, Fernando. **Avaliação do estado de envelhecimento do sistema isolante de transformadores em papel, óleo e cabos extrudados em XLPE, utilizando a técnica de tensão de retorno**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Elétrica. Setor de tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2001. Disponível em <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/016.pdf>>. Acesso em 19. Out. 2012.
- [10] KEITHLEY, Instruments. **Low Level measurements Handbook**, 6. ed disponível em <<http://www.keithley.com/at/027.htm>>. Acesso em 25.mar. 2012.
- [11] LUZ JÚNIOR, Geraldo Eduardo da; GUIMARÃES NETO, João Mariz; MOITA NETO, José Machado. **Ação adsorvente da bauxita sobre óleo isolante novo**. In: Revista Química Nova, Vol. 28, n. 3, 2005. p. 535-538. Disponível em: <<http://quimicanova.sbq.org.br/qn/qn01/2005/vol28n3/27-NT04149.pdf>>. Acesso em 14. Out. 2012.



[12] WEG, Transformadores. Informações técnicas DT11. **Características e especificação de transformadores de distribuição e força.** Curso Teórico. 218p, Apostila, Abril, 2012.

[13] SCHLAG. A. G. **The recovery voltage method for transformer diagnosis.** Switzerland : Tetex Instruments, s.ano, 84p.

[14] GONZÁLEZ. Santiago **Recovery voltage for the evaluation of the water content in the cellulose of power transformers.** Informativo Técnico Switzerland: Tetex Instruments, 2011, 12p.

OBRAS CONSULTADAS

Amit A. Paithankar , Cajetan T. Pinto. **“Transformer Insulation Diagnosis: Recovery Voltage Measurement and DC Absorption test.”** Electrical Insulation Conference and Electrical Manufacturing & Coil Winding Conference, 2001. pp. 597-600.

Cao Hongyan, S. Birlasekaran. **“Temperature Dependant Relaxation Studies on Oil-filled Transformer.”** Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA USA, April 7-10, 2002. pp. 174-178.

C.K.Dwivedi, M.B.Daigavane. **“Evaluation of Moisture Content In Paper-Oil of Aged Power Transformer Using RVM.”** Second International Conference on Emerging Trends in Engineering and Technology, ICETET-09. IEEE 2009. pp. 470-475.

J.P. van Bolhuis, E. Gulski, J.J. Smit. Et.al. **“Development of knowledge rules for RVM for interpretation of the condition of transformer insulation.”** Conference Record of the 2000 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Anaheim, CA USA, April 2-5, 2000. pp. 267-270.

J.P. van Bolhuis, E. Gulski, J.J. Smit. **“Interpretation of RVM measurements, beyond the polarisation spectrum.”** Conference Record of the 2002 IEEE International Symposium on Electrical Insulation, Boston, MA USA, April 7-10, 2002. pp 179-182.

Omar Hassanl, A. A. Shyegani, Hossein Borsi, Emst Gockenbach, E. M. Abu-Elzahab, M. I. Gilany. **“Detection of Oil-Pressboard Insulation Aging with Dielectric Spectroscopy in Time and Frequency Domain Measurements.”** International Conference on Solid Dielectrics, Toulouse. France, July 5-9, 2004.

M.G.M. Megens, A. Rama and R. Ross. **“Return Voltage Measurements on Paper Insulation of Windings and Cables”.** IEEE - International Conference on Conduction and Breakdown in Solid Dielectrics, June 22-25, 1998, Västerås, Sweden. pp. 98-101.

Mohd Aizam Talib, NoorAzlan Mohd Ghazali, Melvin Christie, Wan Zakaria, Ismail Hashim, Shahanom Uthman, and Mohammad Nor Jamali. **“Diagnosis of Transformer Insulation Condition Using Recovery Voltage Measurements.”** National Power and Energy Conference (PECon) 2003 Proceedings, Bangi, Malaysia, 2003. IEEE 2003.

P. R. S. Jota, S. M. Islam e F. G. Jota. **“Modeling the Polarization Spectrum in Composite Oil/Paper Insulation Systems.”** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation, Vol. 6, No. 2, pp. 145-151, April, 1999.



S. D. Grigorescu, O. M. Ghita, M. Covrig, I. Potarniche. **“High Voltage Transformer Insulation Evaluation Using a Measurement Expert System.”** The 7th International Symposium on Advanced Topics In Electrical Engineering. The Faculty of Electrical Engineering. U.P.B., Bucharest, May 12-12, 2011.

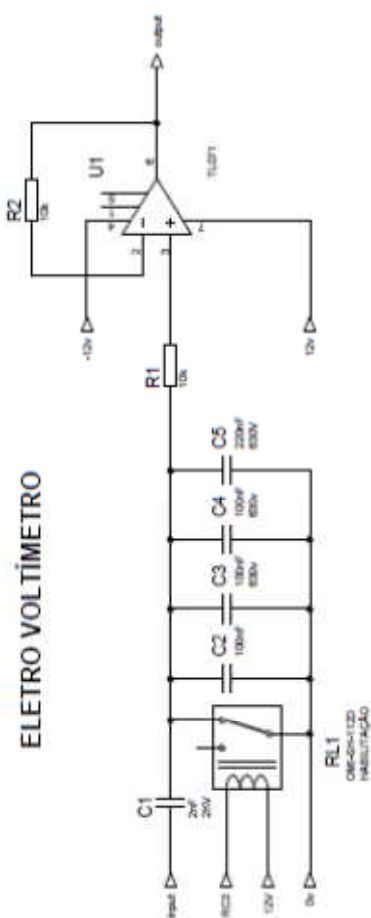
Tapan K. Saha, Prithwiraj Purkait. **“Investigation of an Expert System for the Condition Assessment of Transformer Insulation Based on Dielectric Response Measurements.”** IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 19, n°. 3, July, 2004. pp. 1127-1134

Tapan. K. Saha, Prithwiraj Purkait. **“Understanding the Impacts of Moisture and Thermal Ageing on Transformer’s Insulation by Dielectric Response and Molecular Weight Measurements.”** IEEE Transactions on Dielectrics and Electrical Insulation. Vol. 15, N°. 2, April, 2008. pp. 568-582.

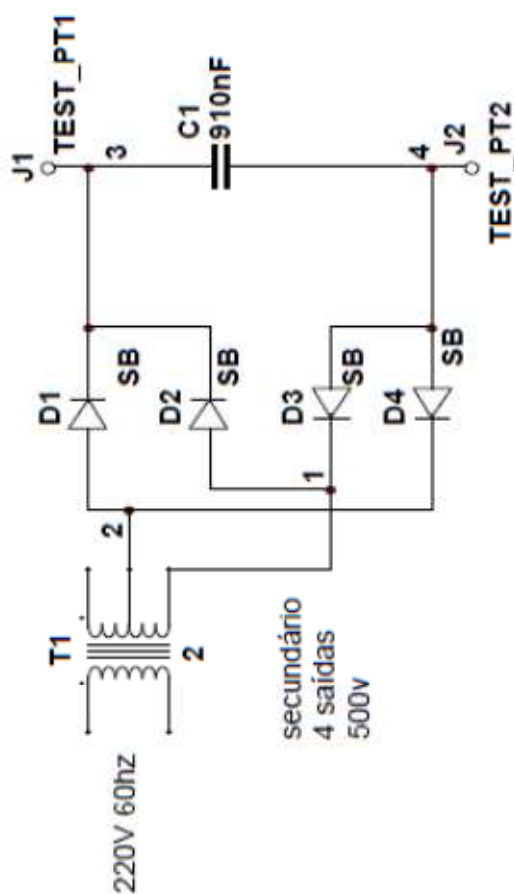
V. Aschenbrenner, T. Ucik. **“Using of Parameters of RVM Measurement for qualitative Appreciation of Power Transformers Insulation State.”** Transmission and Distribution Conference and Exhibition 2002, Asia Pacific. IEEE/PES, 6-10, Oct., 2002. pp. 1829-1833.

Zhang Tao, Cai Jin-ding. **“Study on Voltage Response Method of Transformer Condition Assessment.”** International Conference on High Voltage Engineering and Application, Chongqing, China, November 9-13, 2008. pp. 580-583.

APÊNDICE A – ELETROVOLTÍMETRO

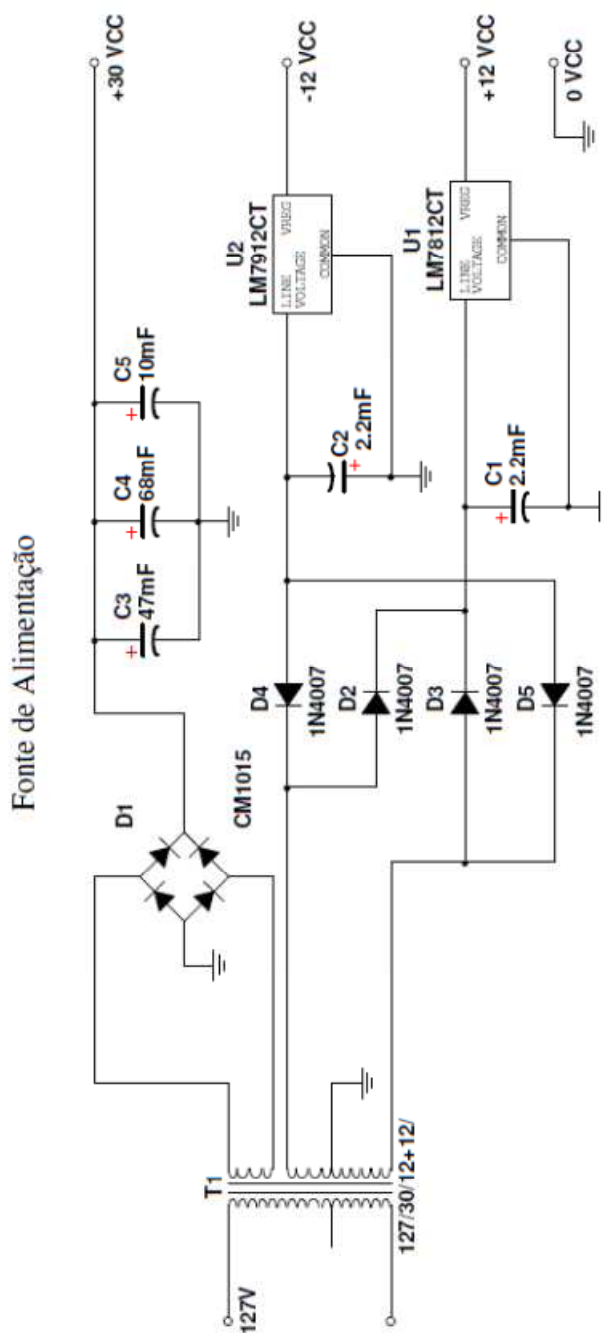


APÊNDICE B – CIRCUITO DE ALTA TENSÃO



CIRCUITO DE ALTA TENSÃO

APÊNDICE C – FONTE DE ALIMENTAÇÃO



APÊNDICE D – FIRMWARE

```
C:\projetos\polarize.c 14-nov-12 02:55 pm Page 1 of 3
//*****//
//          FIRMWARE DO MICROCONTROLADOR PIC 16F877A          //
//          autor: Mauro Alves Nunes                          //
//  medição da unidade interna de transformadores isolados em óleo e papel //
//  projeto de TCC para obtenção de grau em Engenharia Eletrica //
//*****//

#include <16f877.h>
#define ADC_10
#define delay (clock-20000000)
#define use_portb_lcd true
#include <personalpic.h>
#define HS, NOWDT, NOPROTECT, NOBROWNOUT, NOLVP, PUT
#define rs232 (baud-9600 ,xmit-PIN_C6, rcv-PIN_C7, parity-n)

unsigned int32 intporseg = 7812; //78125 numero de interrupções para 1 segundo
signed int32 cont_int=0;

unsigned int segundos=0;
unsigned int minutos=0;
unsigned int horas=0;
unsigned int seg2=0;
unsigned int min2=0;
unsigned int hor2=0;
float entrada;
float saida;

//Rotina do relógio por interrupção via Timer0
int rtcc
void clock_isr()
{
cont_int -- 256;
if(cont_int<=0)
{
++segundos;
cont_int+=intporseg;
}
if(segundos>59)
{
segundos=0;
++minutos;
if(minutos>59)
{
minutos=0;
++horas;
if (horas>23)
{
horas=0;
}
}
}
}

void leitura()
{
set_adc_channel(0);
delay_us(50);
entrada=read_adc();
// if(in) in++;
entrada=(entrada*5)/1024;
set_adc_channel(1);
delay_us(50);
saida=read_adc();
//if(out) out++;
}
```



```
C:\projetos\polarize.c 14-nov-12 02:55 pm Page 2 of 3
saida-saida*5/1024;
}
void main()
{
    long int aux-0,aux2-10,aux3-0;
    //Configura interrupção Timer0
    cont_int=interpseg;
    //set_timer0(0);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL | RTCC_DIV_64 | RTCC_S_BIT );
    enable_interrupts(GLOBAL);
    enable_interrupts(INT_RTCC);

    //Configuração canal A/D
    setup_ADC_ports (RA0 RA1 RA3_analog); //Configura portas analogicas
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL); //Define clock interno para entradas analogicas

    while(1)
    {
        long X,Y;

        X = AD(0);
        Y = AD(1);
        // delay_ms(4);
        leitura();

        if ((segundos>seg2) || (minutos>min2) || (horas>hor2))
        {
            seg2=segundos;
            min2=minutos;
            hor2=horas;
            aux=aux+1;

            // TROCA DO VALOR DE POLARIZAÇÃO;
            if (aux>(aux2*6))
            {
                if (aux2--5 || aux2--50 || aux2--500 || aux2--5000 || aux2--10 || aux2--100 || aux2--1000 ||
                {
                    aux2=(aux2*2);
                    aux=0;
                    output_c(0x00);
                }

                else
                if (aux2--2 || aux2--20 || aux2--200 || aux2 --2000 || aux2--2000)
                {
                    aux2=(aux2+aux2+(aux2/2));
                    aux=0;
                    output_c(0x00);
                }
            }
            if (aux2>--201)
            {output_c(0x00);
            output_e(0x00);
            if (lcd_connected())
            {
                lcd_gotoxy(1,1);
                printf(lcd_putc,"%f FIM DO TESTE\n",NULBRA ENGENHARIA");
            }
            break;}

            // SELEÇÃO DE MODO DE OPERAÇÃO (POLARIZAÇÃO,CURTO CIRCUITO,MEDIÇÃO)
```



C:\projetos\polarize.c 14-nov-12 02:55 pm Page 3 of 3

```
if (aux>(aux2+aux2/2))
{output_c(0x00);
output_e(0x00);
output_high(C3);
output_high(C2);
if (lcd_connected())
{
lcd_init();
printf(lcd_putc,"\fTeste de Tensao \nAD%411%511%511 ",Y,aux,aux2);
}
printf("\nTeste de Tensao; AD; %411;%511;%511 \r",Y,aux,aux2);
}

if (aux>(aux2+1)&& (aux<=(aux2+aux2/2)) )
{
output_low(C0);
output_low(RELE2);

output_high(RELE1);
output_high(C1);

if (lcd_connected())
{
lcd_init();
printf(lcd_putc,"\fCurto Circuito \nAD%411%511%511 ",Y,aux,aux2);
}
printf("\nCurto Circuito; AD;%411;%511;%511 \r",Y,aux,aux2);
}

//medicao
if (aux>(aux2)&& (aux<=((aux2+aux2/2)-3)) )
{output_low(C3);}
else
{output_high(C3);}

if (aux<=aux2)
{output_c(0x00);
output_e(0x00);
output_high(C0);
output_high(C3);
output_high(RELE2);
if (lcd_connected())
{
lcd_init();
printf(lcd_putc,"\fPolariz %2u %2u \nAD%411%511%511 ",segundos,seg2,Y,aux,aux2);
// printf(lcd_putc,"\r %s: %2u:%2u:%2u \n %s%1.2f %s%1.2f", "tempo", horas, minutos
}
printf("\nPolarizacao; AD; %411;%511;%511 \r",Y,aux,aux2 );
}
}
}
```



APÊNDICE E – SOFTWARE

```
//-----  
// Ulbra - Universidade Luterana Do Brasil - Engenharia Elétrica  
//  
//Rvm Medição de umidade interna de transformadores a óleo  
// Utilizando o método de recuperação de tensão  
//-----  
#include <vcl.h>  
#include <vcl\registry.hpp> //Para TRegistry.  
#pragma hdrstop  
#include "UnitSerial.h"  
#include "Dialogo.h"  
#include <stdio.h>  
//#include <stdlib.h>  
#include <dos.h>  
//#include <systdate.h>  
#include <share.h>  
  
//-----  
#pragma package(smart_init)  
#pragma resource "*.dfm"  
#define LEN_BUFFER 255 //Tamanho do Buffer.  
#define BITOFF 0  
#define BIT0 1  
#define BIT1 2  
#define BIT2 4  
#define BIT3 8  
#define BIT4 16  
#define BIT5 32  
#define BIT6 64  
#define BIT7 128  
//-----  
//Variáveis e objetos Globais  
//-----  
TForm1 *Form1;  
TMultLinha *MultLinha;  
//Variáveis da API  
HANDLE hCom;  
DCB dcb;  
COMMTIMEOUTS CommTimeouts;  
//-----  
bool GLBEnviaDados = false; //Para habilitar/desabilitar o envio de dados pela  
serial.  
String StrComandos; //Armazena a string de comando lida da Serial.
```



```
char BufferRecebe[LEN_BUFFER]; //Buffer temporário para trabalhar direto com
ReadFile().
```

```
//-----
//Declaração das funções
bool LeDados(char* EntradaDados, unsigned int TamBuffer, unsigned long&
TotalLidos);
bool EscreveDados(char* outputData, const unsigned int sizeBuffer, unsigned long&
length);
bool AbrirPorta(char *NomePorta);
void MostraNomesCom(void); //Mostra os nomes das portas "COM" instaladas no
sistema num ComboBox.
bool ConfiguraControle(void);
bool ConfiguraTimeOuts(void);
bool GLB_Conectado = false; //Indica se a porta já está aberta.
```

```
//-----
__fastcall TForm1::TForm1(TComponent* Owner): TForm(Owner)
{
    ComboBoxPorta->ItemIndex = 0; //Seleciona a porta COM1. 1=COM2; 2=COM3;
    dcb.BaudRate = CBR_9600; //bps (Velocidade).
    dcb.ByteSize = 8; //8 Bits de dados.
    dcb.Parity = NOPARITY; //Sem paridade.
    dcb.StopBits = ONESTOPBIT; //1 stop bit.
}
```

```
//-----
__fastcall TMultiLinha::TMultiLinha(bool CreateSuspended) :
TThread(CreateSuspended)
```

```
{
}
```

```
//-----
// DIRETO STRING TELA 1
//-----
```

```
void Tela1(String StrDados, unsigned int IntEntrada, unsigned int IntPort1,
unsigned int IntPort3, unsigned int saida_1, unsigned int IntEntrada_5,
unsigned int IntEntrada_1, unsigned int Torre_1, unsigned int Hora_T,
unsigned int Minuto_T, unsigned int Torre_x1, unsigned int Hora_x1)
```

```
{
    static bool Flag = true;
    static bool FlagLim = true; //flag entrada_3
    static bool FlagSen = true; // flag entrada_2
    static bool FlagTecCon = true; //flag entrada_4
    static bool FlagSaida = true;
    static bool FlagEn5 = true; //flag entrada_5
    static bool FlagEn1 = true;
    static bool Flag_torre = true;
    static bool Flag_hora = true;
    String bebmin = StrDados.SubString(8,4);
    Form1->Label63->Caption = (bebmin);
    String hora1 = StrDados.SubString(13,5);
    Form1->Label64->Caption = (hora1);
```



```
String minu1 = StrDados.SubString(19,5);
Form1->Label59->Caption =(minu1);

int x,y;
x = StrToInt(Form1->Label64->Caption);
y = StrToInt(Form1->Label63->Caption);
Form1->Series1->AddXY(x,y,"",clRed);
static struct date data;

// Preparação e salvamento do arquivo de log para análise subsequente
char Arqnome[30];
FILE *fp;

    getdate(&data);
    // Monta o nome do arquivo, a partir da data atual (ano, mês e dia).

sprintf(Arqnome, "./Valores%04u%02u%02u.txt",data.da_year,data.da_mon,data.da
_day);
if ((fp = _fsopen(Arqnome,"at",SH_DENYWR)) != NULL)
    {
        fprintf (fp,"%d;%d\n",x,y);
        fclose (fp);
    }

}

//-----
//Abre a Porta Serial COMx
bool AbrirPorta(char *NomePorta)
{
    hCom = CreateFile(
        NomePorta,
        GENERIC_READ | GENERIC_WRITE,
        0, // dispositivos comm abertos com acesso exclusivo
        NULL, // sem atributos de segurança
        OPEN_EXISTING, // deve usar OPEN_EXISTING
        0, //Entrada e saída sem ovelap.
        NULL // hTemplate deve ser NULL para comm
    );
    if(hCom == INVALID_HANDLE_VALUE)
    {
        return false;
    }
    return true;
}
//-----
//CONFIGURA PORTA SERIAL.
bool ConfiguraControle(void)
{
    if(!GetCommState(hCom, &dcb))
    {
        return false;
    }
}
```




```
}
dcb.BaudRate = CBR_9600;
dcb.ByteSize = 8;
dcb.Parity = NOPARITY;
dcb.StopBits = ONESTOPBIT;

if( SetCommState(hCom, &dcb) == 0 )
{
    return false;
}
return true;
}
//-----
//DEFINE TIMEOUTS
bool ConfiguraTimeOuts(void)
{
    if( GetCommTimeouts(hCom, &CommTimeouts) == 0 )
    {
        return false;
    }

    CommTimeouts.ReadIntervalTimeout = 2;
    CommTimeouts.ReadTotalTimeoutMultiplier = 0;
    CommTimeouts.ReadTotalTimeoutConstant = 2;
    CommTimeouts.WriteTotalTimeoutMultiplier = 5;
    CommTimeouts.WriteTotalTimeoutConstant = 5;

    if( SetCommTimeouts(hCom, &CommTimeouts) == 0 )
    {
        return false;
    }
    return true;
}
//-----
void __fastcall TForm1::FormCreate(TObject *Sender)
{
    memset( BufferRecebe, 0, LEN_BUFFER); //Limpa o buffer.
    MostraNomesCom(); //Mostra os nomes das portas "COM" num FilterComboBox.
    MultLinha = new TMultLinha(true); //Aloca memória para o objeto.
    MultLinha->Priority = tpHigher; //Define a prioridade.
}
//-----
void __fastcall TForm1::FormCloseQuery(TObject *Sender, bool &CanClose)
{
    MultLinha->Terminate();
    MultLinha = NULL;
    delete MultLinha;
    if( GLB_Conectado )
        CloseHandle(hCom);
}
//-----
bool EscreveDados(char* outputData,const unsigned int sizeBuffer,unsigned long&
length)
{
```



```
    if(WriteFile(hCom, outputData, sizeBuffer, &length, NULL) == 0)
    {
        return false;
    }
    return true;
}

//-----
void __fastcall TForm1::SpeedAbrirPortaClick(TObject *Sender)
{
    bool Sucesso;

    if(AbrirPorta(ComboBoxPorta->Text.c_str()) == true)
    {
        GLB_Conectado = true;
        Sucesso = ConfiguraControle();
        Sucesso = ConfiguraTimeOuts();
        if(Sucesso == false)
        {
            GLB_Conectado = false;
            CloseHandle(hCom);
            FormAviso->ShowModal();
        }else{
            SpeedAbrirPorta->Enabled = false;
            SpeedFecharPorta->Enabled = true;
            ComboBoxPorta->Enabled = false;
            MemoTX->Enabled = true;
            SpeedEnvia->Enabled = true;
            MultLinha->Resume(); //Inicia processo.
        }
    }else{
        GLB_Conectado = false;
        FormAviso->ShowModal();
    }
}

//-----
void __fastcall TForm1::SpeedFecharPortaClick(TObject *Sender)
{
    SpeedFecharPorta->Enabled = false;
    SpeedAbrirPorta->Enabled = true;
    ComboBoxPorta->Enabled = true;
    GLB_Conectado = false;
    MemoTX->Enabled = false;
    SpeedEnvia->Enabled = false;
    CloseHandle(hCom);
}

//-----
void __fastcall TForm1::FormShow(TObject *Sender)
{
    ComboBoxPorta->SetFocus();
}

//-----
void __fastcall TForm1::SpeedEnviaClick(TObject *Sender)
{
```



```
if(Form1->MemoTX->Lines->Count > 0) //Se tem dados no MemoTX.
{
    GLBEnviaDados = true; //Habilita o envio de dados para a porta Serial.
    MemoTX->SetFocus();
}

}
//-----
void __fastcall TForm1::SpeedSairClick(TObject *Sender)
{
    Close();
}
//-----
//Mostra string de forma sincronizada.
void __fastcall TMultiLinha::MostraString(void)
{
    Form1->LabelStrRecebida->Caption = StrComandos;
}
//-----
//FUNÇÃO PRINCIPAL
//-----
void __fastcall TMultiLinha::Execute()
{
    unsigned int cont=0;
    DWORD BytesEscritos; //Para armazenar a quantidade de dados escritos.
    DWORD BytesLidos; //Para armazenar a quantidade de dados lidos.
    unsigned int IntEntrada; //Para armazenar status torre 1
    unsigned int IntPort1; //Para armazenar status torre 2
    unsigned int IntPort3; //Para armazenar status torre 3
    unsigned int IntEntrada_5; //Para armazenar status torre 4
    unsigned int IntEntrada_1; //Para indicar qual placa selecionada torre 1
    unsigned int saida_1; //Para armazenar condições Reles.
    unsigned int Torre_1; //Para armazenar erros torre 1
    unsigned int Torre_2; //Para armazenar erros torre 2
    unsigned int Torre_3; //Para armazenar erros torre 3
    unsigned int Torre_4; //Para armazenar erros torre 4
    unsigned int Hora_T; //Para armazenar hora do erro
    unsigned int Minuto_T; //Para armazenar minuto do erro

    FreeOnTerminate = true; //O objeto é destruído automaticamente quando a
    Tthead terminar.

    while(!Terminated) //loop infinito. Vida do programa.
    {
        if(GLB_Conectado == true) //Se está conectado.
        {
            if(ReadFile( hCom, BufferRecebe, LEN_BUFFER, &BytesLidos, NULL) != 0 )
            {
                cont = 0;
            }
            if(BytesLidos > 0) //Se algum caracter foi lido.
            {
                BufferRecebe[BytesLidos] = '\\0'; //Finaliza string.
            }
        }
    }
}
```



```
    StrComandos += BufferRecebe; //Vai guardando o que recebeu na variável
    StrComandos.
while(cont < BytesLidos)
    {
        //Verifica se é o final da string. Quaisquer um dos caracteres '\n' ou '\0'
        finaliza a string.
    if( (BufferRecebe[cont] == '\n') || (BufferRecebe[cont] == '\0') ) //Finalizador de
    string.
        {
            Synchronize(MostraString); //Mostra string de forma sincronizada.
    if((StrComandos.SubString(1,6) == "Tensao")&&(StrComandos.SubString(24,1) ==
    ":."))//Se formato válido.
            {
                try
                {
                    IntEntrada = StrToInt( StrComandos.SubString(8,4) ); //Converte string
"entrada" em números.
                    //IntEntrada = StrToInt( StrComandos.SubString(39,3) ); //Converte string
"entrada" em números.
                    //IntPort1 = StrToInt( StrComandos.SubString(43,3) ); //Converte string
"port1" em números.
                    //IntPort3 = StrToInt( StrComandos.SubString(47,3) ); //Converte string
"port3" em números.
                    //IntEntrada_5 = StrToInt( StrComandos.SubString(51,3) );
                    //saida_1 = StrToInt( StrComandos.SubString(55,3) );
                    //IntEntrada_1 = StrToInt( StrComandos.SubString(80,3) );
                    //Torre_1 = StrToInt( StrComandos.SubString(24,2) );
                    // Torre_2 = StrToInt( StrComandos.SubString(27,2) );
                    // Torre_3 = StrToInt( StrComandos.SubString(30,2) );
                    // Torre_4 = StrToInt( StrComandos.SubString(33,2) );
                    // Hora_T = StrToInt( StrComandos.SubString(59,2) );
                    // Minuto_T = StrToInt( StrComandos.SubString(62,2) );
                }
                catch ( ... )
                {
                }
            }
        }
    Tela1(StrComandos,IntEntrada,IntPort1,IntPort3,saida_1,IntEntrada_5,IntEntrada_
    1,Torre_1,Hora_T,Minuto_T,Torre_x1,Hora_x1);
        }
        StrComandos = "\0";
        BufferRecebe[cont] = '\0';
    }
    cont++;
}
}
}
}
if((GLBEnviaDados == true) && (Form1->MemoTX->Lines->Count > 0)) //Se há
texto a ser enviado.
{
    AnsiString StrMens = Form1->MemoTX->Text; //Armazena o comando
digitado na variável.
    //StrMens += "\r\n"; //concatena CR LF ao final da String de comandos.
    int tama = StrMens.Length();
```



```
        EscreveDados(StrMens.c_str(), tama, BytesEscritos); //Envia string de
comandos para a placa.
        Form1->MemoTX->Clear();
        GLBEnviaDados = false;
    }
}
}
}
}
//-----
//Mostra os nomes das portas "COM" instaladas no sistema num ComboBox.
//-----
void MostraNomesCom(void)
{
    TRegistry *Registro = new TRegistry; //Cria e aloca espaço na memória para o
objeto.
    TStringList *Lista = new TStringList; //Cria e aloca espaço na memória para o
objeto.

    Registro->RootKey = HKEY_LOCAL_MACHINE; //Define chave raiz.
    Registro->OpenKey("HARDWARE\\DEVICEMAP\\SERIALCOMM", false); //Abre
a chave.
    //Obtém uma string contendo todos os nomes de valores associados com a
chave atual.
    Registro->GetValueNames(Lista);
    //Count é a quantidade de portas existentes.
    for(int indice=0; indice <= Lista->Count-1; indice++)
        //Pega nos nomes das portas.
        Form1->ComboBoxPorta->Items->Add(Registro->ReadString( Lista-
>Strings[indice] ));

    //Adciona os nomes das porta no ComboBox1.
    if (Form1->ComboBoxPorta->Items->Count > 0)
        Form1->ComboBoxPorta->ItemIndex = 0; //Exibir o primeino nome da porta.
    Lista->Free();
    Registro->CloseKey();
    Registro->Free(); //Libera memória alocada anteriormente pelo objeto Registro.
}
//-----

void __fastcall TForm1::Button1Click(TObject *Sender)
{
    Series1->Clear();
}
//-----
```



APÊNDICE F - MEDIDAS DE TENSÃO DO PROTÓTIPO

Terminal log file

Date: 13/09/2012 - 18:42:33

Polarizacao AD 0 1 10
Polarizacao AD 807 2 10
Polarizacao AD 806 3 10
Polarizacao AD 802 4 10
Polarizacao AD 803 5 10
Polarizacao AD 804 6 10
Polarizacao AD 805 7 10
Polarizacao AD 804 8 10
Polarizacao AD 805 9 10
Polarizacao AD 804 10 10
Curto Circuito AD 0 12 10
Curto Circuito AD 0 13 10
Curto Circuito AD 0 14 10
Curto Circuito AD 0 15 10
Teste de Tensao AD 0 16 10
Teste de Tensao AD 35 17 10
Teste de Tensao AD 71 18 10
Teste de Tensao AD 90 19 10
Teste de Tensao AD 103 20 10
Teste de Tensao AD 110 21 10
Teste de Tensao AD 113 22 10
Teste de Tensao AD 115 23 10
Teste de Tensao AD 114 24 10
Teste de Tensao AD 113 25 10
Teste de Tensao AD 111 26 10
Teste de Tensao AD 109 27 10
Teste de Tensao AD 106 28 10
Teste de Tensao AD 104 29 10
Teste de Tensao AD 102 30 10
Teste de Tensao AD 99 31 10
Teste de Tensao AD 97 32 10
Teste de Tensao AD 96 33 10
Teste de Tensao AD 92 34 10
Teste de Tensao AD 90 35 10
Teste de Tensao AD 88 36 10
Teste de Tensao AD 85 37 10
Teste de Tensao AD 83 38 10
Teste de Tensao AD 81 39 10
Teste de Tensao AD 79 40 10
Teste de Tensao AD 78 41 10
Teste de Tensao AD 75 42 10
Teste de Tensao AD 73 43 10
Teste de Tensao AD 73 44 10
Teste de Tensao AD 69 45 10
Teste de Tensao AD 68 46 10
Teste de Tensao AD 66 47 10
Teste de Tensao AD 65 48 10
Teste de Tensao AD 63 49 10



Teste de Tensao AD 61	50	10
Teste de Tensao AD 60	51	10
Teste de Tensao AD 59	52	10
Teste de Tensao AD 57	53	10
Teste de Tensao AD 56	54	10
Teste de Tensao AD 54	55	10
Teste de Tensao AD 53	56	10
Teste de Tensao AD 51	57	10
Teste de Tensao AD 50	58	10
Teste de Tensao AD 49	59	10
Teste de Tensao AD 47	60	10
Polarizaco AD 46	0	20
Polarizacao AD 809	1	20
Polarizacao AD 808	2	20
Polarizacao AD 808	3	20
Polarizacao AD 807	4	20
Polarizacao AD 807	5	20
Polarizacao AD 807	6	20
Polarizacao AD 806	7	20
Polarizacao AD 807	8	20
Polarizacao AD 807	9	20
Polarizacao AD 806	10	20
Polarizacao AD 807	11	20
Polarizacao AD 806	12	20
Polarizacao AD 805	13	20
Polarizacao AD 806	14	20
Polarizacao AD 806	15	20
Polarizacao AD 806	16	20
Polarizacao AD 805	17	20
Polarizacao AD 806	18	20
Polarizacao AD 805	19	20
Polarizacao AD 806	20	20
Curto Circuito AD 0	22	20
Curto Circuito AD 0	23	20
Curto Circuito AD 0	24	20
Curto Circuito AD 0	25	20
Curto Circuito AD 0	26	20
Curto Circuito AD 0	27	20
Curto Circuito AD 0	28	20
Curto Circuito AD 0	29	20
Curto Circuito AD 0	30	20
Teste de Tensao AD 0	31	20
Teste de Tensao AD 45	32	20
Teste de Tensao AD 89	33	20
Teste de Tensao AD 115	34	20
Teste de Tensao AD 131	35	20
Teste de Tensao AD 139	36	20
Teste de Tensao AD 143	37	20
Teste de Tensao AD 144	38	20
Teste de Tensao AD 144	39	20
Teste de Tensao AD 142	40	20
Teste de Tensao AD 140	41	20
Teste de Tensao AD 137	42	20
Teste de Tensao AD 135	43	20
Teste de Tensao AD 131	44	20
Teste de Tensao AD 129	45	20
Teste de Tensao AD 125	46	20
Teste de Tensao AD 123	47	20
Teste de Tensao AD 120	48	20
Teste de Tensao AD 117	49	20
Teste de Tensao AD 114	50	20
Teste de Tensao AD 111	51	20
Teste de Tensao AD 108	52	20



Teste de Tensao AD 105	53	20
Teste de Tensao AD 103	54	20
Teste de Tensao AD 100	55	20
Teste de Tensao AD 98	56	20
Teste de Tensao AD 96	57	20
Teste de Tensao AD 93	58	20
Teste de Tensao AD 92	59	20
Teste de Tensao AD 89	60	20
Teste de Tensao AD 87	61	20
Teste de Tensao AD 84	62	20
Teste de Tensao AD 82	63	20
Teste de Tensao AD 80	64	20
Teste de Tensao AD 78	65	20
Teste de Tensao AD 79	66	20
Teste de Tensao AD 75	67	20
Teste de Tensao AD 72	68	20
Teste de Tensao AD 71	69	20
Teste de Tensao AD 69	70	20
Teste de Tensao AD 67	71	20
Teste de Tensao AD 66	72	20
Teste de Tensao AD 64	73	20
Teste de Tensao AD 63	74	20
Teste de Tensao AD 61	75	20
Teste de Tensao AD 58	76	20
Teste de Tensao AD 58	77	20
Teste de Tensao AD 56	78	20
Teste de Tensao AD 55	79	20
Teste de Tensao AD 53	80	20
Teste de Tensao AD 52	81	20
Teste de Tensao AD 50	82	20
Teste de Tensao AD 49	83	20
Teste de Tensao AD 48	84	20
Teste de Tensao AD 47	85	20
Teste de Tensao AD 46	86	20
Teste de Tensao AD 45	87	20
Teste de Tensao AD 44	88	20
Teste de Tensao AD 42	89	20
Teste de Tensao AD 41	90	20
Teste de Tensao AD 40	91	20
Teste de Tensao AD 39	92	20
Teste de Tensao AD 39	93	20
Teste de Tensao AD 37	94	20
Teste de Tensao AD 36	95	20
Teste de Tensao AD 35	96	20
Teste de Tensao AD 34	97	20
Teste de Tensao AD 34	98	20
Teste de Tensao AD 33	99	20
Teste de Tensao AD 32	100	20
Teste de Tensao AD 31	101	20
Teste de Tensao AD 30	102	20
Teste de Tensao AD 29	103	20
Teste de Tensao AD 28	104	20
Teste de Tensao AD 29	105	20
Teste de Tensao AD 27	106	20
Teste de Tensao AD 26	107	20
Teste de Tensao AD 26	108	20
Teste de Tensao AD 25	109	20
Teste de Tensao AD 24	110	20
Teste de Tensao AD 24	111	20
Teste de Tensao AD 23	112	20
Teste de Tensao AD 22	113	20
Teste de Tensao AD 22	114	20
Teste de Tensao AD 21	115	20



Teste de Tensao AD 20	116	20
Teste de Tensao AD 20	117	20
Teste de Tensao AD 20	118	20
Teste de Tensao AD 19	119	20
Teste de Tensao AD 20	120	20
Polarizacao AD 18	0	50
Polarizacao AD 811	1	50
Polarizacao AD 810	2	50
Polarizacao AD 809	3	50
Polarizacao AD 809	4	50
Polarizacao AD 809	5	50
Polarizacao AD 809	6	50
Polarizacao AD 809	7	50
Polarizacao AD 809	8	50
Polarizacao AD 808	9	50
Polarizacao AD 808	10	50
Polarizacao AD 808	11	50
Polarizacao AD 809	12	50
Polarizacao AD 807	13	50
Polarizacao AD 807	14	50
Polarizacao AD 807	15	50
Polarizacao AD 808	16	50
Polarizacao AD 807	17	50
Polarizacao AD 807	18	50
Polarizacao AD 808	19	50
Polarizacao AD 807	20	50
Polarizacao AD 807	21	50
Polarizacao AD 807	22	50
Polarizacao AD 807	23	50
Polarizacao AD 807	24	50
Polarizacao AD 807	25	50
Polarizacao AD 807	26	50
Polarizacao AD 807	27	50
Polarizacao AD 807	28	50
Polarizacao AD 807	29	50
Polarizacao AD 807	30	50
Polarizacao AD 807	31	50
Polarizacao AD 807	32	50
Polarizacao AD 808	33	50
Polarizacao AD 807	34	50
Polarizacao AD 808	35	50
Polarizacao AD 808	36	50
Polarizacao AD 807	37	50
Polarizacao AD 807	38	50
Polarizacao AD 807	39	50
Polarizacao AD 807	40	50
Polarizacao AD 807	41	50
Polarizacao AD 807	42	50
Polarizacao AD 807	43	50
Polarizacao AD 807	44	50
Polarizacao AD 807	45	50
Polarizacao AD 807	46	50
Polarizacao AD 807	47	50
Polarizacao AD 807	48	50
Polarizacao AD 806	49	50
Polarizacao AD 807	50	50
Curto Circuito AD 0	52	0
Curto Circuito AD 0	53	50
Curto Circuito AD 0	54	50
Curto Circuito AD 0	55	50
Curto Circuito AD 0	56	50
Curto Circuito AD 0	57	50
Curto Circuito AD 0	58	50



Curto Circuito AD	0	59	50
Curto Circuito AD	0	60	50
Curto Circuito AD	0	61	50
Curto Circuito AD	0	62	50
Curto Circuito AD	0	63	50
Curto Circuito AD	0	64	50
Curto Circuito AD	0	65	50
Curto Circuito AD	0	66	50
Curto Circuito AD	0	67	50
Curto Circuito AD	0	68	50
Curto Circuito AD	0	69	50
Curto Circuito AD	0	70	50
Curto Circuito AD	0	71	50
Curto Circuito AD	0	72	50
Curto Circuito AD	0	73	50
Curto Circuito AD	0	74	50
Curto Circuito AD	0	75	50
Teste de Tensao AD	0	76	50
Teste de Tensao AD	25	77	50
Teste de Tensao AD	52	78	50
Teste de Tensao AD	67	79	50
Teste de Tensao AD	77	80	50
Teste de Tensao AD	82	81	50
Teste de Tensao AD	84	82	50
Teste de Tensao AD	85	83	50
Teste de Tensao AD	85	84	50
Teste de Tensao AD	84	85	50
Teste de Tensao AD	83	86	50
Teste de Tensao AD	81	87	50
Teste de Tensao AD	79	88	50
Teste de Tensao AD	77	89	50
Teste de Tensao AD	75	90	50
Teste de Tensao AD	74	91	50
Teste de Tensao AD	72	92	50
Teste de Tensao AD	71	93	50
Teste de Tensao AD	69	94	50
Teste de Tensao AD	67	95	50
Teste de Tensao AD	65	96	50
Teste de Tensao AD	63	97	50
Teste de Tensao AD	62	98	50
Teste de Tensao AD	59	99	50
Teste de Tensao AD	59	100	50
Teste de Tensao AD	57	101	50
Teste de Tensao AD	56	102	50
Teste de Tensao AD	54	103	50
Teste de Tensao AD	53	104	50
Teste de Tensao AD	52	105	50
Teste de Tensao AD	49	106	50
Teste de Tensao AD	49	107	50
Teste de Tensao AD	48	108	50
Teste de Tensao AD	47	109	50
Teste de Tensao AD	46	110	50
Teste de Tensao AD	44	111	50
Teste de Tensao AD	43	112	50
Teste de Tensao AD	42	113	50
Teste de Tensao AD	41	114	50
Teste de Tensao AD	40	115	50
Teste de Tensao AD	39	116	50
Teste de Tensao AD	37	117	50
Teste de Tensao AD	37	118	50
Teste de Tensao AD	36	119	50
Teste de Tensao AD	35	120	50
Teste de Tensao AD	34	121	50



Teste de Tensao AD 33	122	50
Teste de Tensao AD 32	123	50
Teste de Tensao AD 31	124	50
Teste de Tensao AD 31	125	50
Teste de Tensao AD 30	126	50
Teste de Tensao AD 29	127	50
Teste de Tensao AD 28	128	50
Teste de Tensao AD 28	129	50
Teste de Tensao AD 27	130	50
Teste de Tensao AD 26	131	50
Teste de Tensao AD 25	132	50
Teste de Tensao AD 25	133	50
Teste de Tensao AD 24	134	50
Teste de Tensao AD 23	135	50
Teste de Tensao AD 22	136	50
Teste de Tensao AD 22	137	50
Teste de Tensao AD 21	138	50
Teste de Tensao AD 21	139	50
Teste de Tensao AD 20	140	50
Teste de Tensao AD 20	141	50
Teste de Tensao AD 19	142	50
Teste de Tensao AD 19	143	50
Teste de Tensao AD 18	144	50
Teste de Tensao AD 17	145	50
Teste de Tensao AD 17	146	50
Teste de Tensao AD 16	147	50
Teste de Tensao AD 16	148	50
Teste de Tensao AD 16	149	50
Teste de Tensao AD 15	150	50
Teste de Tensao AD 15	151	50
Teste de Tensao AD 15	152	50
Teste de Tensao AD 14	153	50
Teste de Tensao AD 14	154	50
Teste de Tensao AD 12	155	50
Teste de Tensao AD 13	156	50
Teste de Tensao AD 13	157	50
Teste de Tensao AD 12	158	50
Teste de Tensao AD 12	159	50
Teste de Tensao AD 11	160	50
Teste de Tensao AD 11	161	50
Teste de Tensao AD 11	162	50
Teste de Tensao AD 10	163	50
Teste de Tensao AD 10	164	50
Teste de Tensao AD 9	165	50
Teste de Tensao AD 9	166	50
Teste de Tensao AD 8	167	50
Teste de Tensao AD 8	168	50
Teste de Tensao AD 8	169	50
Teste de Tensao AD 8	170	50
Teste de Tensao AD 8	171	50
Teste de Tensao AD 7	172	50
Teste de Tensao AD 7	173	50
Teste de Tensao AD 7	174	50
Teste de Tensao AD 7	175	50
Teste de Tensao AD 7	176	50
Teste de Tensao AD 6	177	50
Teste de Tensao AD 6	178	50
Teste de Tensao AD 6	179	50
Teste de Tensao AD 5	180	50
Teste de Tensao AD 4	181	50
Teste de Tensao AD 5	182	50
Teste de Tensao AD 4	186	50
Teste de Tensao AD 4	187	50



Teste de Tensao AD	3	188	50
Teste de Tensao AD	4	189	50
Teste de Tensao AD	4	190	50
Teste de Tensao AD	3	191	50
Teste de Tensao AD	3	192	50
Teste de Tensao AD	3	193	50
Teste de Tensao AD	3	194	50
Teste de Tensao AD	3	195	50
Teste de Tensao AD	2	196	50
Teste de Tensao AD	3	197	50
Teste de Tensao AD	2	198	50
Teste de Tensao AD	2	199	50
Teste de Tensao AD	2	200	50
Teste de Tensao AD	2	201	50
Teste de Tensao AD	2	202	50
Teste de Tensao AD	2	203	50
Teste de Tensao AD	2	204	50
Teste de Tensao AD	1	205	50
Teste de Tensao AD	1	206	50
Teste de Tensao AD	1	207	50
Teste de Tensao AD	1	208	50
Teste de Tensao AD	1	209	50
Teste de Tensao AD	1	210	50
Teste de Tensao AD	1	211	50
Teste de Tensao AD	1	212	50
Teste de Tensao AD	0	213	50
Teste de Tensao AD	0	214	50
Teste de Tensao AD	0	215	50
Teste de Tensao AD	0	216	50
Teste de Tensao AD	0	217	50
Teste de Tensao AD	0	218	50
Teste de Tensao AD	0	219	50
Teste de Tensao AD	0	220	50
Teste de Tensao AD	0	221	50
Teste de Tensao AD	0	222	50
Teste de Tensao AD	0	223	50
Teste de Tensao AD	0	224	50
Teste de Tensao AD	0	225	50
Teste de Tensao AD	0	226	50
Teste de Tensao AD	0	227	50
Teste de Tensao AD	0	228	50
Teste de Tensao AD	0	229	50
Teste de Tensao AD	0	230	50
Teste de Tensao AD	0	231	50
Teste de Tensao AD	0	232	50
Teste de Tensao AD	0	233	50
Teste de Tensao AD	0	234	50
Teste de Tensao AD	0	235	50
Teste de Tensao AD	0	236	50
Teste de Tensao AD	0	237	50
Teste de Tensao AD	0	238	50
Teste de Tensao AD	0	239	50
Teste de Tensao AD	0	240	50
Teste de Tensao AD	0	241	50
Teste de Tensao AD	0	242	50
Teste de Tensao AD	0	243	50
Teste de Tensao AD	0	245	50
Teste de Tensao AD	0	246	50
Teste de Tensao AD	0	247	50
Teste de Tensao AD	0	248	50
Teste de Tensao AD	0	249	50
Teste de Tensao AD	0	250	50
Teste de Tensao AD	0	251	50



Teste de Tensao AD 0 252 50
Teste de Tensao AD 0 253 50
Teste de Tensao AD 0 254 50
Teste de Tensao AD 0 255 50
Teste de Tensao AD 0 256 50
Teste de Tensao AD 0 257 50
Teste de Tensao AD 0 258 50
Teste de Tensao AD 0 259 50
Teste de Tensao AD 0 260 50
Teste de Tensao AD 0 261 50
Teste de Tensao AD 0 262 50
Teste de Tensao AD 0 263 50
Teste de Tensao AD 0 264 50
Teste de Tensao AD 0 265 50
Teste de Tensao AD 0 266 50
Teste de Tensao AD 0 267 50
Teste de Tensao AD 0 268 50
Teste de Tensao AD 0 269 50
Teste de Tensao AD 0 270 50
Teste de Tensao AD 0 271 50
Teste de Tensao AD 0 272 50
Teste de Tensao AD 0 273 50
Teste de Tensao AD 0 274 50
Teste de Tensao AD 0 275 50
Teste de Tensao AD 0 276 50
Teste de Tensao AD 0 277 50
Teste de Tensao AD 0 278 50
Teste de Tensao AD 0 279 50
Teste de Tensao AD 0 280 50
Teste de Tensao AD 0 281 50
Teste de Tensao AD 0 282 50
Teste de Tensao AD 0 283 50
Teste de Tensao AD 0 284 50
Teste de Tensao AD 0 285 50
Teste de Tensao AD 0 286 50
Teste de Tensao AD 0 287 50
Teste de Tensao AD 0 288 50
Teste de Tensao AD 0 289 50
Teste de Tensao AD 0 290 50
Teste de Tensao AD 0 291 50
Teste de Tensao AD 0 292 50
Teste de Tensao AD 0 293 50
Teste de Tensao AD 0 294 50
Teste de Tensao AD 0 295 50
Teste de Tensao AD 0 296 50
Teste de Tensao AD 0 297 50
Teste de Tensao AD 0 298 50
Teste de Tensao AD 0 299 50
Teste de Tensao AD 0 300 50
Date: 13/09/2012 - 18:47:49
End log file

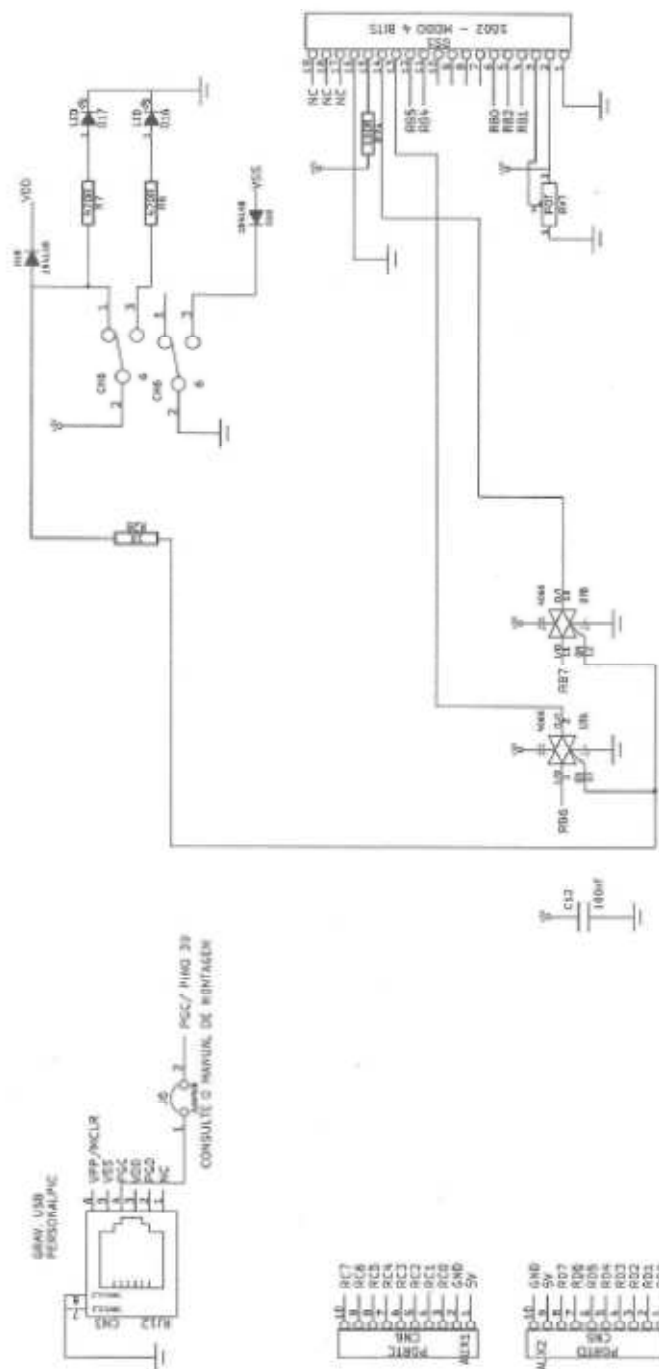


APÊNDICE G – MEDIDAS RVM TETEX

```
.....
14:53:43
0.050s / 0.025s
21.99V
0.4s
247.1V/s
.....
Errors:
14:54:21
0.100s / 0.050s
43.13V
0.4s
452.6V/s
.....
All:
05 12V: 12.1V!
07 MainsPer 16.67ms!
09 Temp: 23.8C!
12 +UA=5.026V!
13 -UA=-4.710V!
14 Unull=-50LSB!
15 UEM=1011.5V!
20 Hv0100=99.2!
21 Hv2000=2000.3!
-----
14:54:59
0.200s / 0.100s
82.06V
0.4s
835.9V/s
.....
14:55:37
0.500s / 0.250s
175.9V
0.4s
1771V/s
.....
14:56:16
1.000s / 0.500s
273.3V
0.4s
2744V/s
.....
- Proc (AutoRvm):
Auto RVM
- Identifier:
A
- Comment:
No comment
.....
Um = 2000V
t = 20C
2012.09.05. 14:51
-----
Noise results (in 6s):
0.014 Vpeak
-0.036 V/s
0.071 Vpp
.....
14:57:16
2.000s / 1.000s
335.6V
0.4s
3368V/s
.....
14:58:21
5.000s / 2.500s
224.4V
0.4s
2249V/s
.....
14:52:46
0.020s / 0.010s
8.458V
0.5s
128.4V/s
.....
14:53:43
0.050s / 0.025s
21.99V
0.4s
247.1V/s
.....
15:00:31
10.00s / 5.000s
69.05V
0.5s
691.3V/s
.....
15:04:35
20.00s / 10.00s
5.884V
0.5s
58.21V/s
.....
```

Medidas obtidas do Instrumento RVM 5462 – Tetex Instruments

ANEXO B – ESQUEMA ELETRÔNICO



ANEXO C – ESQUEMA ELETRÔNICO

