

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA

FERNANDO GALVÃO

**PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA TESTES
NECESSÁRIOS À CERTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**

Porto Alegre

2006

FERNANDO GALVÃO

**PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA TESTES
NECESSÁRIOS À CERTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica.

Área de concentração: Automação e Instrumentação Eletro-Eletrônica

ORIENTADOR: Prof. Dr. Renato Machado Brito

Porto Alegre

2006

FERNANDO GALVÃO

**PROPOSTA DE INSTRUMENTO PARA TESTES
NECESSÁRIOS À CERTIFICAÇÃO DAS INSTALAÇÕES
ELÉTRICAS DE BAIXA TENSÃO**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Elétrica e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: _____

Prof. Dr. Renato Machado Brito, UFRGS

Doutor pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Banca Examinadora:

Prof. Dra. Janine Marchiori da Luz, PUC - RS

Doutora pela UFRGS – Porto Alegre, Brasil

Prof. Dr. Carlos Eduardo Pereira, UFRGS

Doutor pela Universidade de Stuttgart – Stuttgart, Alemanha

Prof. Dr. Roberto Petry Homrich, UFRGS

Doutor pela Universidade Estadual de Campinas – Campinas, Brasil

Coordenador do PPGEE: _____

Prof. Dr. Marcelo Soares Lubaszewski

Porto Alegre, dezembro de 2006.

Dedico este trabalho à minha alma gêmea, amada esposa Simone, a meus filhos Fernando Jr. e Gabriel, eles sabem como foram difíceis as intermináveis horas que estive afastado.

AGRADECIMENTOS

À Deus que permitiu que eu tivesse a força e a perseverança de chegar a este momento.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica, PPGEE, pela oportunidade de realização de trabalhos em minha área de pesquisa.

Ao amigo e professor Renato Brito, mentor que com sua paciência empenho e extremo profissionalismo me orientou indicando sempre o caminho, principalmente nas horas em que as soluções pareciam impossíveis.

Ao corpo de professores do PPGEE, pelas orientações e ensinamentos que me enriqueceram como pessoa e profissional.

Ao professor Carlos Eduardo que com sua orientação, didática e conhecimento se transformou em um exemplo a ser seguido.

Aos colegas do PPGEE pelo seu auxílio nas tarefas desenvolvidas durante o curso e apoio na revisão deste trabalho.

Aos meus pais Adones Galvão e Ceres Galvão meus irmãos Jussara e Jorge pelo apoio dado.

RESUMO

Este trabalho apresenta a proposta de um instrumento para utilização nos ensaios previstos nas Normas Brasileiras para certificação das instalações elétricas de baixa tensão. Descreve-se o projeto e a implementação do instrumento desenvolvido, bem como a metodologia para a execução dos testes de conformidade, de acordo com as Normas Brasileiras aplicáveis, utilizando os recursos disponíveis na instrumentação proposta. Um conjunto de testes para exemplificação de uso e validação dos testes é também apresentado.

Palavras-chaves: Certificação das Instalações Elétricas. Instrumento certificador. Automação e Controle. Eletrônica e Instrumentação.

ABSTRACT

This work presents an instrumentation system to perform tests and certification of low voltage electrical networks on residential and industrial buildings in accordance to Brazilian Norms. It intends to propose a methodology for tests executions using available resources on the developed instrumentation system. To show how the proposed system works several tests were done regarding to attend Brazilian technical standards.

Keywords: Low Voltage Electrical Network Certification. Certification. Automation Testing System. Instrumentation System Microcontroller Based.

SUMÁRIO

1	INTRUDUÇÃO.....	19
1.1	OJETIVOS DO TRABALHO.....	22
1.2	ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO.....	22
2	REVISÃO DA NORMA NBR 5410	24
2.1	INTRODUÇÃO	24
2.2	SISTEMA DE ATERRAMENTO.....	26
2.2.1	Sistema TN	27
2.2.1.1	Esquema TN-S	27
2.2.1.2	Esquema TN-C-S	27
2.2.1.3	Esquema TN-C.....	28
2.2.2	Sistema TT	28
2.2.3	Sistema IT.....	29
2.3	DESCRIÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA EM BT	29
2.3.1	Classificação quanto ao tipo	30
2.3.2	Classificação quanto à origem	30
3	SISTEMA PROPOSTO	33
3.1	REQUÍITOS DO SISTEMA PROPOSTO	33
3.2	VISÃO GERAL E OPERAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO	33
3.3	COMPOSIÇÃO DA INTERFACE HOMEM MAQUINA (IHM)	35
3.3.1	Teste de Continuidade.....	38
3.3.2	Teste de Dispositivos.....	41
3.3.3	Teste de Aterramento.....	42
3.3.4	Teste de Tensão Aplicada	45
3.4	COMPOSIÇÃO DA UNIDADE FIXA	47
3.4.1	Introdução	47
3.4.2	Módulo de Potência da Unidade Fixa	47
3.4.3	Módulo de Controle da Unidade Fixa	50
3.5	COMPOSIÇÃO DA UNIDADE REMOTA	69
3.5.1	Introdução	69
3.5.2	Módulo de Força da Unidade Remota.....	70
3.5.3	Módulo de Controle da Unidade Remota.....	71
3.6	COMUNICAÇÃO UTILIZADA	74
3.6.1	Introdução	74
3.6.2	Quadro de Transmissão do Sistema	75
3.6.3	Tempos de Operação da Comunicação	81
4	A REALIZAÇÃO DOS TESTES.....	85
4.1	INTRODUÇÃO	85
4.2	TESTE DE CONTINUIDADE	86
4.3	TESTE DE DISPOSITIVOS	88
4.4	TESTE DE IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO	90
4.5	TESTE DE DISPOSITIVOS DR.....	91
4.6	TESTE DE RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO.....	93

4.7	TESTE DE TENSÃO APLICADA	94
4.8	TESTE DE ISOLAÇÃO DOS CONDUTORES	96
5	RESULTADO DOS TESTES REALIZADOS	98
5.1	INTRODUÇÃO	98
5.2	INCERTEZA NAS REDES DE COMUNICAÇÕES	98
5.3	RESULTADO DO ENSAIO DE CONTINUIDADE DOS CONDUTORES	99
5.4	RESULTADO DO ENSAIO DE DISPOSITIVOS	100
5.4.1	Resultado do Ensaio de Atuação Térmica.....	100
5.4.2	Resultado do Ensaio de Curto-Circuito	100
5.5	RESULTADO DO ENSAIO DE IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO.....	101
5.6	RESULTADO DO ENSAIO DE DISPOSITIVOS DE CORRENTE RESIDUAL - DR.....	101
5.7	RESULTADO DO ENSAIO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO.....	102
5.8	RESULTADO DO ENSAIO DE TENSÃO APLICADA	103
5.9	RESULTADO DO ENSAIO DE ISOLAÇÃO DOS CONDUTORES.....	103
6	ANÁLISE DE RESULTADOS, CONCLUSÃO E RECOMENDAÇÕES	104
6.1	INTRODUÇÃO	104
6.2	TESTE DE REDES	105
6.3	TESTE DE CONTINUIDADE.....	106
6.4	TESTE DE DISPOSITIVOS	106
6.4.1	Teste do Elemento Térmico	107
6.4.2	Teste do Elemento Magnético.....	109
6.5	TESTE DE IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO	113
6.6	TESTE DE DR.....	114
6.7	TESTE DE ATERRAMENTO.....	115
6.8	TESTE DE TENSÃO APLICADA	115
6.9	TESTE DE ISOLAÇÃO	116
6.10	SUGESTÃO PARA EQUIPAMENTO COMERCIAL	117
6.11	CONCLUSÕES	119
	REFERÊNCIAS	120
	ANEXO A: SÍNTESE DOS PROTOCOLOS EIA RS232, MODBUS,I2C	123
	EIA RS 232	124
	PROTOCOLO MODBUS.....	125
	PROTOCOLO I2C.....	128
	ANEXO B: COMPONENTES GERAIS DA UF E DA UR.....	130
	MÓDULO DE FORÇA DA UNIDADE FIXA	131
	COMPONENTES DO MESTRE	133
	COMPONENTES DO ESCRAVO 1.....	134
	COMPONENTES DO ESCRAVO 2.....	135
	COMPONENTES DE CONTROLE DA UNIDADE REMOTA	136
	ANEXO C: LISTAGEM DOS SOFTWARE EM LINGUAGEM C	137
	MESTRE.C.....	138
	ROTINA 232.C.....	154
	ESCRAVO1.C.....	156
	ESCRAVO2.C.....	164
	ROTINA CRC.C	170
	ESCRAVO 3.C	171

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 Esquema de aterramento TN-S	27
Figura 2 Esquema de aterramento TN-C-S.	28
Figura 3 Esquema de aterramento TN-C.....	28
Figura 4 Esquema de aterramento TT	29
Figura 5 Esquema de aterramento IT.	29
Figura 6 Exemplo de ponto de origem em baixa tensão.....	31
Figura 7 Exemplo de projeto de instalação elétrica em BT.....	32
Figura 8 Visão geral do sistema.	34
Figura 9 Tela de abertura da IHM	36
Figura 10 Tela de opções dos testes a realizar.....	36
Figura 11 Fluxograma da Rotina Principal.....	38
Figura 12 Tela do Teste de Continuidade.....	39
Figura 13 Fluxograma da função continuidade	40
Figura 14 Telas dos testes de impedância, isolamento e DR.....	41
Figura 15 Telas dos testes de dispositivos de proteção	42
Figura 16 Fluxograma do teste de dispositivos de proteção.....	43
Figura 17 Tela do teste de aterramento	44
Figura 18 Fluxograma do teste de aterramento	44
Figura 19 Tela do ensaio de tensão aplicada	45
Figura 20 Fluxograma do ensaio de tensão aplicada.....	46
Figura 21 Diagrama unifilar de força	48
Figura 22 Diagrama de comando do intertravamento	50
Figura 23 Diagrama de blocos do módulo de controle.....	51
Figura 24 Fluxograma da lógica do escravo 1.....	53
Figura 25 Diagrama esquemático do escravo 1.....	55
Figura 26 Ilustração do sensor de corrente de efeito Hall	59
Figura 27 Fluxograma da lógica do escravo 2.....	63
Figura 28 Diagrama esquemático da placa eletrônica dos escravo 2	64
Figura 29 Fluxograma da lógica da rotina principal do mestre.....	65
Figura 30 Diagrama esquemático da placa eletrônica do mestre	67
Figura 31 Fotografia da unidade fixa	68
Figura 32 Diagrama da unidade remota	70
Figura 33 Fluxograma da lógica da unidade remota	72
Figura 34 Diagrama esquemático da unidade remota	73
Figura 35 Fotografia da unidade remota.....	74
Figura 36 Gráfico dos tempos para setar um ensaio.....	82
Figura 37 Gráfico dos tempos para realizar um ensaio	83
Figura 38 Circuito prático do ensaio de continuidade.....	86
Figura 39 Circuito prático do teste de dispositivos	88
Figura 40 Circuito prático do ensaio de impedância do circuito.....	91
Figura 41 Circuito prático do ensaio de dispositivos DR.....	92
Figura 42 Circuito prático de ensaio de resistência do aterramento.....	94
Figura 43 Circuito prático do ensaio de tensão aplicada.....	95
Figura 44 Circuito prático do ensaio de isolamento	96
Figura 45 Sinais na rede I2C e na rede de RF	105
Figura 46 Tempo de seccionamento do elemento térmico pela NBR NM 60898.....	109

Figura 47 Tempo de seccionamento do elemento magnético pela NBR NM 60898 112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Portas A/D utilizadas no PIC16F877.....	61
Tabela 2	Codificação dos testes e sub testes	76
Tabela 3	Endereço dos microcontroladores do sistema.....	76
Tabela 4	Codificação das tarefas a realizar	77
Tabela 5	Resultado dos testes de incertezas nas comunicações	99
Tabela 6	Resultado dos teste de continuidade 1ª opção	99
Tabela 7	Resultado dos teste de continuidade 2ª opção	99
Tabela 8	Resultado do teste de dispositivos atuação térmica.....	100
Tabela 9	Resultado do teste de dispositivos curto-circuito	101
Tabela 10	Resultado do teste de impedância do circuito.....	101
Tabela 11	Resultado do teste de dispositivo DR	102
Tabela 12	Resultado do teste de aterramento	102
Tabela 13	Resultado do teste de tensão aplicada 1ª opção	103
Tabela 14	Resultado do teste de tensão aplicada 2ª opção	103
Tabela 15	Resultado do teste de isolamento dos condutores	103
Tabela 16	Tempo de máximo de seccionamento sistema TN-S.....	110
Tabela 17	Resistência elétrica do corpo humano	110
Tabela 18	Contato das pessoas com o potencial terra	111
Tabela 19	Valores máximos da tensão de contato limite (UL)	114
Tabela 20	Tensões de Ensaio Previstas na NBR 5410	115
Tabela 21	Tabela de Tensões a Aplicar no ensaio de isolamento	116
Tabela 22	Tabela de tensões com sensor Hall no primário do trafo.....	117

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT: Associação Brasileira de Normas Técnicas

ANEEL: Agência Nacional de Energia Elétrica

ASII: Código Americano Standart para Troca de Informações

A/D: Conversão Analógico Digital

ASK: Chaveamento por Amplitude de Sinal

AWG: American Wire Gage

CD: Centro de Distribuição

BEP: Barramento de Equipotencialização Principal

CCS: Custom Computer Service

COBEI: Comitê Brasileiro de Eletricidade e Instrumentação

CGD: Centro Geral de Distribuição

DR: Diferencial Residual

F: Fase

GCAR: Grupo de Controle, Automação e Robótica

IDE: Integrated Development Environment

IHM: Interface Homem Máquina

INMETRO: Instituto Nacional de Metrologia

KBPS: Quilo Bits por Segundo

NBR: Norma Brasileira Reguladora

N: Neutro

PPGEE: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica

PELV: Proteção por Extrabaixa Tensão de Segurança

PVC: Cloreto de Polivinila

PID: Proporcional Integral e Derivativo

PE: Condutor de Proteção

PEN: Condutor de Proteção e Neutro Combinados

QDE: Quadro de Distribuição Elétrica

RAM: Random Access Memory

RF: Rádio Frequência

RTU: Unidade Terminal Remota

SELV: Serviço de Extra Baixa Tensão de Segurança

T: Terra

UF: Unidade Fixa

UR: Unidade Remota

UHF: Ultra Alta Frequência

USART: Universal Synchronal and Assynchronal Receiver Transmitter

LISTA DE SÍMBOLOS

SÍMBOLOS MATEMÁTICOS

+ : Adição

- : Subtração

x : Multiplicação

/ : Divisão

\sqrt{x} : Raiz quadrada de x

$\int_0^t t dt$: Integral de t no intervalo de 0 – t

> : Maior do que

< : Menor do que

$A \geq B$: A maior ou igual a B

$A \leq B$: A menor ou igual a B

SÍMBOLOS ELÉTRICOS E ELETRÔNICOS

I : Corrente do circuito

I_t : Corrente de curto-circuito de abertura

R_s : Resistência associativa

V_{ac_p} : Tensão alternada de pico

V_{in} : Tensão de entrada

V_{out} : Tensão de saída

V_{ef} : Tensão eficaz

V_{r2} : Tensão no resistor R2

U_c : Tensão presumida de contato

U_l : Tensão de contato limite

UNIDADE DE MEDIDAS

A : Ampere

A_{ac} : Ampere em corrente alternada

A_{cc} : Ampere em corrente contínua

Hz : Hertz

KHz : quilo Hertz

mA_{ac} : mili ampere em corrente alternada

mA_{cc} : mili ampere em corrente contínua

mm²: milímetro quadrado

m : metro

mm : milímetro

ms : mili segundo

mV/°C : mili volt por graus Celcius

mW : mili watt

MHz : mega Hertz

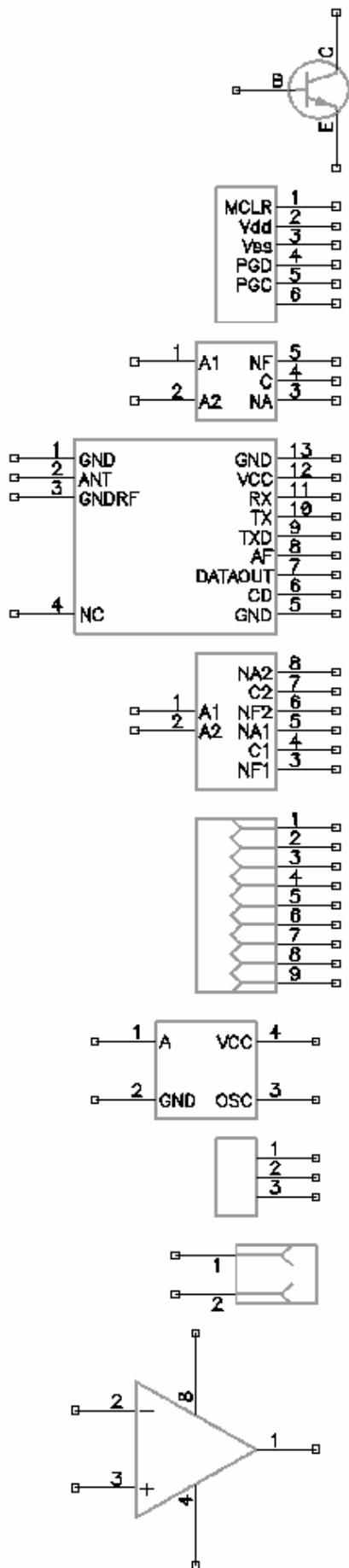
°C : Grau Celcius

μS : micro segundo

V_{ac} : Tensão alternada

V_{cc} : Tensão contínua

SÍMBOLOS GRÁFICOS ELETRÔNICOS



Transistor

Conector RJ15

Relé comutador um contato, bobina 12 Vcc

Tranceptor rádio BMi

Relé comutador dois contatos, bobina 5 Vcc

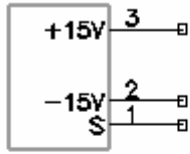
Conector serial DB9

Cristal oscilador

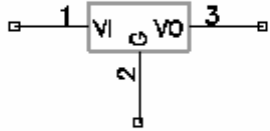
Sensor de temperatura (LM 35)

Borne conector duas saídas

Amplificador operacional



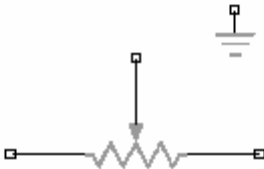
Sensor de corrente de efeito Hall



Regulador de tensão



Ponto de alimentação em Vcc



Ponto de referência comum (GND)

Resistor variável



Capacitor



Resistor fixo



Diodo zenner

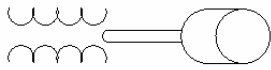


Diodo emissor de luz (led)

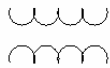


Diodo

SÍMBOLOS GRÁFICOS ELÉTRICOS



Autotransformador acoplado á motor de passos



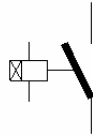
Transformador



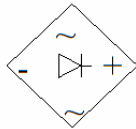
Lâmpada 20 W, 127V



Fusível



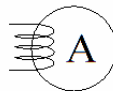
Contator



Ponte retificadora



Voltímetro



Amperímetro



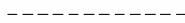
Borne para conexão



Condutor fase



Condutor neutro



Condutor terra



Contato normalmente fechado



Contato de relé normalmente aberto



Bobina de contator



Contato de relé

1. INTRODUÇÃO

Todo o sistema de energia elétrica desde a geração, transmissão e distribuição é regulado por normalização rígida, tem padronizações muito bem definidas pelas empresas concessionárias de energia que possuem autorização do estado para exploração destes serviços. É certo também que as concessionárias possuem pessoal especializado para o tratamento da técnica e da fiscalização do seu sistema que é perfeitamente controlado até o ponto de medição, usualmente localizado dentro da propriedade de cada um de seus consumidores.

Após a medição de energia das concessionárias, o sistema elétrico individual de cada edificação é de responsabilidade do proprietário. Se a edificação tratar-se de uma indústria de grande porte, por exemplo, esta empresa certamente terá em seu quadro de pessoal especialista para tratar da técnica envolvida em suas instalações elétricas internas. Por outro lado, se a edificação for uma empresa de menor porte, ou mesmo uma residência familiar, certamente não terá como dispor de pessoal especializado para cuidar de suas instalações.

Normalmente, quando há necessidade de serviços em instalações residenciais ou comerciais de pequeno porte, são contratados terceiros que, em muitos casos, não são especializados.

Já há algum tempo, esta deficiência de tratamento das instalações elétricas internas em baixa tensão foi detectada pelos especialistas da área, mesmo que no Brasil já se possua normalização rígida. As principais diretrizes para instalações elétricas estão nas seguintes normas:

- NBR 5410 - Instalações Elétricas de Baixa Tensão, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Elaborada no âmbito do Comitê Brasileiro de

Eletricidade (CBE-3/COBEI) da ABNT. - última edição publicada em dezembro de 2004.

- NBR 13570 - Instalações Elétricas em Locais de Afluência de Público

- NBR 5418 – Instalações Elétricas em Atmosfera Explosiva

- NBR 13534 – Instalações Elétricas em Estabelecimentos Assistenciais de Saúde.

Os especialistas observaram que na falta de fiscalização a prestação de serviços está sendo executada por pessoal sem a mínima condição técnica e que, quase sempre, desconhece a existência e aplicação da normalização.

O mais impressionante é que além de pessoas sem formação técnica de qualquer tipo, mais precisamente “técnicos e desenhistas por experiência” que possuem pouca desenvoltura, estão fazendo projetos e obras de instalações, quase sempre atendendo a critérios econômicos em detrimento da técnica. Há, também, uma parcela de profissionais arquitetos e engenheiros, no mínimo desinformados, que se utilizam destas pessoas na elaboração de serviços, empregando materiais de baixa qualidade e quase sempre totalmente fora da normalização.

O resultado deste processo é uma diminuição enorme da qualidade e segurança dos sistemas elétricos, como é comprovado pelo Corpo de Bombeiros do Estado do Paraná que tem registrado um aumento significativo de incêndios originados no mau estado das instalações elétricas, principalmente por má implantação.

Devido a estas ocorrências, um grupo de engenheiros liderados pelo Comitê Brasileiro de Eletricidade e Instrumentação (COBEI) decidiu propor um sistema de auto-fiscalização de conformidade e certificação das instalações elétricas de baixa tensão. O projeto inicial pouco difundido esbarrou na dificuldade de conseguir um órgão ou instituição com credibilidade bastante para colocar um selo de qualidade.

Notadamente ficou definido que o organismo certificador de instalações elétricas de baixa tensão do país seria o Instituto Nacional de Metrologia (Inmetro - órgão que avalia e credencia organismos de inspeção e de certificação dentro do sistema brasileiro de avaliação de conformidade).

Com a garantia do órgão certificador, o modelo de operação ficou definido, tendo como órgão regulador a recém criada Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL). Todas as instalações elétricas de baixa tensão deverão ser testadas segundo as normas existentes e após deverá ser emitido um laudo de conformidade.

Como ainda não foi publicada a portaria que determina a vigência da regulamentação de conformidade, o Ministério do Trabalho atento às mudanças da sociedade, e considerando a segurança como fundamento principal, editou uma norma reguladora NR10 que trata de regulação da mão de obra para trabalho em instalações elétricas em geral.

Entre as exigências da norma regulamentadora NR 10, do Ministério do Trabalho e Emprego, está o laudo técnico das instalações elétricas, que a empresa executante das instalações deve manter à disposição da fiscalização. O trecho da NR10 que trata deste ponto está transcrito a seguir.

“10.3.2.7.1 – Deve ser fornecido um laudo técnico ao final de trabalho de execução, reforma ou ampliação de instalações elétricas, elaborado por profissional devidamente qualificado e que deverá ser apresentado pela empresa, sempre que solicitado pelas autoridades competentes.”

Embora seja uma exigência, a NR-10 não esclarece o conteúdo desse laudo (Esta norma passa no momento por um processo de implantação e divulgação entre os profissionais da área).

1.1 OBJETIVOS DO TRABALHO

Em seu capítulo 7, a NBR 5410 faz a exigência de aplicabilidade de testes e ensaios elétricos, e estes, para terem condições de execução prática, devem ser realizados em instalações novas, no momento de sua conclusão, quando a construção ainda não foi habitada. Obrigatoriamente antes do pedido de ligação definitiva de energia para a concessionária.

Justamente com o intuito de facilitar a execução dos testes e ensaios definidos na norma é que, neste trabalho de dissertação, se propõe um instrumento eletro-eletrônico automatizado especialmente projetado para tal fim, bem como uma metodologia para a operacionalização dos testes das instalações elétricas de baixa tensão.

É necessário acentuar que os testes e procedimentos são os exigidos e descritos pela norma NBR5410-2004. O objetivo, portanto, não é definir novos procedimentos de ensaios, mas sim dispor de um instrumento que permita executar o maior número de ensaios possível, atendendo as exigências técnicas em um tempo reduzido.

1.2 ESTRUTURA DA DISSERTAÇÃO

No capítulo 2 é realizada uma explanação da norma NBR 5410/2004 com relação a aterramento e a abrangência da mesma.

No capítulo 3 o sistema proposto é apresentado, é feita uma explicação de seu funcionamento, a sua maneira de conexão no circuito em teste e uma descrição de sua composição. Um detalhamento do software, hardware e da comunicação entre seus componentes é apresentado.

No capítulo 4 a metodologia de realização dos testes e ensaios é descrita.

No capítulo 5, os resultados dos ensaios são mostrados considerando um grande número de testes realizados.

No capítulo 6, uma análise dos resultados com a conclusão de cada teste, bem como são mostradas recomendações para melhoria do instrumento.

A seguir, as referências bibliográficas são apresentadas.

No anexo A, é feita uma síntese dos protocolos EIA 232, Modbus e I2C.

No Anexo B, todos os componentes elétricos e eletrônicos constantes do instrumento são listados.

No anexo C as listagens de programação em linguagem C implementadas nos micro controladores mestre, escravo 1, escravo 2 e a unidade remota são apresentadas.

2. NORMA NBR 5410

2.1 INTRODUÇÃO

A norma NBR 5410 estabelece parâmetros para execução de projetos e de obras de instalações elétricas em baixa tensão que devem ser seguidos. Dentre estes parâmetros, em seus capítulos 6 e 7 define procedimentos que visam estabelecer se a boa técnica e a segurança da instalação foram preservados. São eles:

1) Documentação da Instalação [6.1.8.1 - NBR5410]

Deverá conter no mínimo os elementos;

- a) Plantas,
- b) Esquemas unifilares e outros, quando aplicáveis,
- c) Detalhes de montagem, quando necessários,
- d) Memorial descritivo da instalação,
- e) Especificação dos componentes (descrição, características nominais e normas que devem atender),
- f) Parâmetros de projeto (corrente de curto-circuito, queda de tensão, fatores de demanda considerados, etc.)

2) Manual do usuário [6.1.8.3 - NBR5410]

Deverá ser fornecido para instalações que sejam utilizadas por pessoas leigas onde não tenha equipe especializada tais como residências, empresas e indústrias pequenas contendo no mínimo os seguintes itens;

- a) Esquema dos quadros de distribuição com indicação dos circuitos e respectivas finalidades, incluindo relação dos pontos alimentados, no caso de circuitos terminais,
- b) Potências máximas que podem ser ligadas em cada circuito terminal efetivamente disponível,

- c) Potências máximas previstas nos circuitos terminais deixados como reserva, quando for o caso,
- d) Recomendação explícita para que não sejam trocados, por tipos com características diferentes, os dispositivos de proteção existentes nos quadros.

3) Inspeção visual [7.2.3 – NBR5410]

Tem por objetivo detectar rapidamente os pontos críticos ou com algum problema na instalação. O objetivo mais importante é determinar se os componentes da instalação estão em conformidade com as normas aplicáveis para cada componente da instalação. Devem ser verificados:

- a) Se existem medidas de proteção contra choques elétricos,
- b) Se existem medidas de proteção contra efeitos térmicos,
- c) Se existem seleção e instalação das linhas elétricas,
- d) Se existem seleção, ajuste e localização dos dispositivos de proteção,
- e) Se existe presença dos dispositivos de seccionamento e comando,
- f) Se existe adequação dos componentes e das medidas de proteção às condições de influências externas,
- g) Identificação dos componentes,
- h) Presença das instruções, sinalizações e advertências requeridas,
- i) Execução das conexões,
- j) Acessibilidade.

4) Ensaios elétricos [7.3.1 – NBR5410]

Ensaios das novas instalações devem ser realizados, todos com métodos descritos e valores estabelecidos. Os ensaios abaixo devem ser realizados conforme o tipo de instalação:

- Continuidade dos condutores de proteção e das ligações equipotenciais principal e suplementares;
- Resistência de isolamento da instalação;
- Resistência de isolamento das partes da instalação objeto do serviço de extra baixa tensão de segurança (SELV), e proteção de extra baixa tensão de segurança (PELV) ou separação elétrica;
- seccionamento automático da alimentação;
- ensaio de tensão aplicada;
- ensaios de funcionamento;

Os ensaios elétricos definidos acima são aplicados, obedecendo as padronizações dos sistemas de aterramento para cada tipo de instalação.

2.2 SISTEMAS DE ATERRAMENTO

Conforme o tipo de instalação elétrica e dos dispositivos de proteção utilizados a NBR5410 define maneiras como o sistema poderá ser aterrado. A classificação obedece a uma padronização de letras. [4.2.2.2 – NBR5410]:

A primeira letra situa a alimentação em relação à terra;

- T = Um ponto diretamente aterrado

- I = Isolação das partes vivas em relação à terra ou aterramento através de uma impedância.

A segunda letra situa as massas, estruturas metálicas não energizadas da instalação em relação à terra;

- T = Massas diretamente aterradas, independentemente do aterramento eventual de um ponto de alimentação.

- N = Massas ligadas diretamente ao ponto de alimentação aterrado (em corrente alternada o ponto aterrado é normalmente o ponto neutro).

A terceira letra (eventual) define a disposição do condutor neutro e do condutor de proteção.

- S = Funções do neutro e de proteção asseguradas por condutores distintos;
- C = Funções de proteção e neutro combinadas em um único condutor (condutor PEN).

2.2.1 Sistema TN

O sistema possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, e as massas da instalação ligadas a este ponto através de um condutor de proteção (PE). Neste tipo de sistema são considerados três tipos de esquemas, a saber:

2.1.1.1 Esquema TN-S

No qual o condutor neutro e o condutor de proteção são distintos;

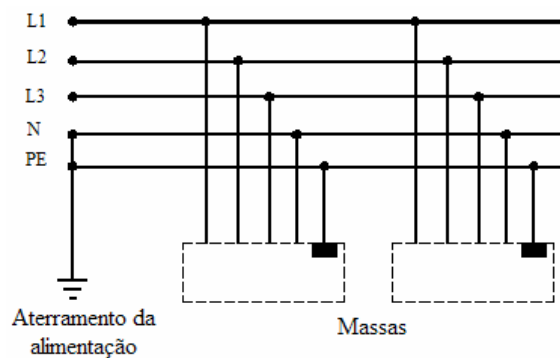


Figura 1 - Esquema de aterramento TN-S

2.1.1.2 Esquema TN-C-S

No qual o condutor neutro e o condutor de proteção são combinados em um único condutor em parte de uma instalação;

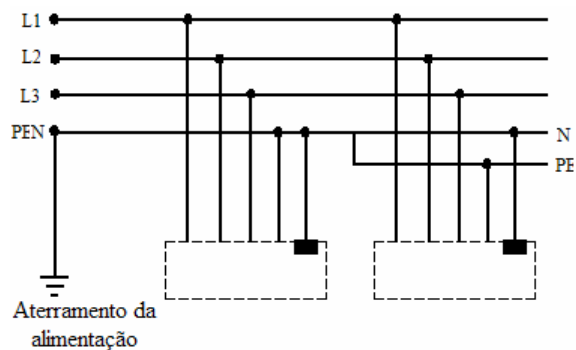


Figura 2 - Esquema de aterramento TN-C-S

2.1.1.3 Esquema TN-C

No qual as funções do condutor neutro e do condutor de proteção são combinados em um único condutor ao longo de toda instalação;

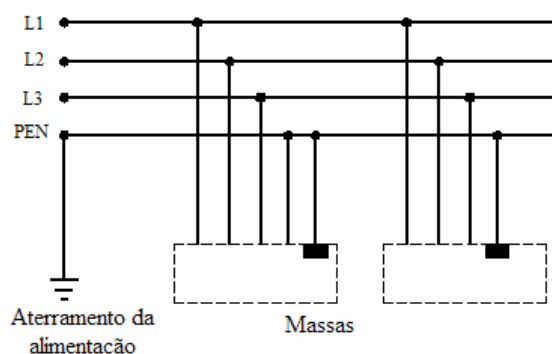


Figura 3 - Esquema de aterramento TN-C

2.2.2 Sistema TT

O sistema possui um ponto da alimentação diretamente aterrado, e as massas da instalação ligadas a eletrodos de aterramento eletricamente distintos do eletrodo da alimentação.

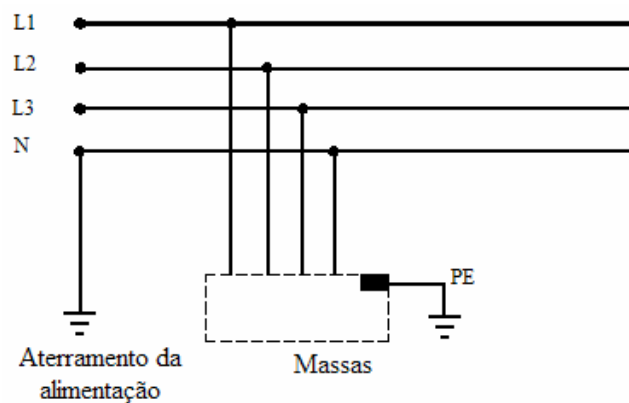


Figura 4 - Esquema de aterramento TT

2.2.3 Sistema IT

O sistema não possui qualquer ponto da alimentação diretamente aterrado, estando aterradas através de eletrodos de aterramento às massas da instalação.

O aterramento da alimentação poderá ser executado com o auxílio de uma impedância ou resistência. O neutro pode ser isolado do terra.

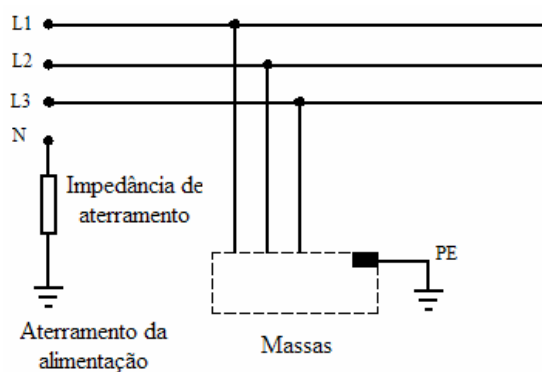


Figura 5 - Esquema de aterramento IT

2.3 DESCRIÇÃO DE UMA INSTALAÇÃO ELÉTRICA EM BT

Entende-se como instalação elétrica de baixa tensão todas as instalações alimentadas por tensão igual ou inferior a 1000 V em corrente alternada, com frequência inferior a 400 Hz, ou por tensões menores que 1500 V em corrente contínua. Também

são consideradas instalações de baixa tensão, os circuitos elétricos não internos aos equipamentos com tensão maiores de 1000 V desde que alimentados com tensões igual ou inferior a 1000 Vac.(circuitos de lâmpadas de descarga). Por ultimo, são consideradas como instalações em baixa tensão todas as fiações e linhas elétricas que não sejam cobertas pelas normas relativas aos equipamentos de utilização. Exclui-se neste caso, as redes de distribuição e de iluminação públicas e as cercas eletrificadas.

2.3.1 Classificação quanto ao tipo

- a) Edificações residenciais;
- b) Edificações comerciais;
- c) Estabelecimentos de uso público;
- d) Estabelecimentos industriais;
- e) Estabelecimentos agropecuários e hortigranjeiros;
- f) Edificações pré-fabricadas;
- g) Reboques de acampamento (trailers), locais de acampamento, marinas;
- h) Canteiros de obra, feiras, exposição e outras instalações temporárias.

2.3.2 Classificação quanto à origem

Originam-se diretamente da rede de distribuição pública em baixa tensão, considerando como ponto de entrada o prédio físico e o ponto de entrega à conexão do ramal da concessionária com os condutores de alimentação da instalação.

Assim uma instalação elétrica em baixa tensão é composta primeiro por uma fonte alimentadora derivada da rede pública, um ponto de medição de energia que é propriedade da concessionária, um dispositivo de seccionamento e proteção, um barramento de equipotencialização principal (BEP) que determina, geralmente, o ponto

a partir do qual a norma tem validade e, por último, um sistema de distribuição de energia interno.

Este sistema interno normalmente é composto em um primeiro plano de um quadro de distribuição elétrica (QDE) onde podem ser ligados os circuitos terminais de iluminação e tomadas, ou ainda alimentadores de outros centros de distribuição (CDs), que por sua vez alimentarão também seus circuitos parciais de iluminação e tomadas.

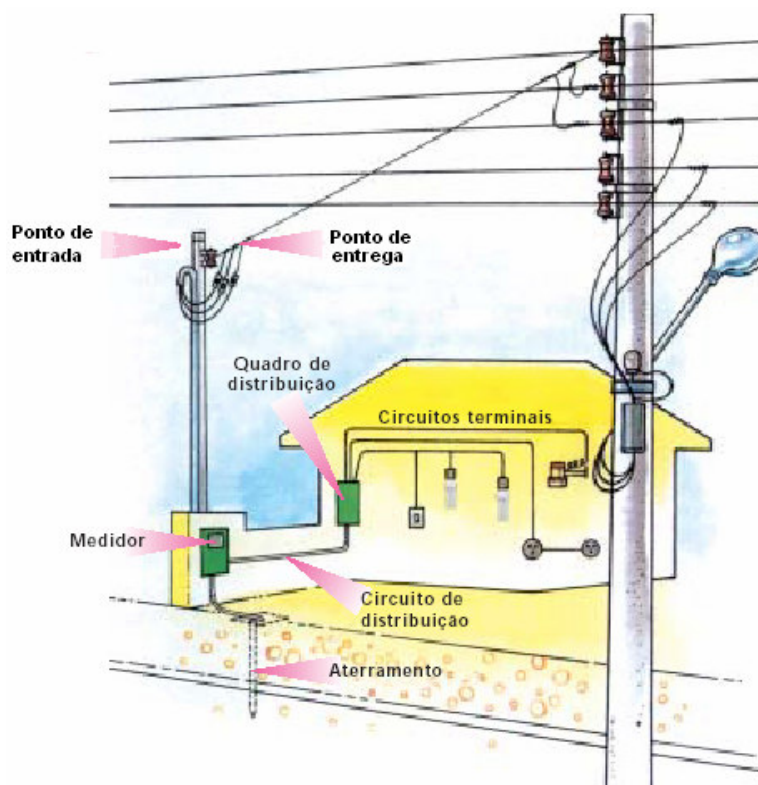


Figura 6 - Exemplo de ponto de origem em baixa tensão

Todos os circuitos alimentadores dos centros de distribuição e dos circuitos terminais são compostos por condutores em cobre com isolamento em PVC, anti-chamas e tensão de trabalho até 1000 Vac. Estes circuitos são protegidos mecanicamente por eletrodutos de aço ou de PVC, dependendo do tipo da instalação.

Ainda dentro dos centros de distribuição estão colocados os elementos de proteção e seccionamento, que comumente conhecemos como disjuntores.

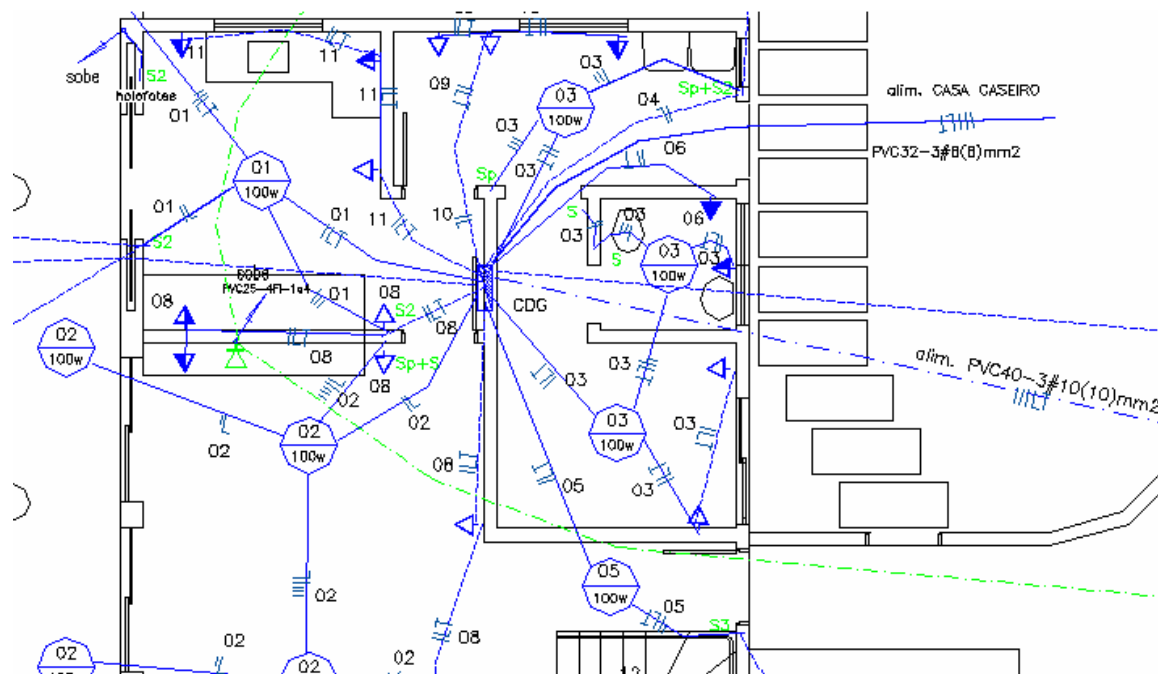


Figura 7- Exemplo de projeto de instalação elétrica em BT

3. SISTEMA PROPOSTO

3.1 REQUISITOS DO SISTEMA PROPOSTO

A proposta que se descreve é a de projetar e construir um equipamento que disponha de recursos técnicos adequados à realização dos ensaios de acordo com o previsto na norma. Tal equipamento deverá conter:

- Fonte de tensão estabilizada com tensão entre 4 Vac e 20 Vac capaz de fornecer uma corrente mínima de 0,2 A para medição de continuidade dos condutores,
- Fonte de tensão contínua estabilizada com níveis programáveis de 250 Vcc, 500 Vcc e 1000 Vcc, capaz de fornecer corrente até 10 mA ao circuito de cargas para medição da resistência de isolamento dos condutores.
- Fonte de tensão alternada de 20 Vac e bornes de saída para três eletrodos, que será usada para medição de resistência de aterramento.
- Circuito resistivo que possibilite teste de dispositivos de tensão residual DR.
- Fonte de tensão alternada na frequência do sistema (60 Hz) em 20 Vac que possibilite a medição da impedância do circuito.
- Fonte de tensão senoidal na frequência do sistema (60 Hz) que possibilite ajuste da tensão de saída na faixa de 50/133/230/400/690/1000 Vac para ensaio de tensão aplicada.
- Fonte de tensão senoidal na frequência do sistema (60 Hz) que forneça correntes na faixa de 0 – 30 A para ensaio dos dispositivos de proteção.

3.2 VISÃO GERAL E OPERAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

Na figura 8 a seguir tem-se um diagrama de blocos da visão geral do sistema:

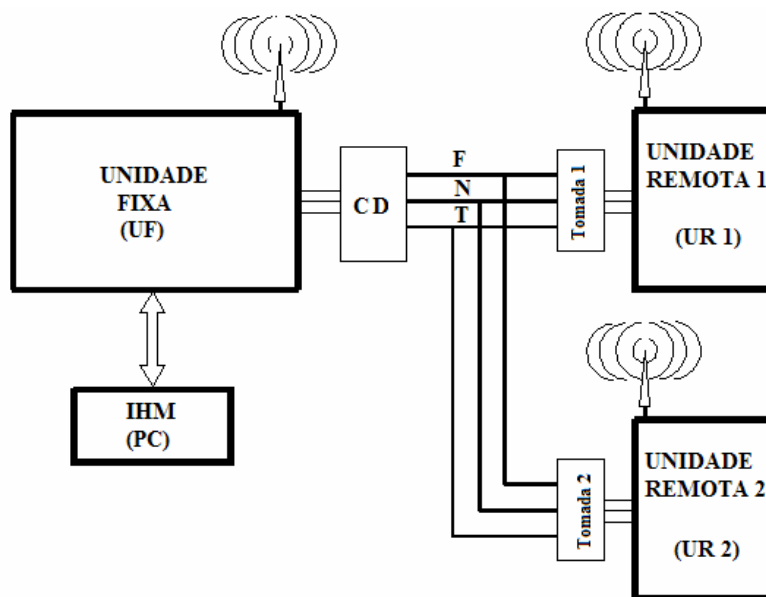


Figura 8 - Visão geral do sistema

O equipamento é composto por uma unidade fixa (UF) que contém todas as fontes e dispositivos acima citados, com controle próprio, em comunicação com uma interface homem máquina (IHM) que neste caso foi definida como um micro computador da família PC.

Esta unidade fixa deverá ser conectada no centro de distribuição (CD), mais precisamente no circuito que se pretende ensaiar. Na figura 8, o circuito composto por condutores fase (F), neutro (N) e de proteção ou terra (T), inicia no CD e alimenta duas tomadas que estão colocadas em qualquer ponto da construção.

Possui também uma ou mais unidades remotas (UR) que devem ser colocadas nas extremidades dos circuitos em teste. As UR atuam como carga para o estabelecimento da corrente gerada pelas fontes da unidade fixa.

A operação do instrumento inicia com a comunicação da IHM com a unidade fixa através da escolha do teste a realizar e esta por sua vez, informa as unidades remotas desta opção.

A unidade fixa habilita uma das fontes que será utilizada para o ensaio, depois de receber a informação de que as unidades remotas estão prontas para operação. Dentro

das condições de cada teste, uma tensão é aplicada ao sistema, provocando corrente quando o ensaio assim exigir.

A comunicação entre os diversos componentes do instrumento é feita sempre serialmente. No caso da comunicação da IHM e a UF, usa-se um cabo EIA RS 232 e a comunicação entre a UF e as URs, se dará via sinal de radio frequência (RF).

A seguir um detalhamento dos componentes do instrumento são mostrados.

3.3 COMPOSIÇÃO DA INTERFACE HOMEM MÁQUINA (IHM)

Para programar os testes, armazenar os resultados e preparar um relatório com possibilidade de impressão foi desenvolvido um software específico. Utilizou-se a linguagem orientada a objetos C++ devido à facilidade de reaproveitamento dos módulos desenvolvidos que podem ser usados em todos os testes. A ferramenta de desenvolvimento utilizada foi o compilador C ++ Builder 5 da Borland. Este compilador nos permite definir telas de operação paginadas de maneira que o operador do sistema tem a possibilidade de fazer a opção do tipo de teste a executar em telas separadas e o resumo das medidas e condições dos testes já realizados em uma tela geral.

Ao entrar no sistema, uma tela de apresentação é mostrada, figura 9, ao mesmo tempo em que o sistema operacional carrega para a random access memory (RAM) da máquina os parâmetros das variáveis que definirão as telas seguintes. Ainda neste estágio, a porta serial que serve como meio de comunicação entre a IHM e o sistema também é configurada, testada, e aberta, já que neste instante, o hardware da unidade fixa deverá estar conectado a porta por cabo específico configurando o meio físico RS 232.

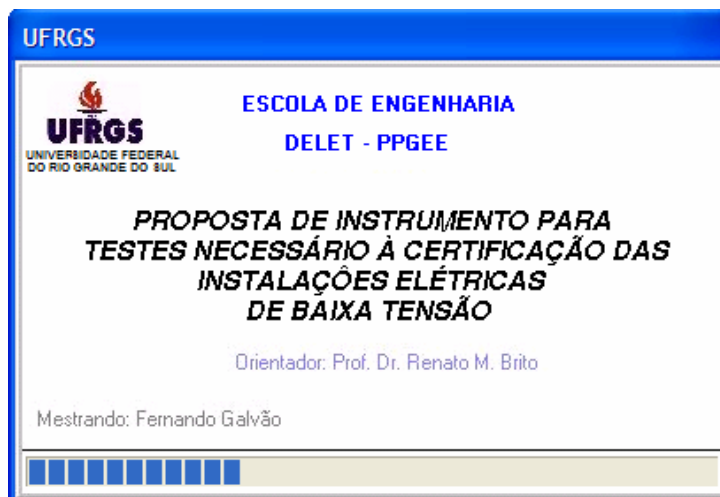


Figura 9 - Tela de abertura da IHM

Após as configurações iniciais, uma tela principal é mostrada, figura 10. Esta permite fazer a escolha do teste a realizar ou ter acesso ao relatório dos testes já realizados. A concepção da lógica de programação deixa o programa em um laço de espera, aguardando a opção do operador, conforme mostrado no fluxograma da figura 11.

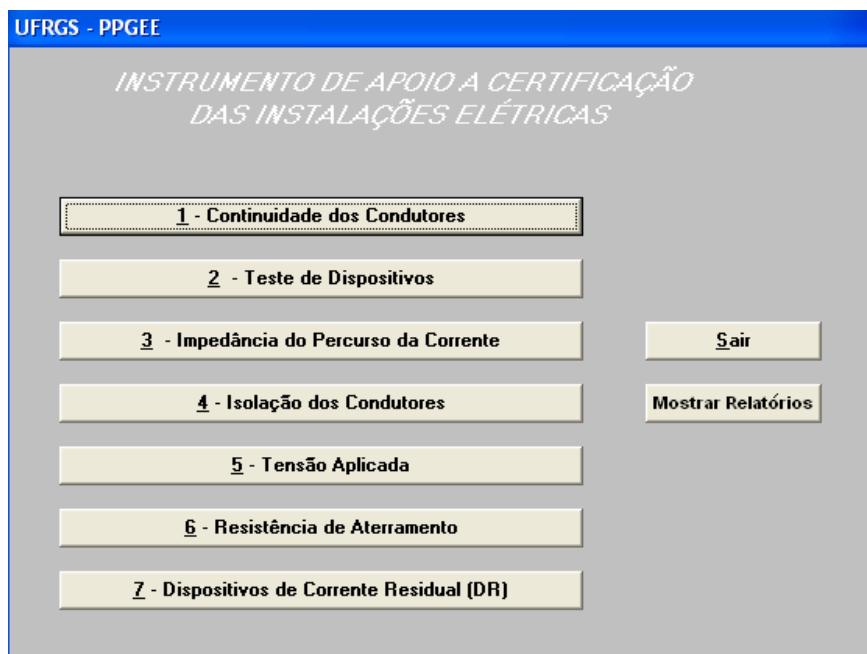


Figura 10 - Tela de opções dos testes a realizar

Feita a opção do teste que será realizado, através do “click” nas possibilidades, há um deslocamento para uma função específica do teste escolhido. Este procedimento ocorre com o fechamento da tela de opção de testes com a sobreposição pela tela da escolha feita.

As telas possíveis são as de testes, ou seja:

- Tela de Teste de Continuidade,
- Tela de Teste de Dispositivos,
- Tela de Teste de Impedância,
- Tela de Teste de Aterramento,
- Tela de Teste de Dispositivos DR,
- Tela de Teste de Tensão Aplicada,
- Tela de Teste de Isolação.

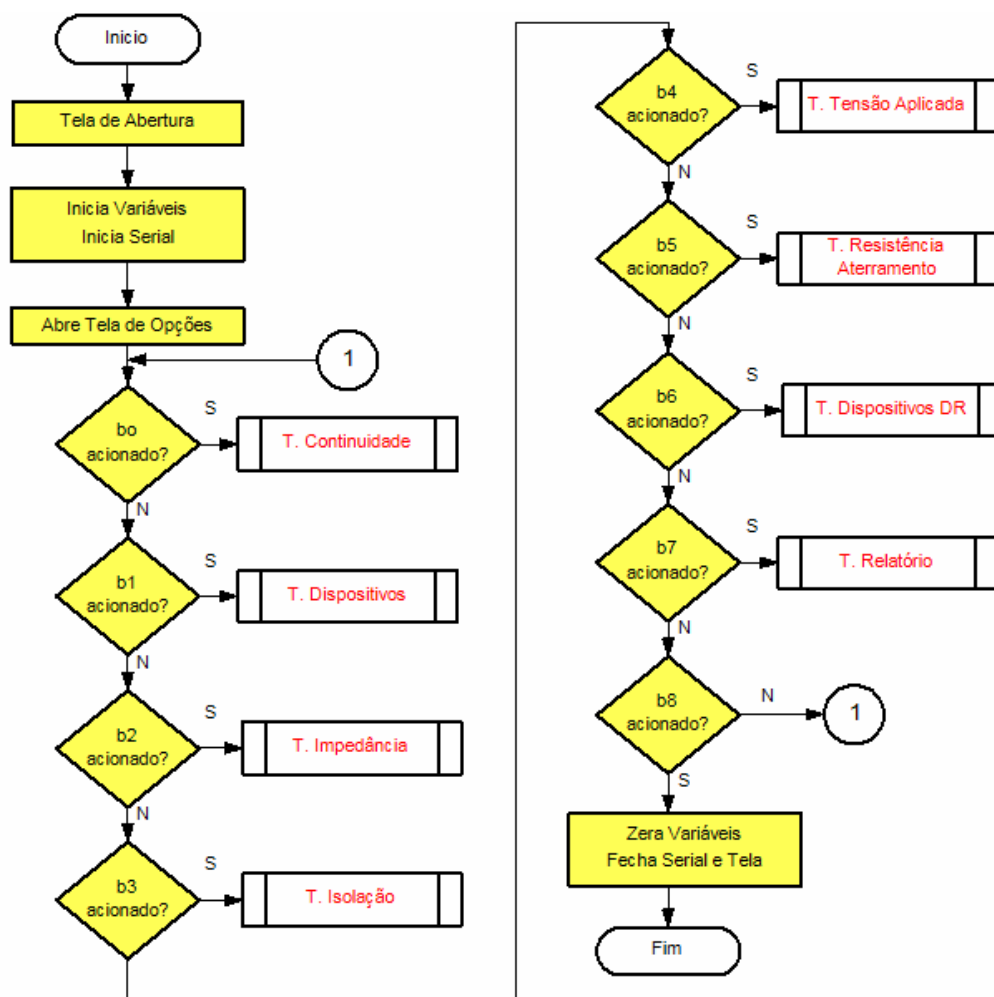


Figura 11 - Fluxograma da rotina principal

3.3.1 Teste de Continuidade

Sendo a escolha feita a do teste de continuidade, a tela mostrada na figura 12 aparece onde é necessário informar que condutores sofrerão a realização do procedimento e qual o diâmetro dos mesmos. Com estas definições, o botão de “iniciar teste” deve ser clicado. Uma comunicação é gerada, com perguntas e respostas entre a IHM e o mestre da unidade fixa. Se não houver erro na rede, o botão “iniciar teste” é habilitado, confirmando que o mestre entendeu a informação recebida, passando a controlar a execução solicitada. Se no processo de comunicação entre as unidades

houver erro, o software tenta acerto por 10 vezes, mas se as tentativas forem frustradas, o sistema abre uma tela de alarme solicitando a verificação do cabo de conexão.

Figura 12 - Tela do teste de continuidade

Enquanto a unidade fixa realiza o teste, o software da IHM permanece em laço de espera, aguardando a ocorrência de eventos que podem ser a conclusão do teste, o fechamento da tela que não é determinante para parar a realização do mesmo, ou ainda a entrada das informações do teste que é enviada para a IHM pelo mestre. Com a entrada destes dados, a verificação da validade é feita e a análise das escalas também, para então serem apresentados os resultados na tela. É possível também realizar o teste quantas vezes o operador achar pertinente, bastando clicar o botão de “Reseta” para zerar os valores recebidos do teste anterior. Este procedimento zera os valores salvos no relatório final também, ficando armazenados somente os últimos valores recebidos. A lógica envolvida é mostrada no fluxograma da figura 13.

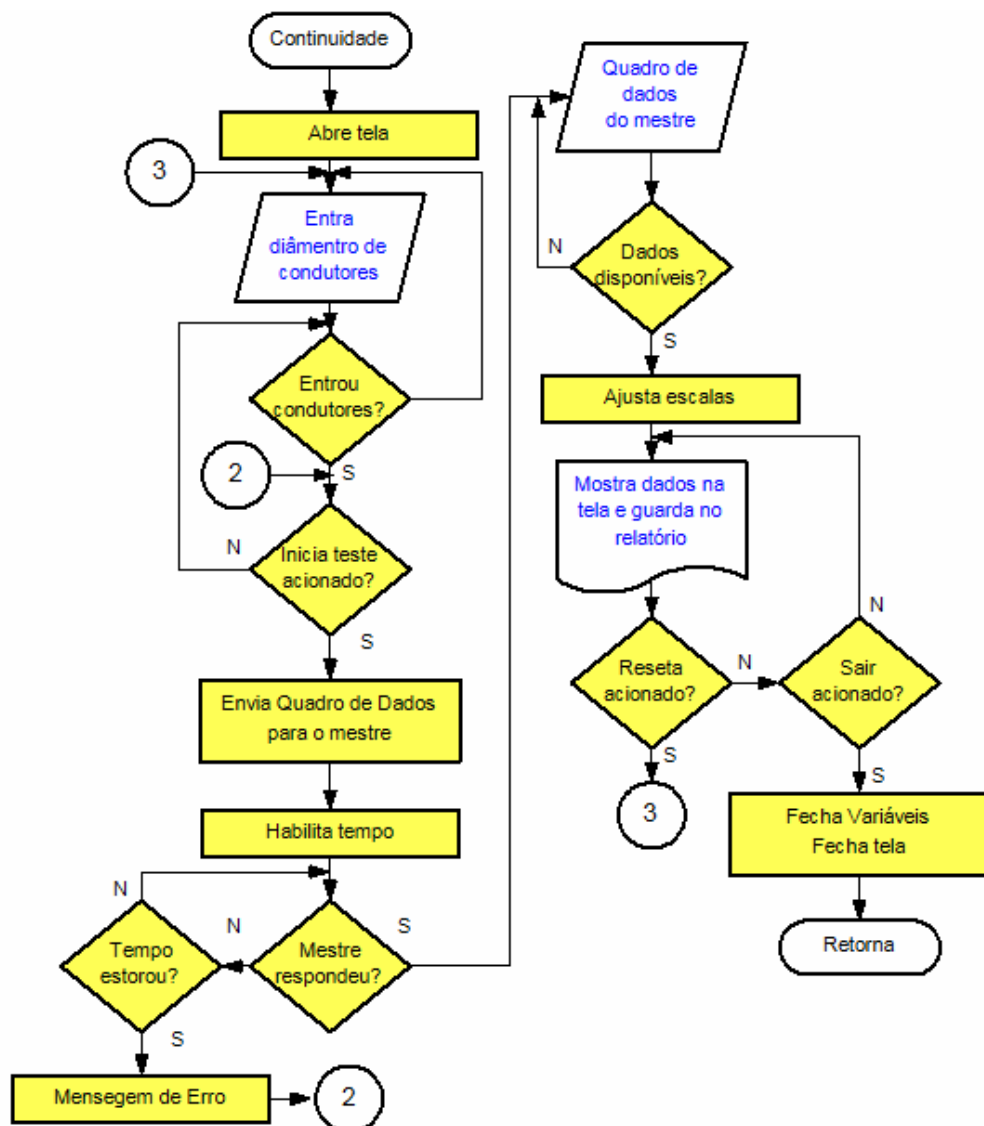


Figura 13 - Fluxograma da função continuidade

O método de execução descrito, também é válido para as telas de Resistência de Isolamento, Impedância do circuito e dispositivo DR, sendo que as escalas e os valores mostrados atendem ao previsto para cada um dos testes. Na figura 14, mostramos as telas dos testes citados.

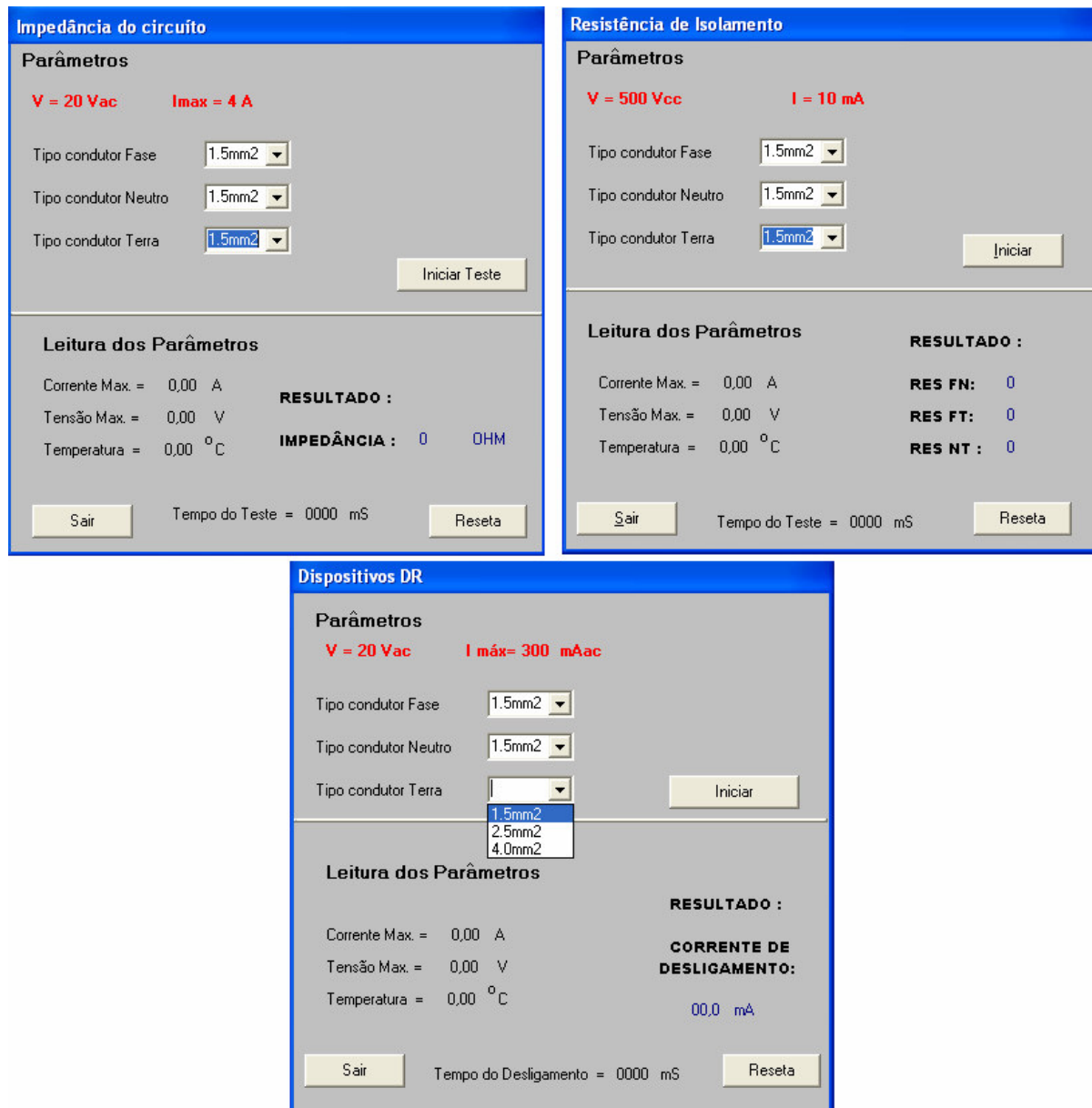


Figura 14 - Telas dos testes de impedância, isolamento e DR

3.3.2 Teste de Dispositivos

Na tela de Teste dos Dispositivos o procedimento se altera devido a sua característica especial. Nesta, é preciso optar pelo tipo de operação desejada: teste térmico do dispositivo de proteção ou de curto-circuito controlado, já que somente é possível realizar um de cada vez.

É necessário também fazer a escolha dos condutores envolvidos e com esta opção definir a intensidade de corrente que será injetada e, por último, autorizar a

execução clicando no botão “iniciar teste”. O procedimento de execução e de informação de pronto segue a mesma rotina já descrita. A tela é mostrada na figura 15, bem como o fluxograma de operação na figura 16.

Teste de Dispositivos

Parâmetros

V = 0 - 20 Vac

I máx = Selecionar condutor

Teste de curto-circuito

Teste Térmico

Tipo condutor Fase: 1.5mm²

Tipo condutor Neutro: 1.5mm²

Tipo condutor Terra: 1.5mm²

Iniciar Teste

Leitura dos Parâmetros no Teste Térmico

Corrente Max. = 0,00 A

Tensão Max. = 0,00 V

Temperatura = 0,00 °C

Tempo do Teste = 0000 mS

Reseta

Leitura dos Parâmetros no teste de curto-circuito

Corrente Max. = 0,00 A

Tensão Max. = 0,00 V

Temperatura = 0,00 °C

Tempo do Teste = 0000 mS

Reseta

Sair

Figura 15 - Telas dos testes de dispositivos de proteção

3.3.3 Teste de Aterramento

Quando da execução do teste de aterramento da instalação, a tela específica está disponível com opção de realização de três medidas previstas no método usado. O procedimento de inicialização de execução é o mesmo das outras telas. A diferença fundamental está no tratamento dos resultados recebidos para obter-se o valor da resistência de terra da instalação. A tela e seu respectivo fluxograma são mostrados na figura 17 e 18 respectivamente.

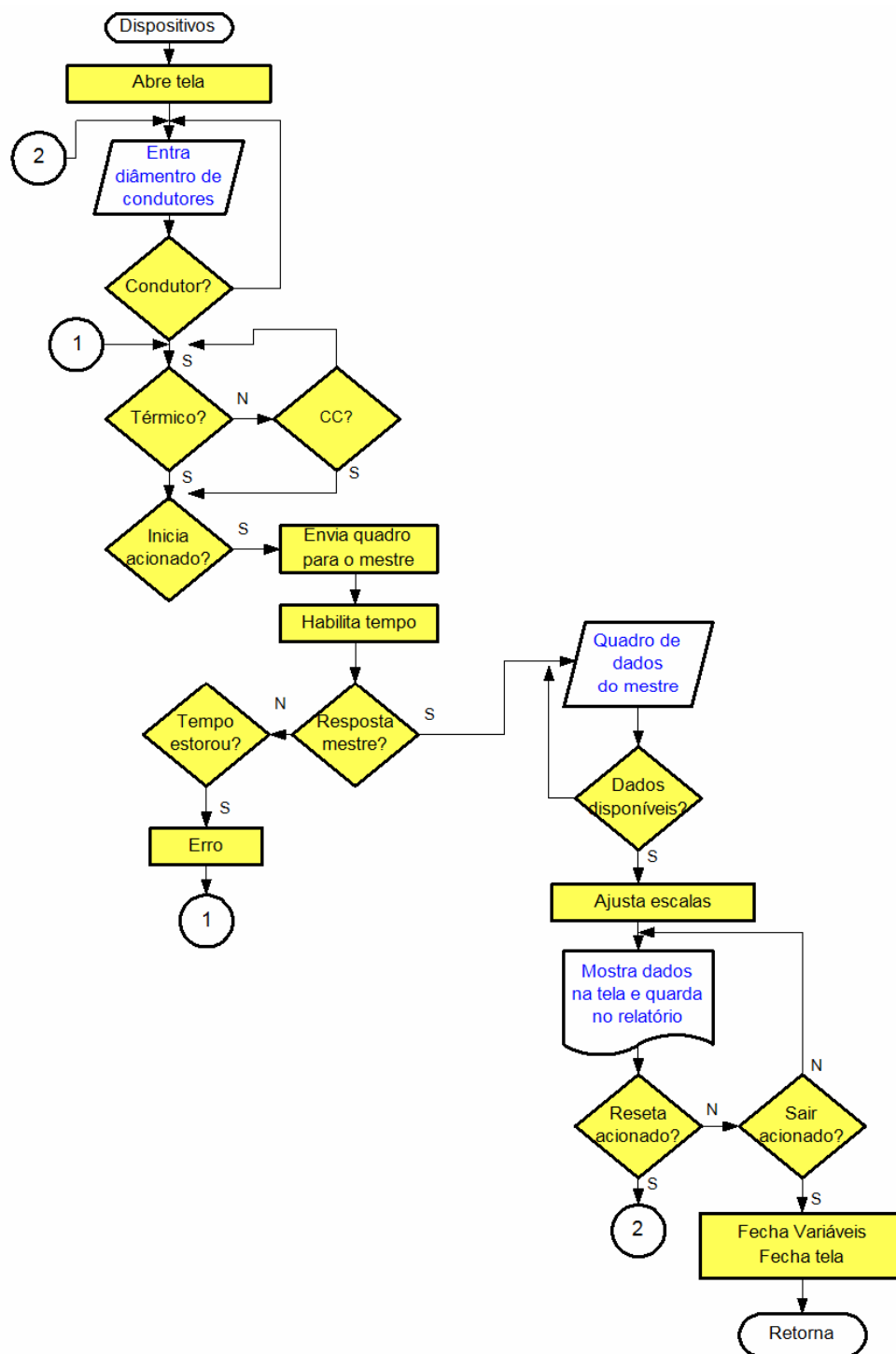


Figura 16 - Fluxograma do teste de dispositivos de proteção

Resistência de Aterramento

Parâmetros Método Volt-Ampéres

V = 20 Vac LIGAR OS ELETRODOS PARA TESTE

I máx= 4 A

Testar 1 Medida Testar 2 Medida Testar 3 Medida

Leitura dos Parâmetros

Corrente Max. = 0,00 A **RESULTADO :**

Tensão Max. = 0,00 V **RESISTÊNCIA :**

Temperatura = 0,00 °C 0 OHM

Sair Tempo do Teste = 0000 mS Reseta

Figura 17 - Tela do teste de aterramento

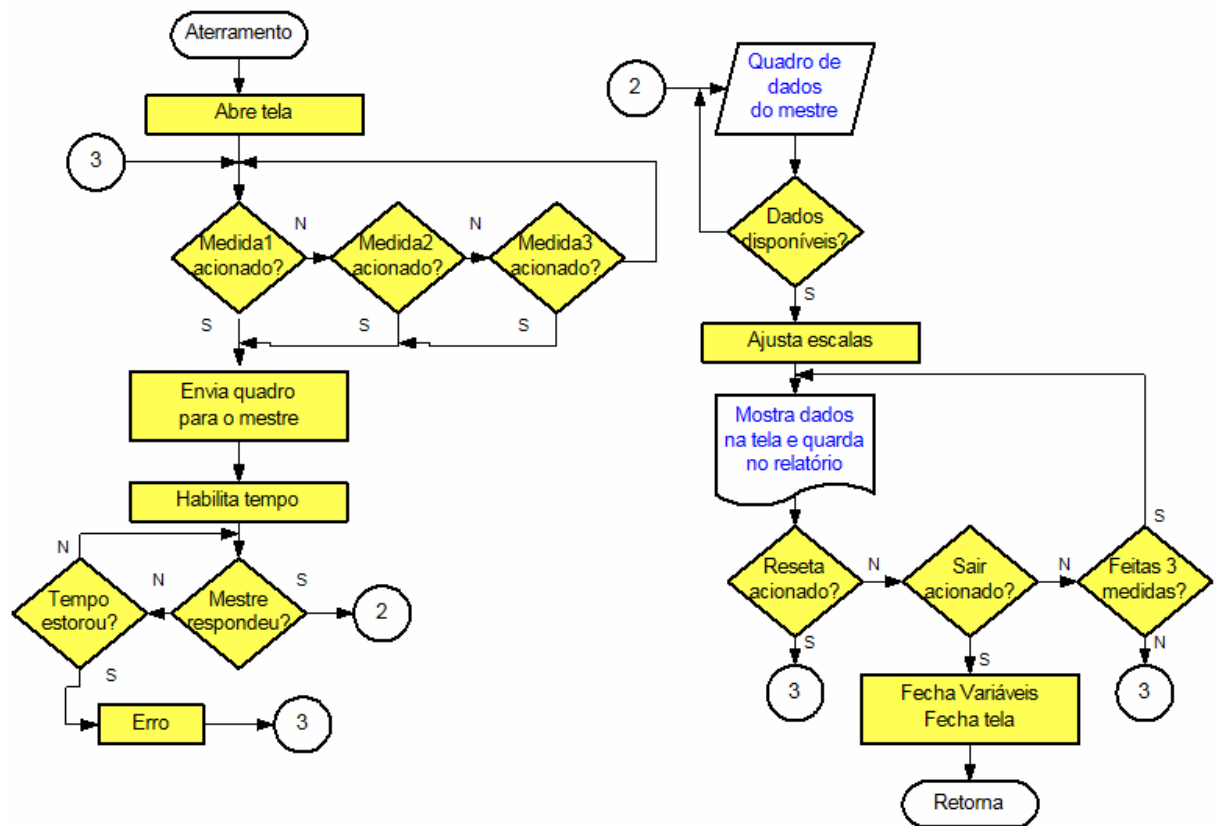


Figura 18 - Fluxograma do teste de aterramento

3.3.4 Teste de Tensão Aplicada

Na tela do teste de tensão aplicada, obedecendo a norma, foram previstas opções do nível de tensão proporcional a tensão nominal de operação da instalação, bem como a escolha do diâmetro dos condutores. No restante, a operação obedece ao mesmo procedimento das outras telas. A tela e seu correspondente fluxograma são mostrados nas figuras 19 e 20.

Sempre após a realização de um dos ensaios, clicando no botão “Sair”, retorna-se a tela de seleção de testes a realizar, permitindo qualquer seqüência escolhida pelo operador ou ainda, acesso a tela de resultados finais com possibilidade de impressão destas informações.

Para sair do sistema, basta clicar o botão de “Sair”.

Tensão Aplicada

Parâmetros

V = 500 Vac I máx = 300 mA

Tipo condutor Fase 1.5mm2

Tipo condutor Neutro 1.5mm2

Tipo condutor Terra 1.5mm2

Iniciar Teste

Leitura dos Parâmetros

Corrente Max. = 0,00 A

Tensão Max. = 0,00 V

Temperatura = 0,00 °C

RESULTADO :

CIRCUITO

Sem Faísca

Sair Tempo do Teste = 0000 mS Reseta

Figura 19 - Tela do ensaio de tensão aplicada

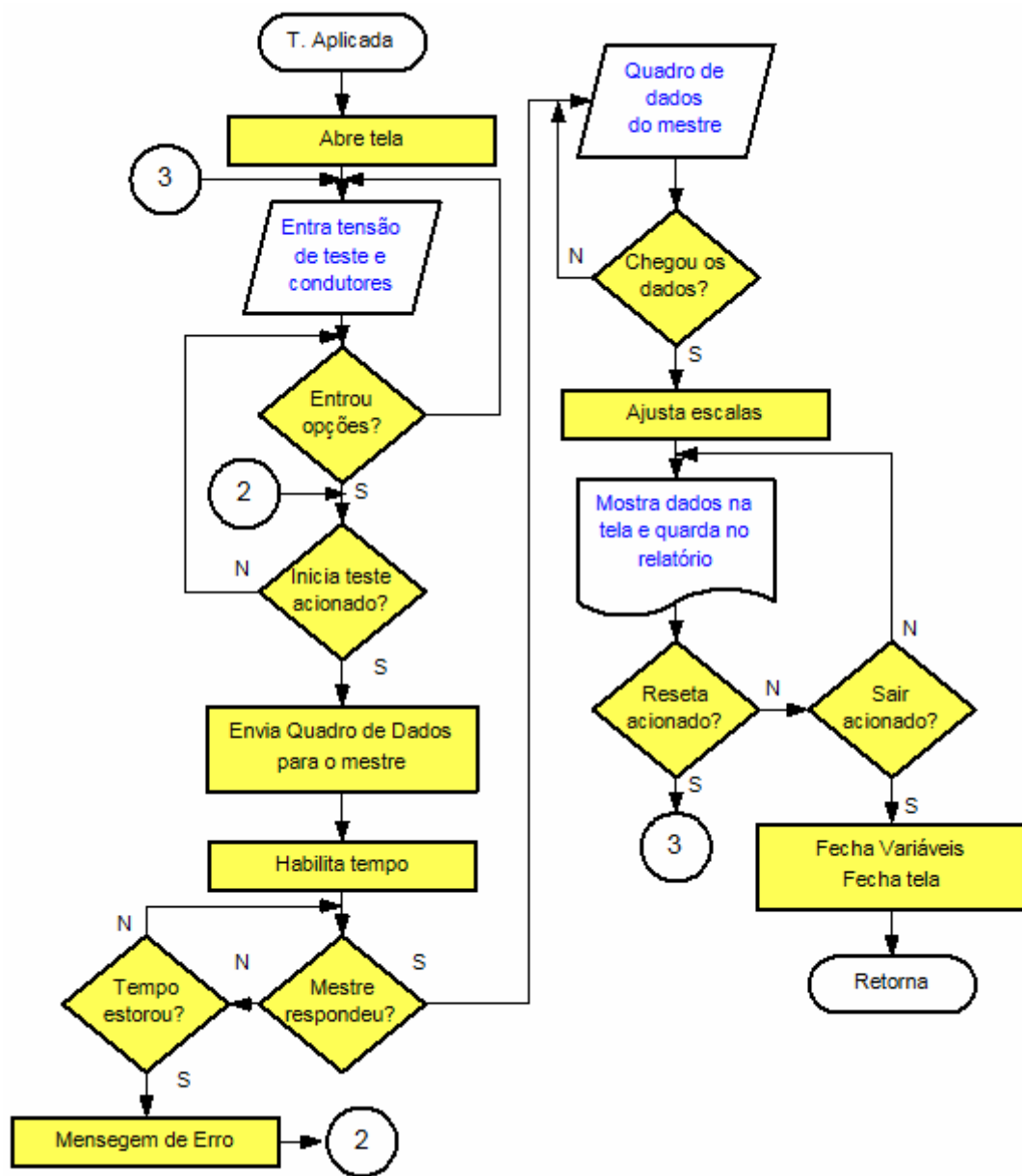


Figura 20 - Fluxograma do ensaio de tensão aplicada

3.4 COMPOSIÇÃO DA UNIDADE FIXA

3.4.1 Introdução

Esta unidade está dividida em dois módulos, um de potência e um de controle do sistema. A montagem dos componentes foi realizada sobre uma placa de madeira de maneira a facilitar a fixação dos componentes e possibilitar o transporte para a instalação elétrica em teste.

3.4.2 Módulo de Potência da Unidade Fixa

O módulo de potência, cujo diagrama é mostrado na figura 21, consta internamente de elementos que permitem aplicar tensão nos condutores em teste.

São eles:

a) Um autotransformador com tensão primária de 127 Vac, tensão no secundário de 220 Vac, com potência de 300 VA, conectado ao barramento de distribuição geral para alimentação do comando das contadoras.

b) Um sistema variador de tensão alternada, composto por um autotransformador variável, motorizado com um motor de passo e comandado por microcontrolador, que permite a variação quase contínua da amplitude da tensão de saída na faixa exigida.

Este autotransformador tem entrada de 127 Vac e saída de 0 – 100 Vac, podendo suportar a corrente máxima de 7 A que, quando é exigida, deve circular nos condutores em teste.

A tensão obtida com o autotransformador variável será utilizada nos ensaios de continuidade dos condutores, dispositivos DR e aterramento.

c) Uma fonte de alimentação simétrica com entrada alternada em 127 Vac e saída +/- 15 Vcc e +5 Vcc, para alimentação dos circuitos eletrônicos.

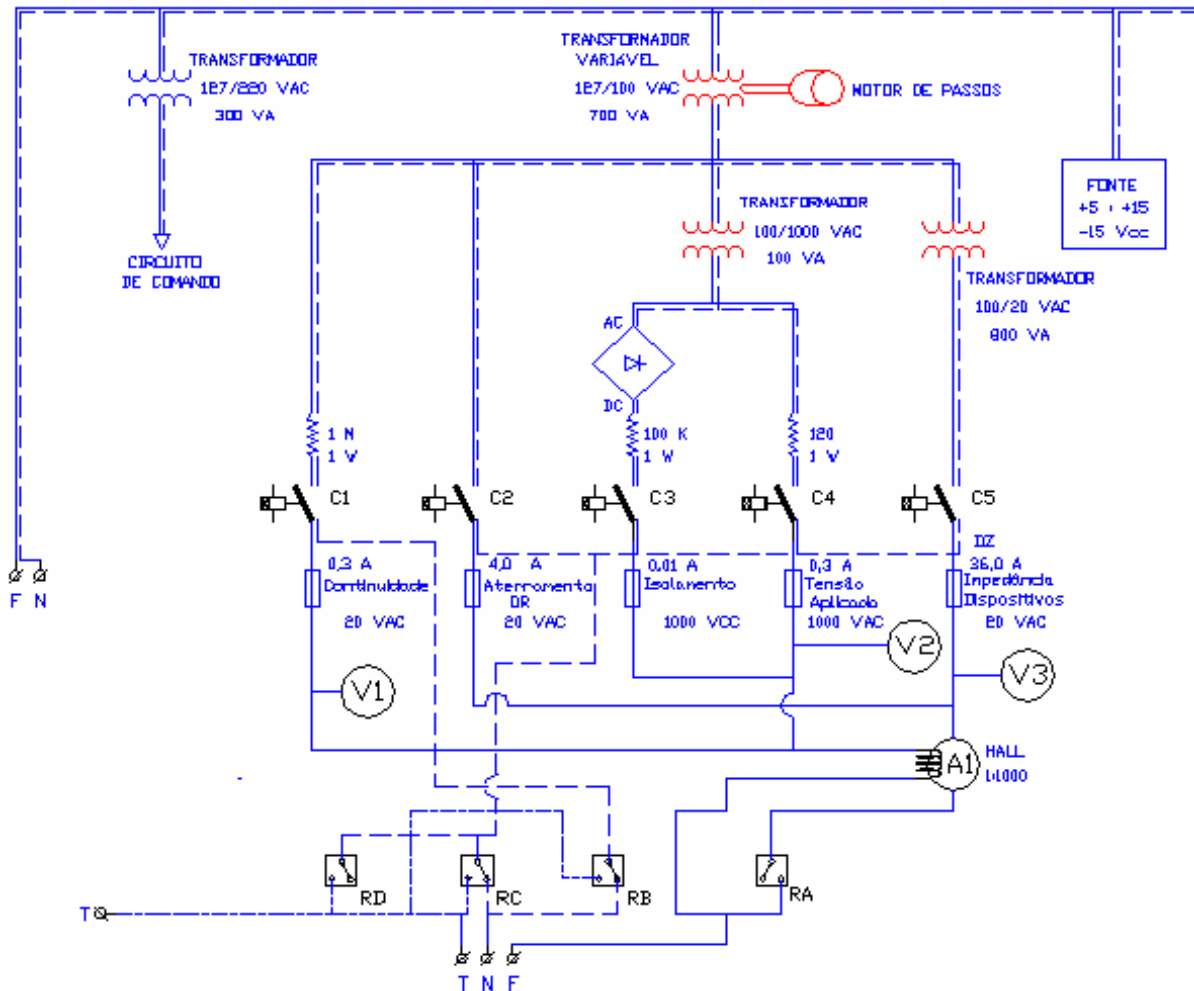


Figura 21 - Diagrama do módulo de força

d) Um transformador isolador de entrada com tensão primária de 100 Vac, tensão no secundário de 20 Vac, com capacidade para prover correntes até 30 A conectado na saída do variador de tensão.

A tensão obtida com este transformador isolador será utilizada no ensaio de dispositivos de proteção e acionamento, tais como os disjuntores.

e) Um transformador com entrada variável de 0 – 100 Vac e saída na faixa de 0 – 1000 Vac, também conectado ao secundário do variador de tensão. Esta tensão de saída poderá ser aplicada diretamente nos condutores para alguns tipos de ensaio. A corrente máxima fornecida pelo circuito pode ser de até 100 mA, limitada por fusível e

pelo resistor de carga colocado na unidade fixa. Também como nas outras saídas, o monitoramento de tensão, corrente e temperatura será executado.

f) Uma fonte de tensão DC com possibilidade de variação contínua é obtida com a utilização do transformador com saída na faixa de 0 – 1000 Vac, aplicado em uma ponte retificadora. Para obter-se tensão contínua variando de 250 – 1000 Vcc, para uso no ensaio de isolamento dos condutores em teste, o primário deste transformador é acoplado à saída do autotransformador variável. Como nas outras saídas da unidade, o controle de tensão proporcional, corrente e temperatura, será realizado.

g) Um conjunto de contadoras com capacidade de conduzir correntes na faixa de 9 a 36 A, com bobinas de operação em 220 Vac fazem a comutação dos testes, possuindo ainda, por segurança, um intertravamento elétrico.

Na saída da unidade fixa existe também um conjunto de relés de comutação para o tipo de condutores em teste, ou seja, fase F, neutro N e terra T. A capacidade de condução destes relés é de 30 A e suas bobinas operam em 12 Vcc. Cabe salientar que o projeto da unidade fixa foi concebido para que os ensaios descritos sejam realizados alternadamente, numa seqüência que minimize as intervenções do operador.

O módulo de potência é responsável pelo fornecimento de tensão e corrente dentro das opções de testes a realizar. Esta tensão é fornecida por ponto de energia externa em 127 Vac. Existe cabo alimentador e um conector para ligar o sistema na energia externa. Considera-se para tal que a instalação elétrica em teste possui pelo menos um ponto de alimentação mesmo que provisório.

Ligado o sistema, energiza-se o autotransformador variável. Este por sua vez alimenta o transformador elevador e o transformador rebaixador, bem como os sistemas de teste diretos, separados pelos contatos de força abertos das contadoras. Energiza-se

também o transformador elevador (127/220 Vac) que alimenta as bobinas das contadoras e a fonte de alimentação da unidade de controle.

A especificação dos componentes está mostrada no anexo B.

Pode-se observar na figura 21 que todas as saídas de tensão dos testes, estão isoladas pelas contadoras c1, c2, c3, c4 e c5 e, dependendo do teste a executar, somente uma delas é acionada permitindo a aplicação de tensão na saída comum dos condutores fase, neutro e terra. Para garantir a segurança do operador e das instalações em teste, um sistema elétrico de intertravamento, foi implementado de maneira que se houver qualquer falha da unidade de controle, não é possível o acionamento de mais de uma saída. O diagrama de comando é mostrado a figura 22.

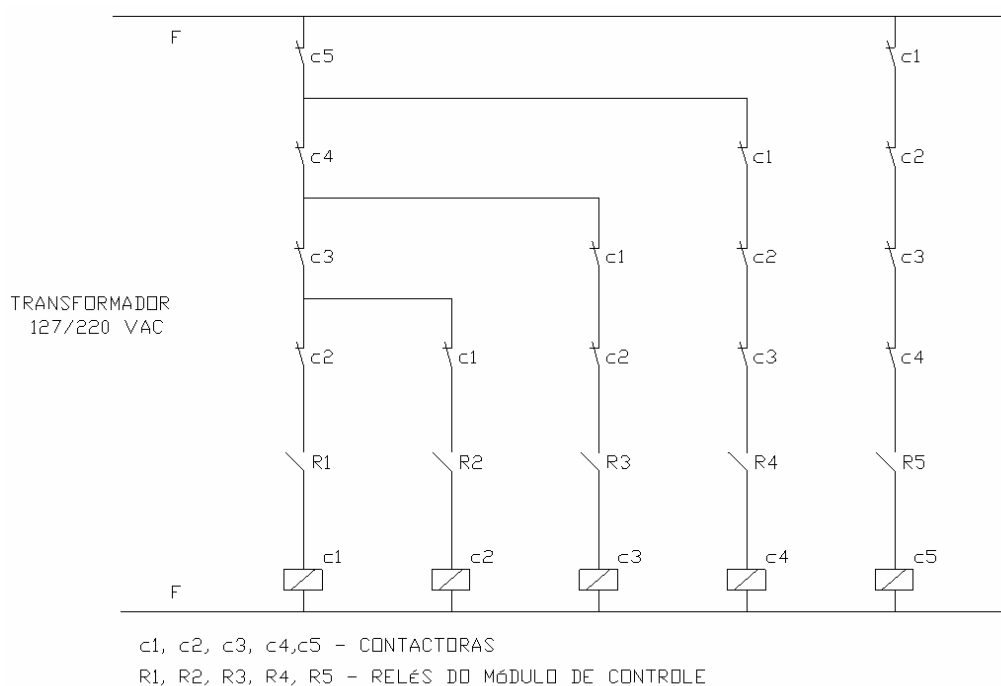


Figura 22 - Diagrama de comando do intertravamento

3.4.3 Módulo de Controle da Unidade Fixa

Complementando a unidade fixa, tem-se módulo de controle que utiliza três micro controladores, todos fabricados pela Microchip® da família PIC, com memória

interna tipo flash que aceita regravação, modelos 16F873 e 16F877. Os dois modelos operam com oscilador de 20 Mhz.

O módulo de controle faz a monitoração total de todos os passos dos testes, e devido a uma configuração inicial, está dividido em três placas eletrônicas, cada uma com seu micro controlador, cumprindo tarefas únicas e específicas.

A constituição de componentes eletrônicos de cada uma das placas está descrita no anexo B e um diagrama de blocos geral é mostrado na figura 23.

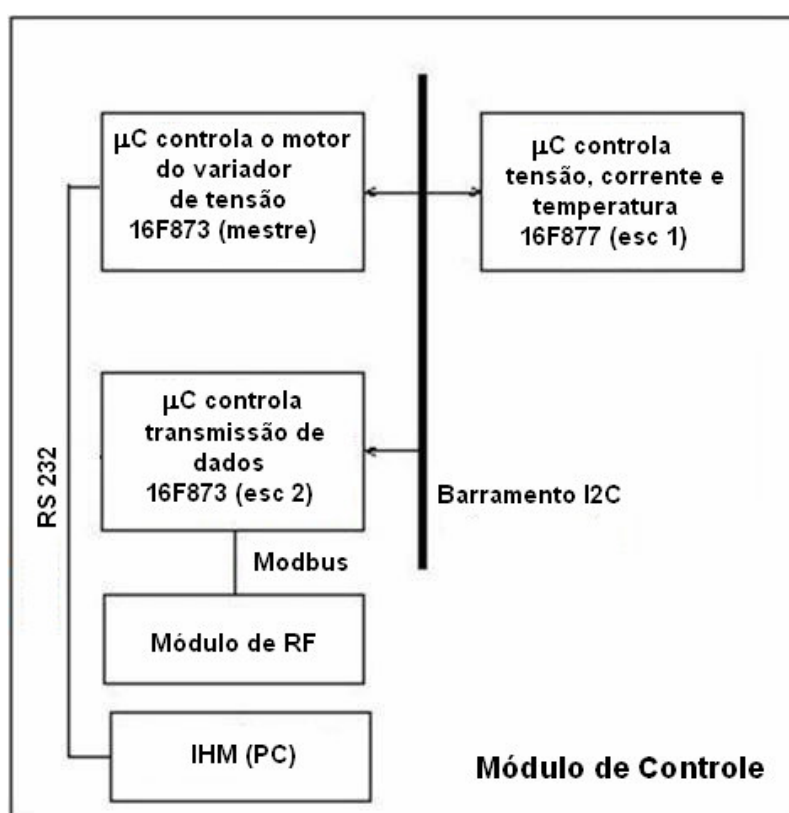


Figura 23 - Diagrama de blocos do módulo de controle

Pode-se observar que a concepção utilizada para comunicação entre todos os componentes internos e externos ao módulo é a de uma rede mestre escravo em todos os níveis.

A comunicação entre o mestre e os escravos é feita através da rede I2C e entre o escravo 2 e as unidades remotas via radio frequência (RF), usando o protocolo Modbus. Já a comunicação entre o mestre e a IHM é feita via RS232.

Para programação dos microcontroladores, com objetivo de realizar as tarefas individualizadas de cada um, utilizou-se um compilador da linguagem C fabricado pela Custom Computer Service (CCS), operando dentro do sistema Integrated Development Environment (IDE) MPLab versão 7.2 padrão da Microchip.

O microcontrolador escravo1 possui a lógica de operação, mostrada no fluxograma da figura 24, voltada para atendimento das informações solicitadas pelo mestre, e tem como principal função fazer a medida e a parametrização dos valores adquiridos de tensão, corrente e temperaturas.

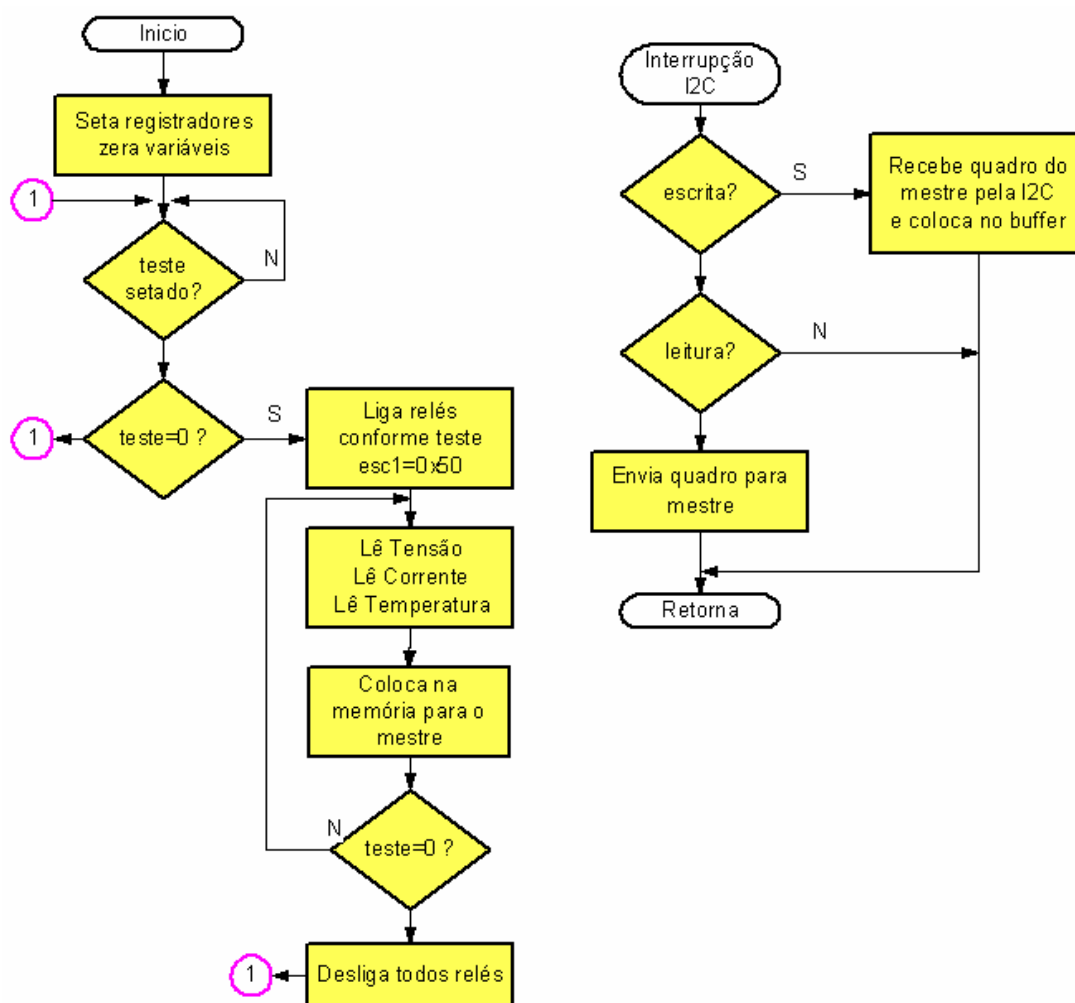


Figura 24 - Fluxograma da lógica do escravo 1

É responsável também pela comutação das escalas, realizada através do acionamento de relés colocados na entrada dos sinais antes dos condicionadores e consequentemente dos conversores analógico para digital (A/D) internos ao microcontrolador.

O diagrama esquemático da placa eletrônica que forma o escravo 1 é mostrado na figura 25. Os relés U9, U13, U15 fazem a comutação de escalas anteriormente referidas. O condicionador de entrada do sinal de tensão onde os resistores R10 e R11,

R12 e R13 formam o ganho dos amplificadores operacionais U5:A e U5:B respectivamente que, neste caso, é unitário. O capacitor C1 e C2 de 100 nF filtra a componente contínua do sinal e o circuito regulador formado pelo resistor R17 e o diodo zener D6 de 2,5 V tem a função fazer o deslocamento do sinal de saída das portas do amplificador operacional para um nível dc de 2,5 V.

A tensão de entrada V_{in} é atenuada em dois estágios por circuito resistivo e então aplicada à entrada dos amplificadores operacionais U5 A e B. O cálculo da atenuação considera os resistores R1, R2, R4, e R5 para o condicionador da escala de 0 – 20 Vac e R43, R44, R6 e R45 para escala de 0 – 1000 Vac. Calculando o valor máximo da tensão de saída do condicionador V_{out} aplicada na entrada do amplificador operacional, considerando os valores dos resistores e V_{in} (a tensão de entrada no divisor) tem-se para as escalas previstas:

Faixa de 0 – 20 Vac

$$\begin{aligned}
 R1 &= 2 \times 10^3 \quad \Omega & R4 &= 150 \times 10^3 \quad \Omega & V_{in} &= 20 \times \sqrt{2} \quad \text{Vac}_p \\
 R2 &= 220 \times 10^3 \quad \Omega & R5 &= 15 \times 10^3 \quad \Omega & & \\
 R_s &= \frac{R2 \times (R4 + R5)}{R2 + R4 + R5} & R_s &= 9.42 \quad \Omega & & (1)
 \end{aligned}$$

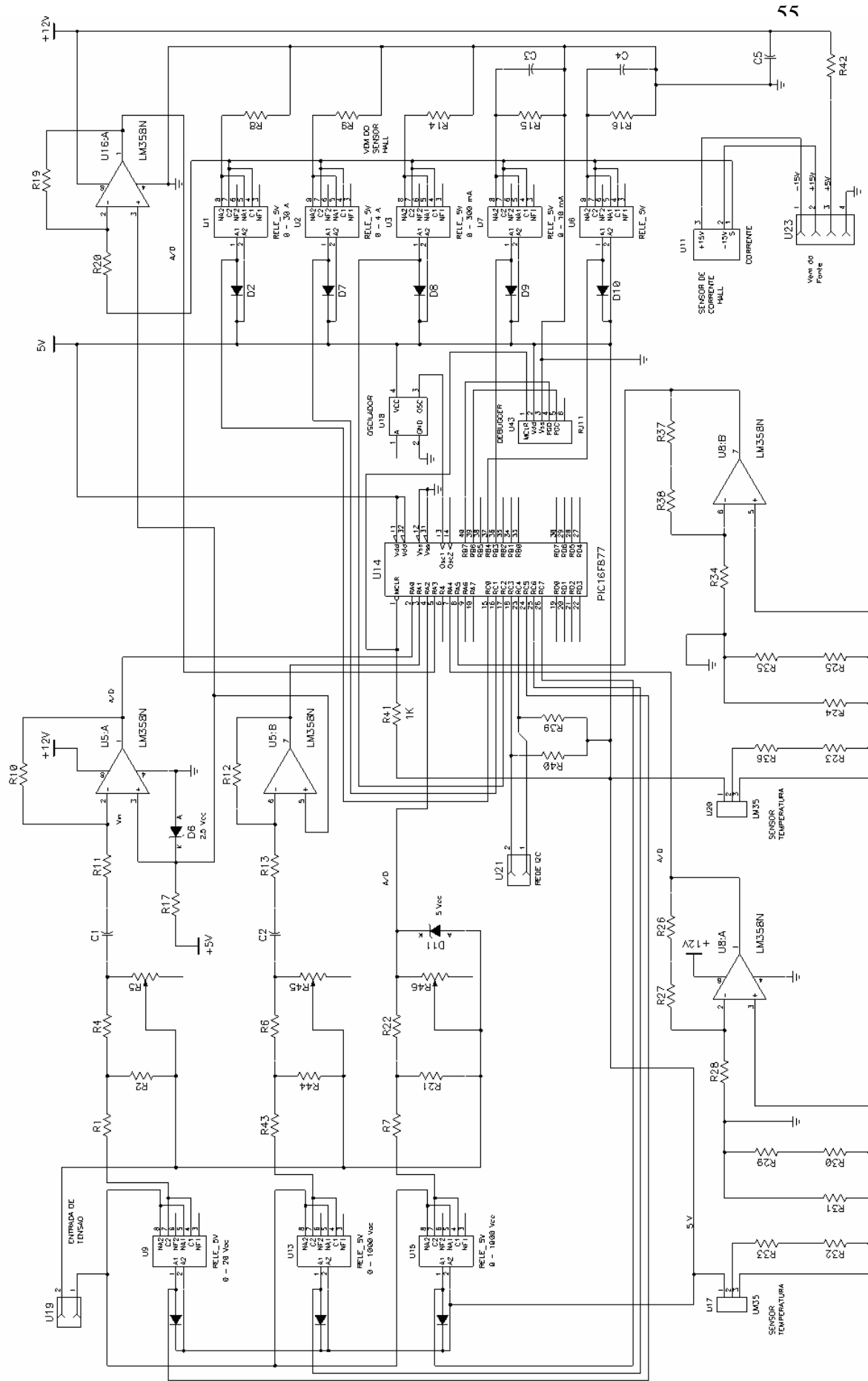


Figura 25 - Diagrama esquemático da placa eletrônica do escravo 1

$$V_{R_2} = V_{in} \times \frac{R_s}{R_1 + R_s} \quad V_{R_2} = 27.69 \text{ Vac}_p \quad (2)$$

$$V_{out} = V_{R_2} \times \frac{R_5}{R_4 + R_5} \quad V_{out} = 2.52 \text{ Vac}_p \quad (3)$$

Como R5 é um resistor variável, pode-se regular a máxima tensão de entrada no operacional dentro da faixa pico a pico de 0 – 5Vac que é a tensão suportada pelo conversor A/D interno ao microcontrolador.

Faixa de 0 – 1000 Vac

$$\begin{aligned} R_{43} &= 2 \times 10^6 \text{ } \Omega & R_6 &= 220 \times 10^3 \text{ } \Omega \\ V_{in} &= 1000 \times \sqrt{2} \text{ Vac}_p \\ R_{44} &= 100 \times 10^3 \text{ } \Omega & R_{45} &= 1.2 \times 10^4 \text{ } \Omega \\ R_s &= \frac{R_{44} \times (R_6 + R_{45})}{R_{44} + R_6 + R_{45}} & R_s &= 6.98 \times 10^4 \text{ } \Omega \quad (4) \end{aligned}$$

$$V_{R_{44}} = V_{in} \times \frac{R_s}{R_{43} + R_s} \quad V_{R_{44}} = 47.74 \text{ Vac}_p \quad (5)$$

$$V_{out} = V_{R_{44}} \times \frac{R_{45}}{R_6 + R_{45}} \quad V_{out} = 2.47 \text{ Vac}_p \quad (6)$$

Da mesma forma, é possível fazer o controle da tensão de saída do condicionador através do resistor R45.

Calculam-se os componentes do condicionador de tensão contínua composto pelos resistores R7, R21, R22, R46:

Faixa de 0 – 1000 Vcc

$$\begin{aligned} R_7 &= 2 \times 10^6 \text{ } \Omega & R_{22} &= 150 \times 10^3 \text{ } \Omega & V_{in} &= 1000 \text{ Vcc} \\ R_{21} &= 780 \times 10^3 \text{ } \Omega & R_{46} &= 1.2 \times 10^4 \text{ } \Omega \end{aligned}$$

$$R_s = \frac{R_{21} \times (R_{22} + R_{46})}{R_{21} + R_{22} + R_{46}} \quad R_s = 1.34 \times 10^5 \quad \Omega \quad (7)$$

$$V_{R_{21}} = V_{in} \times \frac{R_s}{R_{43} + R_s} \quad V_{R_{21}} = 62.85 \quad V_{cc} \quad (8)$$

$$V_{out} = V_{R_{21}} \times \frac{R_{45}}{R_6 + R_{45}} \quad V_{out} = 4.66 \quad V_{cc} \quad (9)$$

Logo tem-se uma variação de tensão na faixa de 0 – 4,6 Vcc

Quanto à grandeza corrente, os sinais são convertidos, considerando quatro escalas, 0 - 10 mAcc, 0 - 300 mAac, 0 - 4 Aac, 0 - 30 Aac . Para aquisição destes usou-se um medidor de efeito hall com capacidade de medir correntes AC ou DC, na faixa de 0 – 50 A, com relação de transformação de 1: 1000, ou seja para cada ampere de entrada, temos 1 miliampere de saída. Como o conversor A/D aceita somente tensão na suas entradas, foi necessário fazer uma transformação corrente-tensão com o auxílio de um resistor de carga. Os relés U1, U2, U3, U7, U8 mostrados na figura 25, fazem a comutação dos resistores conforme a escala a ser usada.

O cálculo da conversão corrente-tensão obedece ao critério simples da lei de OHM para determinação do resistor de carga. Esta tensão é aplicada a entrada do amplificador operacional U16:A que tem seu ganho unitário definido pelos resistores R19 e R20 e então deslocada para um nível de tensão contínua de 2,5 Vcc. Então para as faixas:

Faixa de 0 – 30 Aac

O sensor fornece neste caso, uma saída variando 0 - 30 mA obtendo-se uma excursão pico a pico máxima de 5 Vac na entrada do conversor A/D:

$$V_{ac_p} = 2,5 \quad Vac$$

$$I = 30 \times 10^{-3} \quad Aac$$

$$V_{ef} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \quad V_{ef} = 1,76 \text{ Vac} \quad (10)$$

$$R8 = \frac{V_{ef}}{I} \quad R8 = 58,93 \text{ } \Omega \quad (11)$$

$$\text{Fazendo } R8 = 56 + 2,2 \text{ } \Omega$$

$$V_{ef} = 58,2 \times I \quad V_{ef} = 1,75 \text{ Vac} \quad (12)$$

$$V_{out} = V_{ef} \times \sqrt{2} \quad V_{out} = 2,47 \text{ Vac} \quad (13)$$

A excursão máxima é de 0 - 4,94 Vac

Faixa de 0 – 4 Aac

O sensor fornece uma saída variando 0 - 4 mA e adequando para uma excursão máxima de 5 Vac na entrada do conversor A/D tem-se:

$$V_{ac_p} = 2,5 \text{ Vac} \quad I = 4 \times 10^{-3} \text{ Aac}$$

$$V_{ef} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \quad V_{ef} = 1,76 \text{ Vac} \quad (14)$$

$$R9 = \frac{V_{ef}}{I} \quad R9 = 440 \text{ } \Omega \quad (15)$$

$$\text{Fazendo } R9 = 390 + 51 = 441 \text{ } \Omega$$

$$V_{ef} = 441 \times I \quad V_{ef} = 1,76 \text{ Vac} \quad (16)$$

$$V_{out} = V_{ef} \times \sqrt{2} \quad V_{out} = 2,49 \text{ Vac} \quad (17)$$

A excursão máxima é de 0 - 4,98 Vac

Faixa de 0 – 300 mAac

Para esta escala o sensor fornece, pela sua relação, uma saída variando 0 - 3 uA , muito difícil de ler devido ao ruído envolvido. Para possibilitar esta medida, usou-se um artifício físico com o enrolamento de 10 espiras de condutor de cobre nu de bitola 26 American Wire Gauge (AWG) no primário do transdutor, aumentando assim a corrente de entrada em 10 vezes. Uma foto do transdutor com as espiras é mostrado na figura 26.



Figura 26 - Ilustração do sensor de corrente de efeito Hall

Então, para uma corrente de 300 mA tem-se no primário 10×300 mA, ou seja 3 A resultando uma saída de 3 mA no secundário. Logo:

$$V_{ac_p} = 2,5 \text{ Vac} \qquad I = 3 \times 10^{-3} \text{ Aac}$$

$$V_{ef} = \frac{2,5}{\sqrt{2}} \qquad V_{ef} = 1,76 \text{ Vac} \quad (18)$$

$$R_{14} = \frac{V_{ef}}{I} \qquad R_{14} = 589 \text{ } \Omega \quad (19)$$

$$\text{Fazendo } R_{14} = 560 + 27 = 587 \text{ } \Omega$$

$$V_{ef} = 587 \times I \qquad V_{ef} = 1,76 \text{ Vac} \quad (20)$$

$$V_{out} = V_{ef} \times \sqrt{2} \qquad V_{out} = 2,49 \text{ Vac} \quad (21)$$

A excursão máxima é de 0 - 4,98 Vac

Faixa de 0 – 10 mAcc

Para esta escala o sensor fornece uma saída variando 0 - 100 uA , com o artifício físico, enrolamento de 10 espiras de condutor de cobre nú de 26 AWG no primário do transdutor aumentando assim, a corrente de entrada em 10 vezes. Então, para uma corrente de 10 mA tem-se no primário 100 mA resultando uma saída de 100 uA no secundário. Logo:

$$I = 10 \times 10^{-6} \text{ Acc} \quad V_{ef} = 5 \text{ Vcc}$$

$$R_{15} = \frac{V_{ef}}{I} \Omega \quad R_{15} = 5 \times 10^5 \Omega \quad (22)$$

Fazendo $R_{15} = 470 \Omega$

$$V_{in} = 470000 \times I \quad V_{in} = 4,7 \text{ Vcc} \quad (23)$$

As últimas grandezas que o escravo 2 adquire são a temperatura ambiente e a temperatura no eletroduto que é medida com o auxílio do circuito integrado LM35. Este integrado fornece uma saída linear em tensão, proporcional a temperatura medida na razão de 10 mV/°C. Esta tensão é amplificada com um operacional com ganho 51 de maneira que se possa ter a maior excursão possível na faixa de 0 – 5,1 Vcc.

No circuito da figura 25 os resistores R26, R27 e R28 definem o ganho da porta U8:A do amplificador operacional e os resistores R37, R38 e R34 o ganho da porta U8:B, os resistores R29, R30, R31, R32, R33 e R23, R24, R25, R35, R36 formam um divisor que possibilita o uso do integrado com dois fios e é uma sugestão do fabricante do componente.

Os sinais, nas escalas das grandezas acima definidas, são todas digitalizadas nos conversores A/D do micro controlador PIC16F877. Este controlador possui 8 entradas com conversores de 10 bits, que operam sequencialmente, e cada sinal tem um tempo

médio de conversão de 1,6 μ s com o oscilador usado de 20 Mhz. As entradas analógicas usadas e sua comutação através de relés são mostradas na tabela 1:

Tabela 1 - Portas A/D utilizadas no PIC16F877

0 - 20 Vca	Porta0	Tensão AC
0 - 1000 Vac	Porta1	
0 - 1000 Vcc	Porta2	Tensão DC
0 - 20 Aac	Porta3	Correntes comutadas por relés
0 - 4 Vac	Porta3	
0 - 300 mAac	Porta3	
0 - 10 mAcc	Porta3	
0 - 5 Vcc	Porta4	Temperatura
0 - 5 Vcc	Porta5	Temperatura

A frequência de amostragem para todas as grandezas é de 2000 Hz fornecendo 32 amostras em cada ciclo nos sinais alternados de tensão e de corrente onde procura-se o valor de pico para calcular o valor eficaz. Já nos sinais contínuos trabalha-se com valor diretamente medido e a frequência de amostragem é a mesma.

Com os ensaios são realizados individualmente, neste instante somente quatro aquisições são feitas obedecendo a ordem de: primeiro a tensão, depois corrente, temperatura ambiente e temperatura do eletroduto onde estão os condutores em teste. Pelas características dos conversores, as aquisições serão espaçadas de 1,6 μ s uma da outra. Ou seja, lê o valor de tensão, no tempo de 1,6 μ s, quando concluído lê o valor de corrente também no mesmo tempo, quando concluído lê a primeira temperatura no mesmo tempo, e por último lê a segunda temperatura. Novas leituras serão realizadas

depois de 500 μ s, tempo necessário para processar os valores medidos. Uma explicação dos tempos de operação de todo o processo será apresentada oportunamente.

O outro microcontrolador do módulo de controle 16F873, chamado escravo 2 cujo fluxograma da lógica de operação é mostrado na figura 29, tem como função principal fazer a interface entre as unidades remotas e o mestre do sistema. Nesta tarefa, dentro da concepção que se desenvolveu, realiza a comunicação com as remotas através do módulo de rádio frequência disponibilizando os dados recebidos para análise do microcontrolador mestre.

O dispositivo microcontrolado foi programado com prioridades de tarefas também, sendo que a mais importante é o atendimento das informações solicitadas pelo mestre. Nesta condição ele atende a uma interrupção de processamento, ficando para segundo plano a comunicação com as unidades remotas. Se, na pior condição, estiver enviando ou recebendo dados das unidades remotas e receber um chamado do mestre solicitando os valores anteriormente recebidos, atende o chamado e perde as informações de comunicação que estava tratando no momento da interrupção.

No diagrama esquemático da placa eletrônica da figura 28, U6 representa o módulo de rádio modem digital, operando na faixa de ultra high frequency (UHF), em 433 Mhz modulação por amplitude de sinal (ASK). U4 representa um borne para conexão da antena externa ao módulo necessária para a operação.

Ainda no diagrama, U9 representa o oscilador de 20 Mhz, U43 é um borne para a programação e depuração do microcontrolador e U2 é um borne para conexão da rede de comunicação i2c.

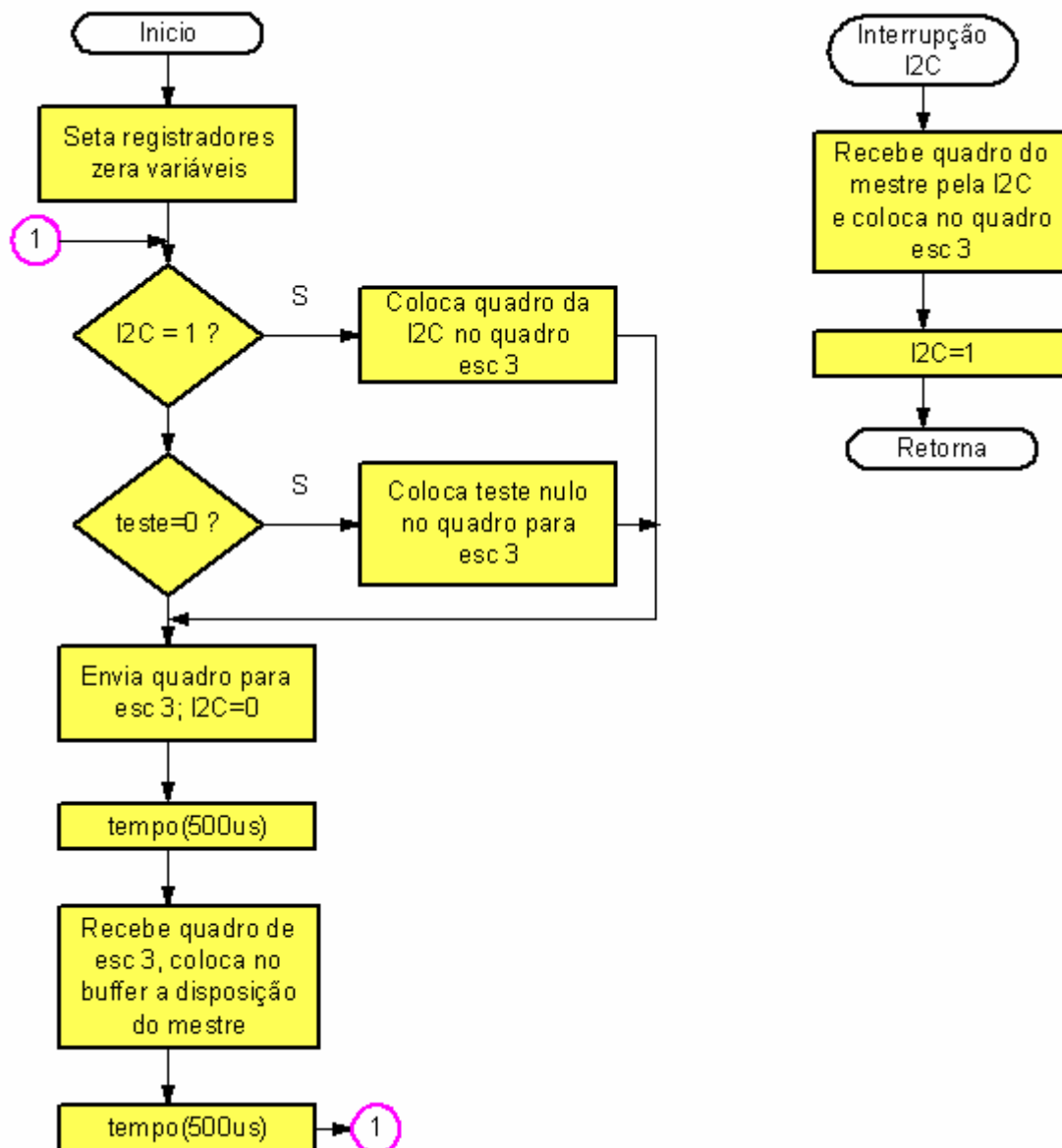


Figura 27 - Fluxograma da lógica do escravo 2

O último microcontrolador mestre é o mais importante componente de todo módulo de controle, pois tem as principais funções dentro do sistema. Ele gerencia a comunicação com os escravos, recebe as informações dos testes a realizar da interface homem máquina, fornece os valores das grandezas a esta interface, na medida que o teste vai sendo realizado, implementa um controle para operação do motor de passos e aciona as contadoras para energização do circuito e operacionalidade dos teste. O

fluxograma da lógica de operação da rotina principal do microcontrolador mestre é mostrado na figura 29, a listagem do software desenvolvido em linguagem C é mostrado no apêndice C.

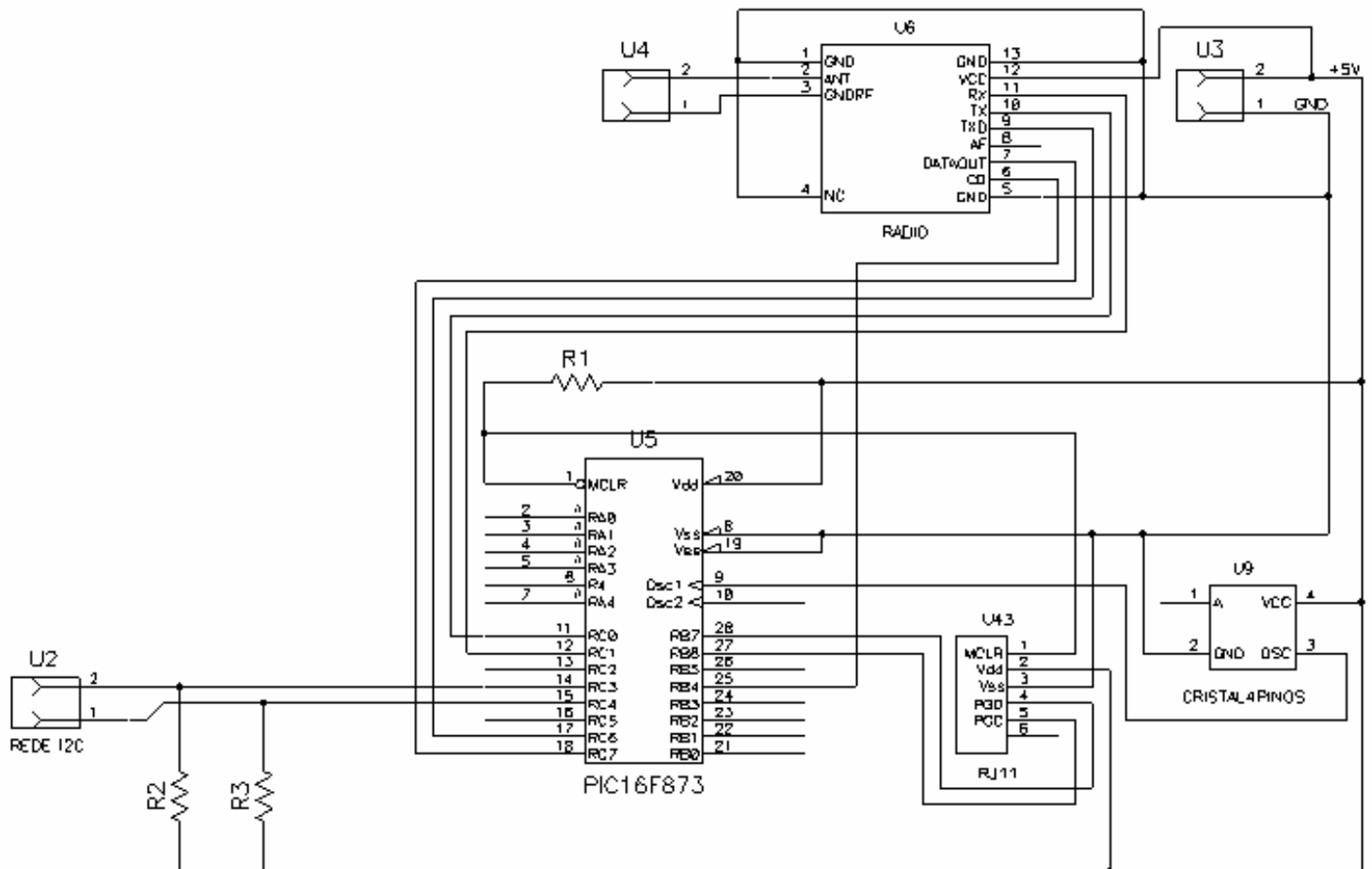


Figura 28 - Diagrama esquemático da placa eletrônica do escravo 2

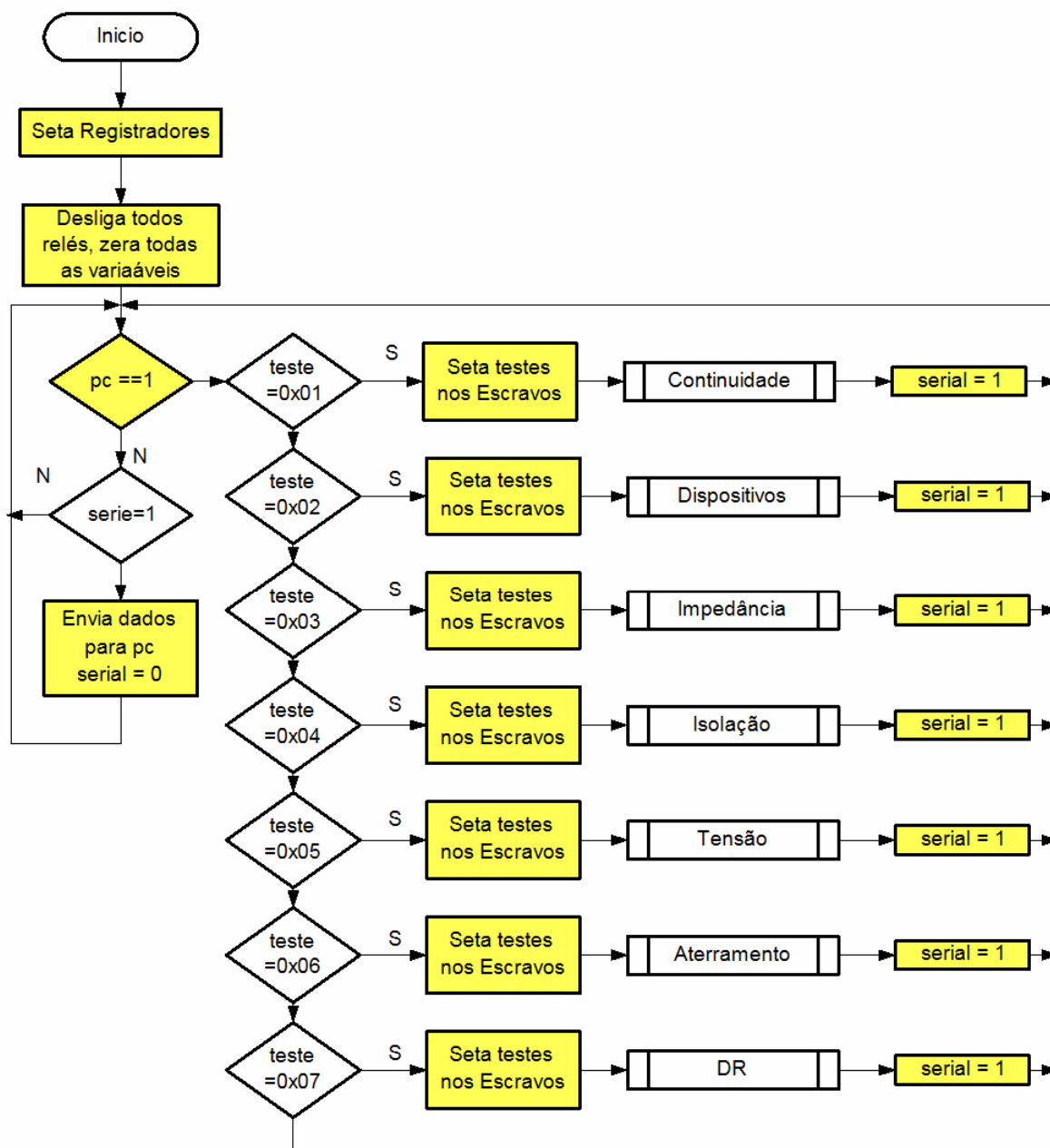


Figura 29 - Fluxograma da lógica da rotina principal do mestre

Quanto ao controle do motor de passos, devido a que o motor utilizado tem característica de ângulo de giro de 355° em passo de $1,8^\circ$, não foi possível implementar um algoritmo proporcional integral e derivativo PID, pela dificuldade de estabilização. Alternativamente, o controle é feito com um algoritmo de aproximações sucessivas, onde o mestre ao receber o pedido de realização de algum teste, define o ponto ótimo de operação (set point) de tensão, corrente e temperaturas que estão previamente gravados

em sua memória. A partir do valor programado, o algoritmo de controle aumenta ou diminui o sentido de giro do ângulo do motor, alterando a tensão e a corrente com base nas informações reais dos valores das unidades remotas recebidas do escravo 1 e também do escravo 2 .

O acionamento das contadoras é diretamente dependente do tipo de teste a realizar solicitado pela IHM. Após acionar as contadoras o mestre verifica o retorno de execução enviado por contato auxiliar normalmente aberto. Também há informação visual com diodos emissores de luz (LEDS) mostrando ao operador qual contadora está energizada.

Para a comunicação entre os microcontroladores, especificamente entre o mestre gerador e iniciador de troca de dados com os escravos, optou-se pelo protocolo I2C, pois todos os microcontroladores PIC escolhidos possuem hardware e firmware interno para implementação deste tipo síncrono de comunicação. Por outro lado, a velocidade de troca de dados usada é de 400 Khz, que atende as solicitações para a perfeita operacionalidade com segurança do instrumento proposto.

O diagrama esquemático da placa eletrônica do mestre é ilustrado na figura 30 onde U12, U13, U14, U15, U16, U26 representam os relés de comutação das contadoras, U1, U9, U10, U11 simbolizam os transistores que servem de “drivers” para o controle do motor de passos, U27 simboliza o driver da porta serial, EIA RS 232. Ainda no diagrama, U4 representa os bornes da rede I2C, U2 o cristal oscilador de 20 Mhz e J1 simboliza o conector db9 da RS 232 . Os transistores Q1, Q2, Q3, Q4, Q5, Q6, fazem o chaveamento dos relés das contadoras.

A indicação visual de qual contadora está energizada, é feita com os diodos emissores de luz, LED, simbolizados por D6, D7, D8, D9, D19 e D18.

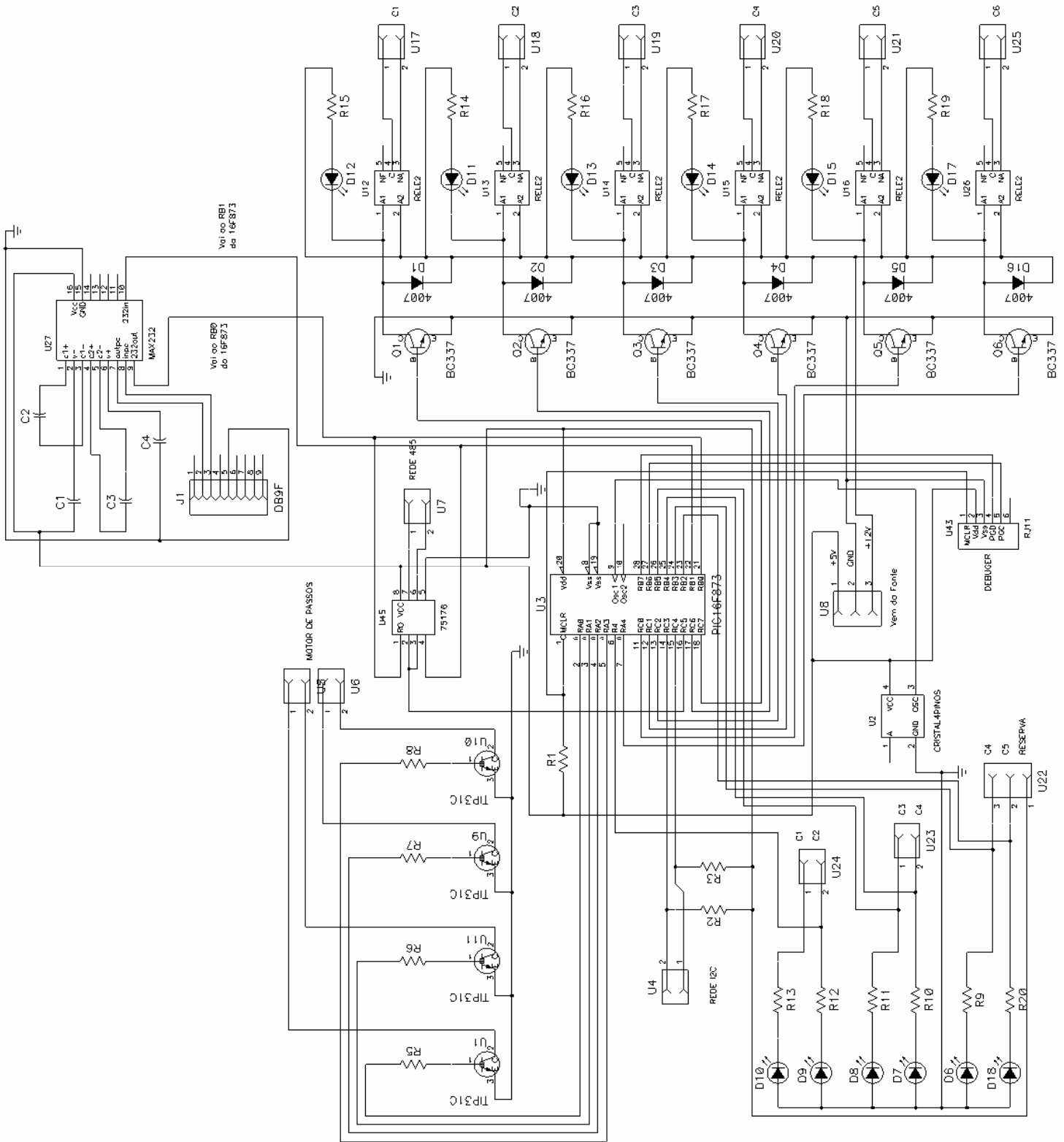


Figura 30 - Diagrama esquemático da placa eletrônica do mestre

Apresentamos a seguir na figura 31 uma foto da unidade fixa.

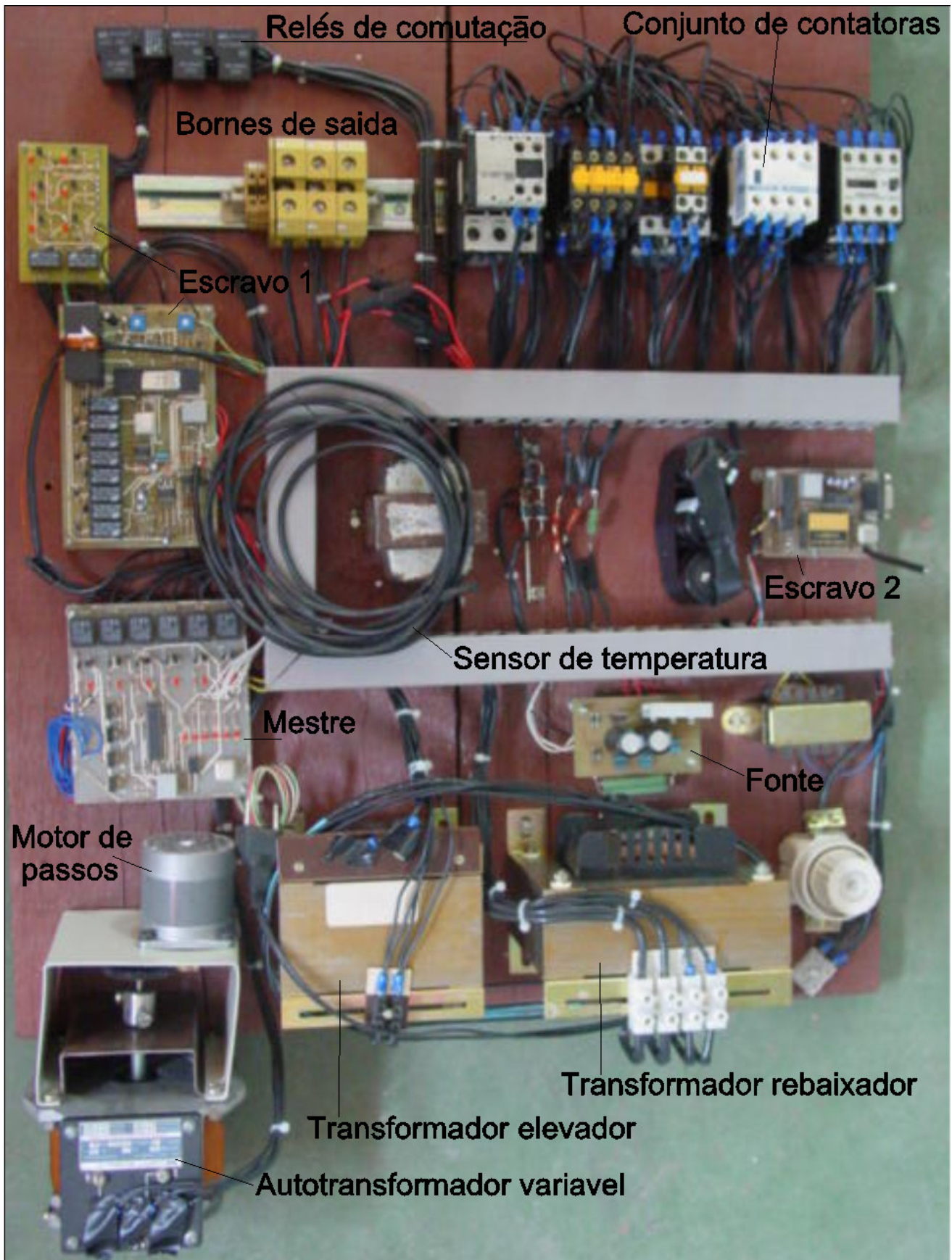


Figura 31 - Fotografia da unidade fixa

3.5 COMPOSIÇÃO DA UNIDADE REMOTA

3.5.1 Introdução

Uma unidade remota é responsável pelas medidas de corrente e tensão aplicadas no circuito em teste em pontos distantes do centro de distribuição. Desta forma deve ser colocada nos pontos da instalação que se deseja ensaiar. É responsável também pela comutação dos condutores em teste, possibilitando uma abrangência total no circuito ensaiado.

As unidades remotas são desenvolvidas conforme faixa de atuação definida pela corrente que se deseja injetar no sistema. Para faixa de testes de condutores até 15 A, condutor 1,5 mm², tem-se um tipo de UR. Para teste com condutores até 36 A, 4,0 mm² tem-se outro tipo de unidade. Novas unidades para correntes maiores poderão ser implementadas mantendo-se os procedimentos de comunicação adotados pelo sistema.

Estas unidades, tem aplicação imediata nos seguintes testes de certificação:

1. Continuidade dos condutores, com medidas de tensão e corrente,
2. Teste de dispositivos, fornecendo o curto-circuito para os testes térmico e de curto-circuito controlado,
3. Testes de dispositivo DR, fornecendo o curto-circuito e acionando a carga de teste com a computação da corrente e o tempo de desligamento,
4. Teste de impedância do circuito fornecendo o curto-circuito necessário.

No momento da realização dos ensaios de certificação poderão ser usadas mais de uma unidade remota, permitindo-se a execução simultânea de ensaios em diversos pontos do mesmo circuito. O limitador deste procedimento será determinado somente pelo tipo de teste a ser realizado, pela segurança necessária e pela velocidade de transferência dos dados na rede de RF.

A unidade remota a exemplo da unidade fixa, também possui um módulo de força e um módulo de controle.

3.5.2 Módulo de Força da Unidade Remota

O módulo de força compreende um conjunto de dispositivos comutáveis que são operados conforme o teste que vamos realizar que tem o objetivo de prover curto-circuito ou colocar uma carga resistiva para determinados ensaios, com a necessária capacidade de corrente. O diagrama é mostrado na figura 32.

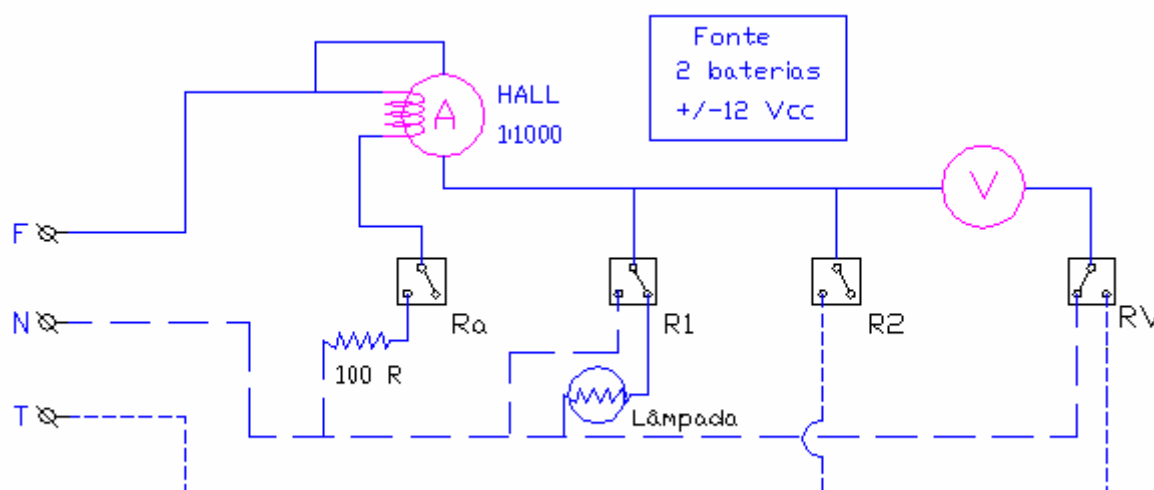


Figura 32 - Diagrama da unidade remota

No diagrama da figura 34 os relés R1 e R2, permitem a realização dos ensaios entre os condutores fase (F) e neutro (N) ou entre fase e terra (T). Ainda o relé R1, possibilita a colocação de uma carga resistiva representada pela lâmpada entre a fase e o neutro do circuito em teste. Os relés Ra e RV fazem parte do modulo de controle da unidade e serão abordados a seguir. A fonte de alimentação das bobinas dos relés e da placa eletrônica que compõe o modulo de controle é composta por duas baterias de 12 Vcc, cada uma com capacidade para 7 ampére hora, ligadas em série, caracterizando uma fonte simétrica de +/- 12 Vcc.

3.5.3 Módulo de Controle da Unidade Remota

O módulo de controle da unidade remota é composto por uma placa eletrônica cuja função principal é prover as cargas necessárias para realização dos testes através da comutação dos relés do módulo de força. Também fornece ao escravo 2, da unidade fixa, as medidas de tensão e corrente quando da realização dos ensaios. Possui internamente como elemento principal um microcontrolador da família PIC, fabricado pela Microchip®, 8 bits, tipo 16F873.

Este dispositivo, como já citado possui internamente conversores de sinais de analógico para digital (A/D) para aquisição de medidas para tensão e corrente que são nas faixas de tensão de 0 – 20 Vac, e de corrente 0 – 300 mAac, e 0 - 30 Aac. O circuito condicionador tem a mesma configuração da unidade fixa [3.4]. Ainda compondo o módulo de controle, existe um sensor de efeito Hall para as medidas de corrente e um transceptor de rádio modem digital, sendo que os componentes tem as mesmas características dos componentes utilizados na unidade fixa. Um detalhamento completo dos componentes eletrônicos do modulo é mostrado no apêndice B.

A operação da unidade remota obedece a uma lógica de operação totalmente dependente da unidade fixa. O fluxograma genérico é mostrado na figura 33 abaixo e o diagrama esquemático da placa do circuito eletrônico é mostrado na figura 34.

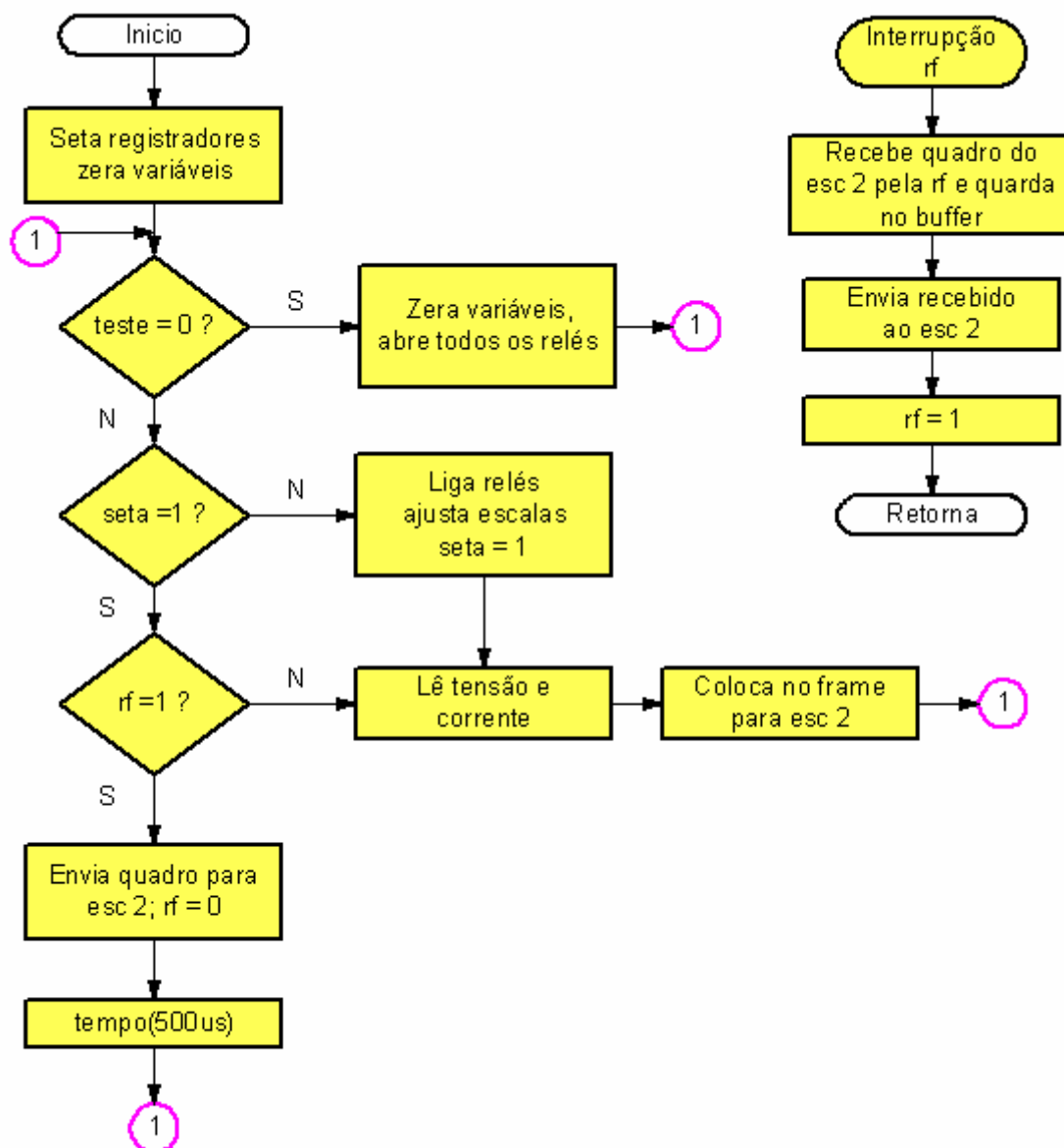


Figura 33 - Fluxograma da lógica da unidade remota

No diagrama eletrônico da figura 34, U5 com as portas A e B, representam os amplificadores operacionais dos condicionadores de corrente e tensão que pela configuração, observa-se que são iguais aos utilizados na unidade fixa. U6 simboliza o modulo rádio transceptor, U4 é o relé RV mostrado no diagrama geral, bem como U10 é o relé Ra e U2 é o relé de comutação das escalas de corrente. O borne U9 fornece o driver de comutação para os relés R1 e R2 com bobinas de 12 Vcc.

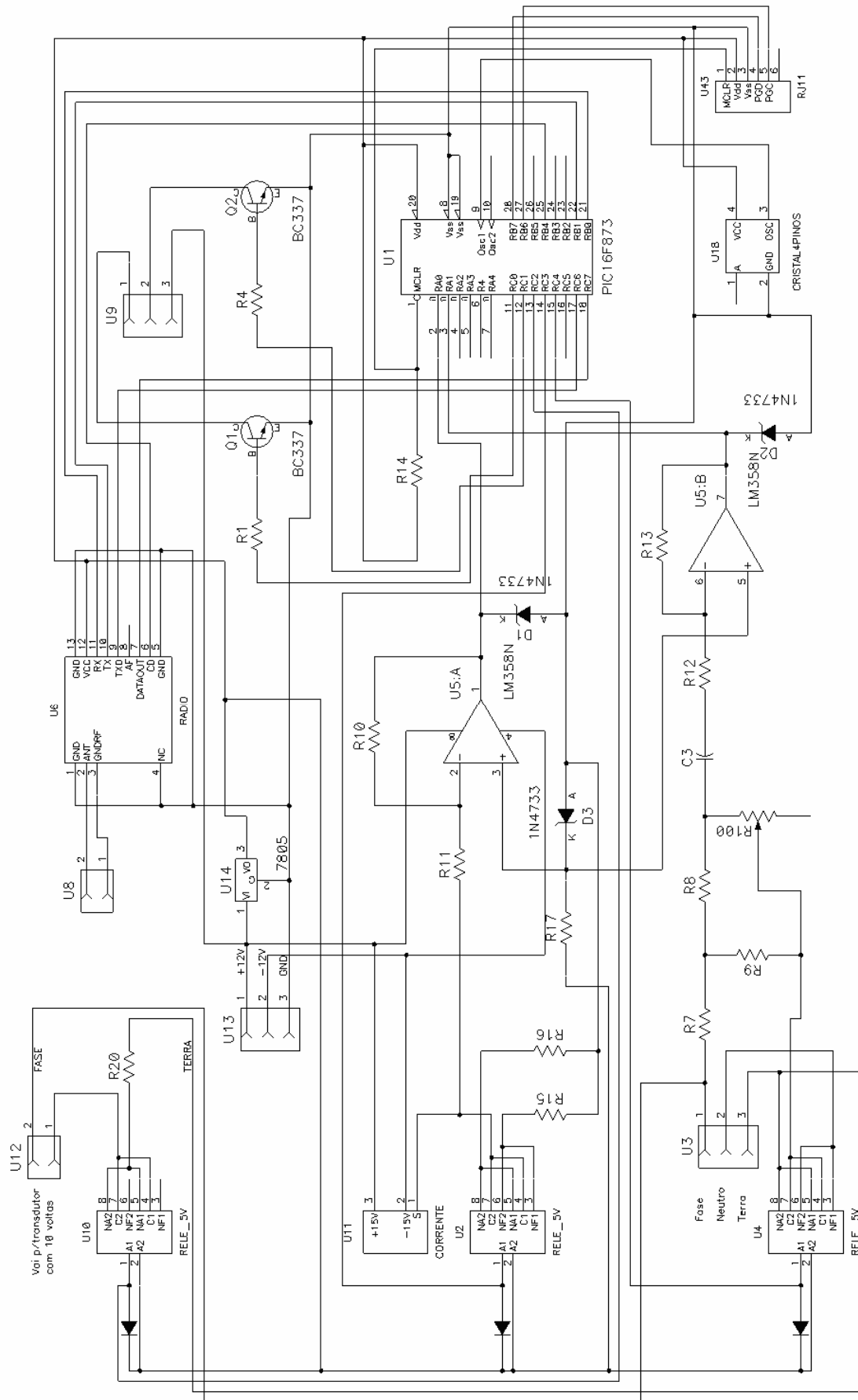


Figura 34 - Diagrama esquemático da unidade remota

Uma visão geral da unidade remota é mostrada na fotografia de ilustração da figura 35 a seguir.

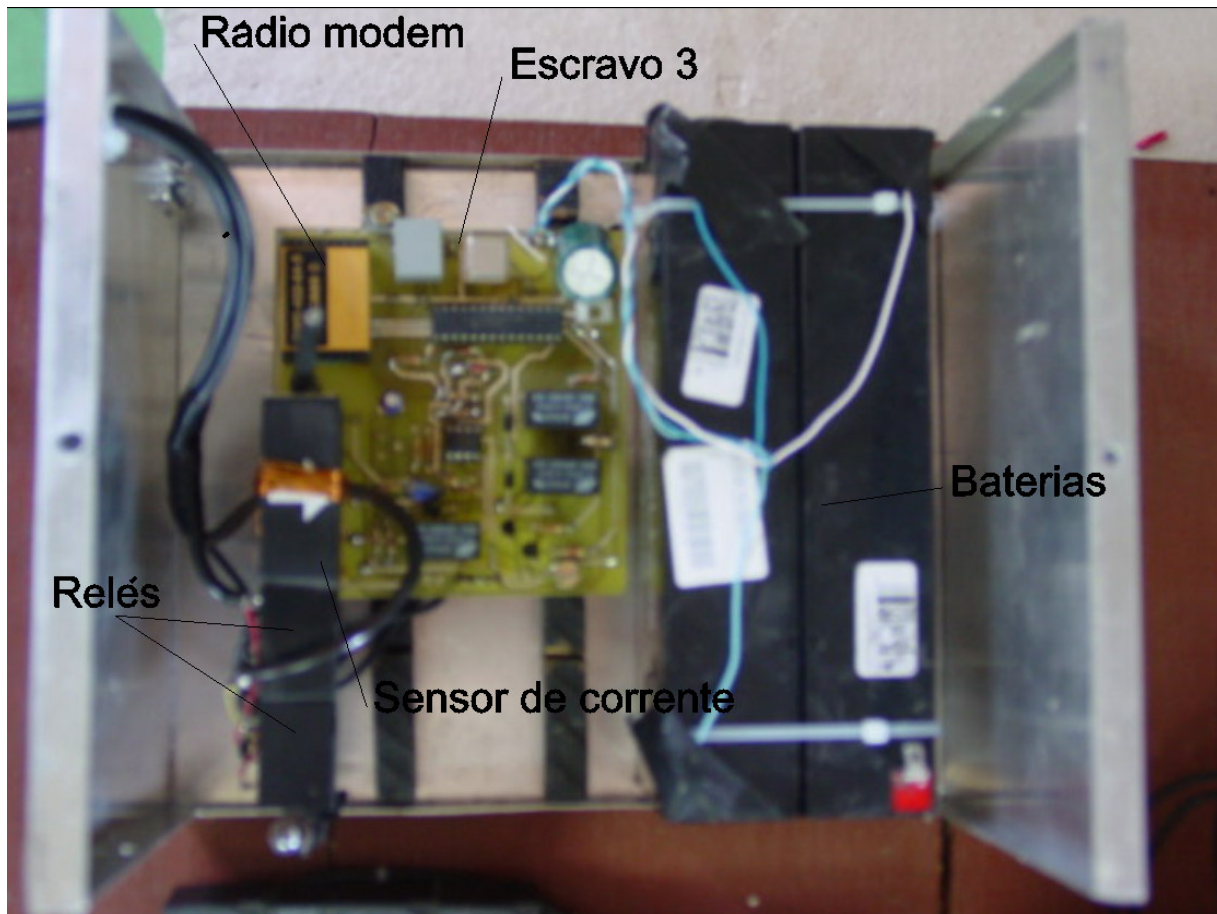


Figura 35 - Fotografia da unidade remota

3.6 COMUNICAÇÃO UTILIZADA

3.6.1 Introdução

Para prover a comunicação entre os microcontroladores e entre estes e o computador que suporta IHM do sistema desenvolvido, foi utilizada transmissão serial de dados através de uma rede mestre escravo.

No caso dos dados entre a IHM e o microcontrolador mestre usou-se o meio físico RS 232 com o protocolo de comunicação Modbus-RTU. No lado do micro PC foi

utilizada a porta serial e na unidade fixa um hardware específico foi desenvolvido. A velocidade de transmissão escolhida para ser ter a menor taxa de erros possível foi de 38400 bps. Esta escolha deve-se também a limitação desta velocidade pelo mestre, já que o mesmo possui uma unidade universal endereçável síncrona e assíncrona de recepção e transmissão (USART), que apresenta um taxa de erros maiores em velocidades mais altas. Na comunicação via RF, o meio físico é o ar e o protocolo utilizado também é o Modbus-RTU. Já na comunicação entre o microcontrolador mestre e os microcontroladores escravos, foi utilizado como meio físico um par de fios e protocolo I2C. Optou-se pela rede I2C, primeiro para aproveitar a estrutura dos microcontroladores escolhidos que possuem internamente hardware para este tipo de comunicação, segundo porque eles possuem somente uma USART interna. No mestre, a sua USART é usada na comunicação com a IHM. No microcontrolador da unidade remota, e no escravo 2 a suas USARTs estão em uso para trocar dados via módulo de RF. O escravo 1, é o único que não usa sua USART. Assim para outro tipo de comunicação serial como o padrão serial RS485, este controle de envio e recebimento de dados, deveria ser implementado via software o que possivelmente provocaria um aumento dos erros de comunicação. Usando a I2C, como já citado, a operação via hardware, é executada habilitando ou desabilitando registradores internos dos microcontroladores. No apêndice A faz-se uma síntese explicativa dos protocolos e meio físico usados.

3.6.2 Quadros de Transmissão do Sistema

Com o uso dos protocolos para trânsito das informações, execução de tarefas e retorno das medidas efetuadas, foi necessário definir uma codificação específica para cada tipo de teste programado. Esta codificação é transmitida pelas redes de comunicação de modo que os microcontroladores possam preparar-se para responder

adequadamente a cada um dos testes. Cada código utiliza até 2 bytes de valores em hexadecimal, conforme a seguir se especifica.

Para os testes a realizar:

Tabela 2 - Codificação dos testes e sub testes

Código do teste a realizar	Código do sub teste a realizar
0x01 – Teste de Continuidade	0x15 – Condutor FN 0x40 – Condutor FT
0x02 – Teste de Dispositivos	0x20 – Térmico 0x30 – Curto – Circuito
0x03 – Teste de Impedância	0x15 – Condutor FN 0x40 – Condutor FT
0x04 – Teste de Isolação	0x15 – Condutor FN 0x40 – Condutor FT
0x05 – Teste de tensão aplicada	0x15 – Condutor FN 0x40 – Condutor FT
0x06 – Teste de aterramento	
0x07 – Teste de DR	

Para definir o destinatário ou o originador de cada mensagem de comunicação dentro da rede, os endereços correspondentes aos microcontroladores utilizam um byte de identificação conforme tabela abaixo:

Tabela 3 - Endereço dos microcontroladores do sistema

Endereço	Microcontrolador
0x00	PC (IHM)
0x01	Mestre
0x02	Escravo 1
0x03	Escravo 2
0x04	Escravo 3

Também houve necessidade de utilizar codificação especial para diversas outras tarefas envolvidas na realização dos testes, bem como para envio de dados sempre em hexadecimal. Segue-se uma tabela com estas definições:

Tabela 4 - Codificação das tarefas a realizar

Codificação	Tarefas a realizar
0xaa	Endereço da memória onde inicia armazenagem dos dados
0xbb	Numero de bytes enviados
0xcc	Teste a ser realizado
0xdd	Sub teste quando necessário
0xee	Byte para confirmar que os escravos foram preparados para os testes.
VH1	Byte alto da tensão na unidade fixa
VL1	Byte baixo da tensão na unidade fixa
IH1	Byte alto da corrente na unidade fixa
IL1	Byte baixo da corrente na unidade fixa
T1	Temperatura ambiente no sensor 1
T2	Temperatura do eletroduto no sensor 2
VH2	Byte alto da tensão na unidade remota
VL2	Byte baixo da tensão na unidade remota
IH2	Byte alto da corrente na unidade remota
IL2	Byte baixo da corrente na unidade remota
TH	Byte alto do tempo na unidade remota
TL	Byte baixo do tempo na unidade remota

Considerando o protocolo Modbus utilizado (vide anexo A), toda a comunicação mestre escravo está baseada no trânsito de perguntas e respostas. As perguntas são enviadas pelo mestre e as respostas pelos escravos. Apresenta-se a seguir, os quadros da comunicação entre as unidades que utilizam o protocolo escolhido.

Para a troca de informações entre o mestre e a IHM, quando o objetivo for habilitar o teste pedido pela IHM, tem-se os quadros para o pedido e resposta do mestre:

Pergunta da IHM

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Checagem de erro	
		Da Memória				crcH	crcL
0x01	0x10	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	crcH	crcL

Resposta do mestre

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Checagem de erro	
		Da Memória		crcH	crcL
0x01	0x10	0xaa	0xbb	crcH	crcL

Também para informar a unidade remota, ou escravo 3, o seguinte quadro de pergunta e resposta é enviado pelo escravo 2.

Pergunta do escravo 2

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Checagem de erro	
		Da Memória				crcH	crcL
0x04	0x10	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	crcH	crcL

Resposta do escravo 3

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Checagem de erro	
		Da Memória				crcH	crcL
0x04	0x10	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	crcH	crcL

Quando na realização do ensaio e os valores finais forem informados à IHM pelo mestre, os seguintes quadros são implementados. A pergunta do mestre recebe uma resposta da IHM:

Pergunta do mestre

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Dado3	Dado4	Dado5	Dado6
		Da Memória							
0x00	0x03	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	VH1	VL1	IH1	IL1

Dado7	Dado8	Dado9	Dado10	Dado11	Dado12	Dado13	Dado14	Checagem De erro	
T1	T2	VH2	VL2	IH2	IL2	TH	TL	crcH	crcL

Resposta da IHM

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Checagem de erro	
		Da Memória				crcH	crcL
0x00	0x03	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	crcH	crcL

Da mesma forma, continuamente o escravo 2 pergunta os valores das variáveis ao escravo 3 usando os seguintes quadros:

Pergunta do escravo 2

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Checagem de erro	
		Da Memória				crcH	crcL
0x04	0x03	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	crcH	crcL

Resposta do escravo 3

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Dado3	Dado4	Dado5	Dado6
		Da Memória							
0x04	0x03	0xaa	0xbb	0xcc	0xdd	VH2	VL2	IH2	IL2

Dado7	Dado8	Checagem de erro	
TH	TL	crcH	crcL

Utilizando os quadros, pode-se exemplificar a comunicação entre os microcontroladores. No quadro enviado da IHM para o mestre com o objetivo de iniciar um Teste de Continuidade, por exemplo, a IHM tem prioridade, usando o protocolo Modbus. A comunicação pode ser descrita da seguinte forma:

Dispositivo de endereço 0x01 (mestre), escreve (0x10) a partir da posição de memória 0x04, 0x02 bytes.

A resposta do mestre é traduzida da seguinte maneira:

Eu, dispositivo 0x01 (mestre), escrevo a partir da posição de memória 0x04, 0x02 bytes.

Pergunta da IHM

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Dado1	Dado2	Checagem de erro	
		Da Memória				crcH	crcL
0x01	0x10	0x04	0x02	0xff	0x00	crcH	crcL

Resposta do mestre

End	Função	End. Inicial	Num.Bytes	Checagem de erro	
		Da Memória		crcH	crcL
0x01	0x10	0x04	0x02	crcH	crcL

Em todas as etapas onde o Modbus é aplicado tem-se os quadros como exemplificado.

Na comunicação do mestre com os escravos, usando o protocolo I2C, em conjunto com o hardware dos microcontroladores, o endereçamento é determinado com o uso dos sete primeiros bits do byte para endereço e o último para definir se a operação é de escrita ou leitura. Então para escrever no escravo 01 que tem o endereço 0x02, o mestre envia o byte 0x20 e para ler o byte 0x21, procedendo para os outros escravos da mesma forma.

No quadro enviado com o objetivo de iniciar um Teste de Continuidade, por exemplo, é possível ter-se a pergunta e a resposta, uma seguida da outra com a seguinte interpretação:

Escreve (0x20) no escravo 1 de endereço 0x02, o teste 0x01 e sub teste 0x15 a ser realizado. Lê (0x21) os dados da memória.

Pergunta/Resposta

End/Escrita	Teste	Sub Teste	End/Leitura	Dado1...Dado n	Checagem de erro	
0x20	0x01	0x15	0x21	0xff	crcH	crcL

Quadro enviado do Mestre para o Escravo 1 (medidas)

End/Escrita	Teste	Sub Teste	End/Leitura	Dado1	Dado2	Dado3	Dado4	Dado5
0x20	0xcc	0xdd	0x21	0xee	VH1	VL1	IH1	IL1

Dado6	Dado7	Checagem de erro	
T1	T2	crcH	crcL

Quadro enviado do Mestre para o Escravo 2 (rádio)

End/Escrita	Teste	Sub Teste	End/Leitura	Dado1	Dado2	Dado3	Dado4	Dado5
0x30	0xcc	0xdd	0x31	0xee	VH2	VL2	IH2	IL2

Dado6	Dado7	Checagem de erro	
TH	TL	crcH	crcL

3.6.3 Tempos de Operação da Comunicação

Apresenta-se a seguir a lógica de tempos para a comunicação e troca de dados entre os elementos microcontrolados do protótipo desenvolvido.

No primeiro gráfico mostrado na figura 36 que trata do momento de partida de operação do protótipo, quando a IHM inicia o processo para execução de um ensaio, o tempo de pedido de execução pela IHM e de leitura do mestre é de 2,0 ms. Após o recebimento do quadro de pedido o mestre processa esta informação por no máximo 100 μ s e após este, emite a resposta de entendido com duração de 1,7 ms. O mestre então informa ao escravo 1 do teste a realizar e para isto usa do processo 990 μ s. O

escravo 1, ao receber as informações também dispõe de 100 μ s para validar e tratar as operações solicitadas.

Enquanto o escravo 1 computa o quadro recebido, o mestre informa ao escravo 2 qual teste será realizado no período máximo de 838 μ s. O escravo 2 recebe o quadro e valida o mesmo no tempo máximo de 100 μ s após o qual, envia a solicitação via rede de RF ao escravo 3 (UR). O escravo 3 recebe a solicitação num tempo de 4,85 ms e dispõe de 100 μ s para tratamento dos dados recebidos respondendo ao escravo 2 no tempo também de 4,85 ms. Neste ponto de operação, entende-se que todos os microcontroladores estão cientes do ensaio que será realizado, com os relés e escalas necessárias setadas. O tempo total previsto para o ciclo é de 17,756 ms.

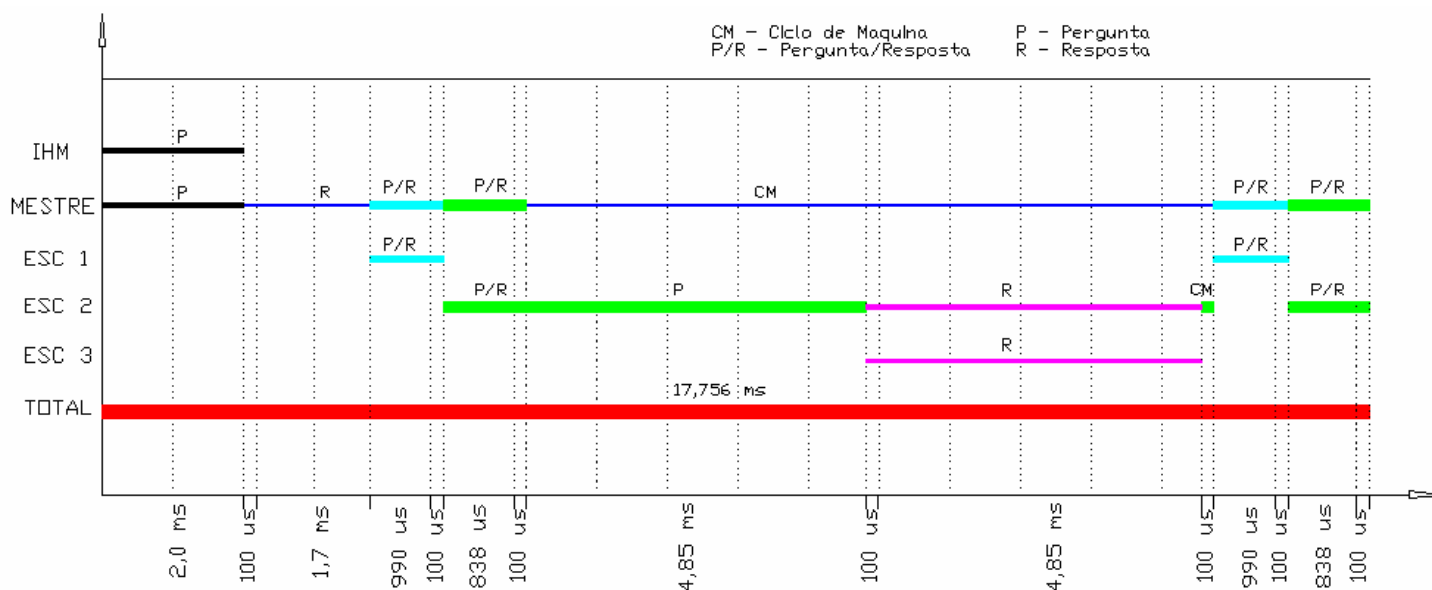


Figura 36 - Gráfico dos tempos para setar um ensaio

Se o mestre não recebeu as informações de confirmação de teste setado do escravo 1 e do escravo 2 o ciclo se repete durante três vezes. Após esta seqüência, não havendo confirmação, o sistema indica que houve erro na preparação do ensaio.

Estando todos os elementos setados, e esta informação está no conhecimento do mestre, então o processo desloca-se para o segundo gráfico mostrado na figura 37 que trata dos ciclos da realização do ensaio.

Inicialmente, para conferência das informações e checagem geral e acionamento de contadoras e do motor de passos, o mestre dispõe do tempo de 2,0 ms. Transcorrido este tempo pergunta ao escravo 1 os valores das variáveis no tempo de 990 μ s, valida e computa os dados recebidos no máximo em 100 μ s.

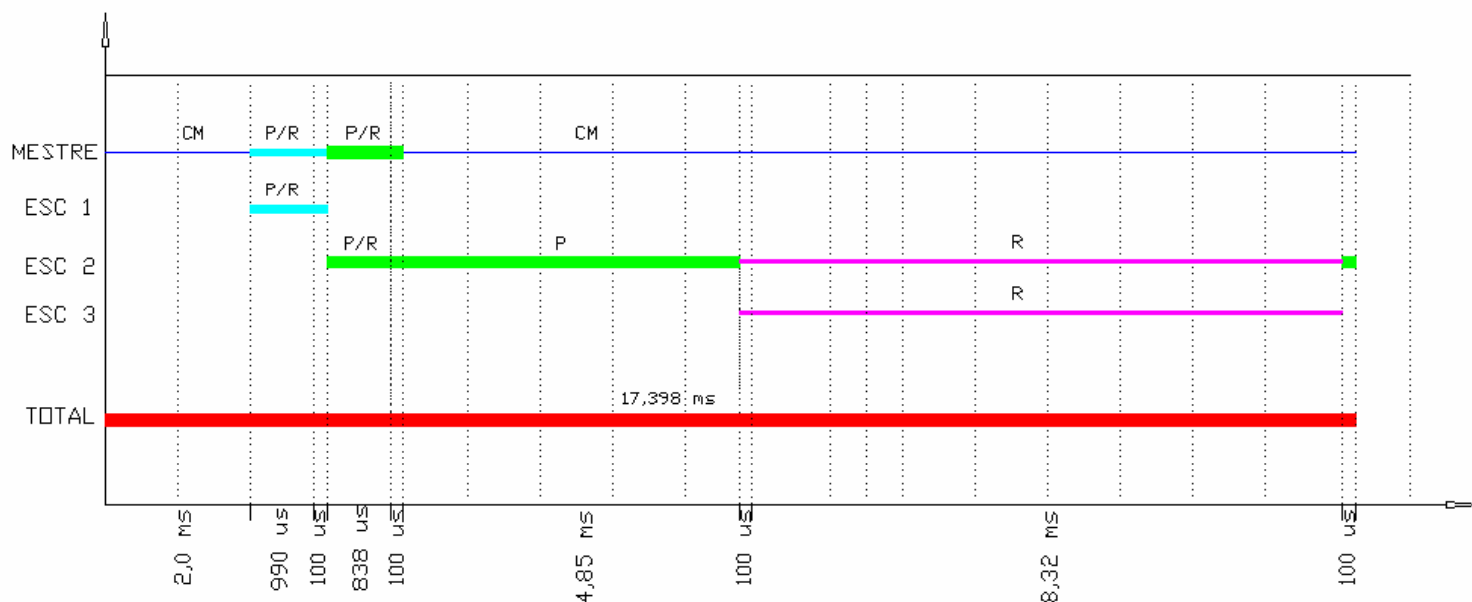


Figura 37 - Gráfico dos tempos para realizar um ensaio

Sequencialmente, pergunta ao escravo 2 quais os valores vindos do escravo 3 (UR) no tempo de 838 ms e da mesma forma, valida e computa os dados em 100 μ s. Depois deste tempo, entra em um ciclo de máquina onde são realizados os cálculos para controle do motor de passos.

Enquanto o mestre está em seu ciclo, o escravo 2 pergunta ao escravo 3 o valor das variáveis lidas utilizando 4,85 ms neste processo. O escravo 3 (UR) depois de

receber a pergunta faz a validação no tempo de 100 μ s e após, transcorrido este tempo responde ao escravo 2 utilizando para isto 8,32 ms. Os dados recebidos pelo escravo2, são validados e ficam a disposição do mestre.

O ciclo de operação de realização do ensaio tem duração de 17,398 ms possibilitando praticamente termos as informações das variáveis dentro de um ciclo do sinal de 16,66 ms (60 Hz) da rede de alimentação.

4. A REALIZAÇÃO DOS TESTES.

4.1 INTRODUÇÃO

Para validar a operacionalidade da metodologia e do hardware proposto nesta dissertação, realizaram-se uma série de testes. Nestes ensaios procurou-se atender obrigatoriamente as exigências previstas na NBR5410. As amplitudes das tensões e correntes aplicadas e, principalmente, a forma de onda senoidal ou contínua que exige a norma, puderam ser atendidas graças aos dispositivos disponíveis no circuito.

Os ensaios foram todos aplicados a sistemas monofásicos, ainda que a norma seja válida para todos os sistemas: monofásicos, bifásicos e trifásicos. Esta limitação de ensaios em um sistema monofásico em nada impede que sejam aplicados os mesmos ensaios separadamente, nos condutores de cada fase e o neutro de qualquer tipo de instalação elétrica.

Salienta-se ainda que implementou-se apenas uma unidade remota, com o objetivo de demonstrar o uso do sistema e obviamente reduzir os custos.

A realização de um ensaio inicia com a conexão dos condutores fase, neutro e terra nos bornes das unidades fixa e remota, seguido da opção do tipo de teste a realizar na tela principal de IHM. Feita a escolha, a IHM informa ao mestre qual ensaio será realizado através do quadro de dados já descrito no item 3.2 recebendo deste um entendimento. O mestre, informa ao escravo 1 e escravo 2 qual teste e qual sub teste deve proceder, e aguarda a confirmação de que o teste foi preparado. O escravo 2 informa a unidade remota, escravo 3, do procedimento a realizar.

O escravo 1 liga os relés necessários para execução e coloca em sua memória interna o valor hexadecimal 0x50 informando ao mestre que esta pronto.

O escravo 2 que já informou o escravo3, aguarda que o mesmo acione os relés necessários e informe que também está pronto. Isto é feito também da mesma forma com a atribuição de valor hexadecimal 0x50. Estas informações são repassadas ao mestre.

Tendo a informação de que os escravos estão prontos, o mestre aciona a contatora de saída do ensaio escolhido e movimenta o motor de passos com o autotransformador variável acoplado até uma tensão inicial mínima que seja detectada pelos sensores de tensão e corrente. A partir deste ponto, o mestre aumenta ou diminui a tensão em função do teste programado e do comportamento da carga.

Apresentam-se a seguir, os métodos utilizados para realização dos testes.

4.2 TESTE DE CONTINUIDADE

Neste ensaio, utiliza-se um procedimento simples para determinar a continuidade dos condutores. Baseado na hipótese de que se um par de condutores que sai de um distribuidor geral e alimenta uma tomada, por exemplo, são contínuos, então uma tensão aplicada no ponto de partida é a mesma que deve ser medida no ponto de chegada. Um diagrama da execução é mostrado na figura 38.

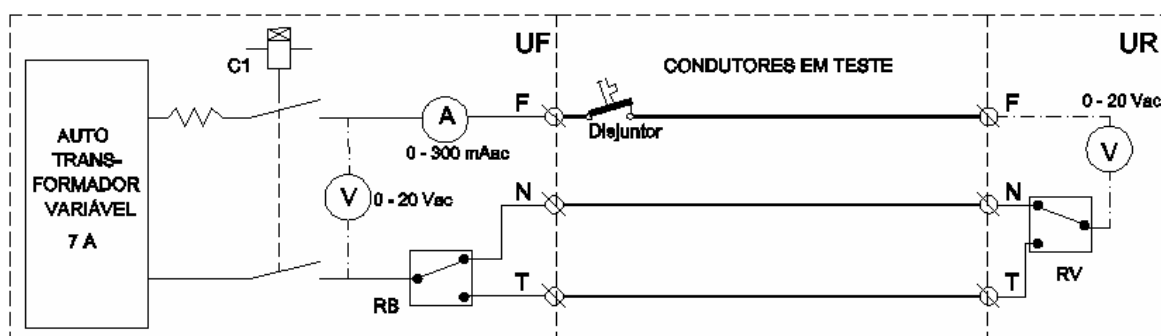


Figura 38 - Circuito prático do ensaio de continuidade

Assim, aproveitando a explanação anterior, neste ensaio, quando do teste entre fase e neutro que é um sub teste, o escravo 1 não aciona o relé RB, pois usa o contato normalmente fechado deste. Os valores máximos de corrente e tensão são programados pelo escravo 1 que permanece lendo as variáveis e aguardando o pedido dos valores lidos, incluindo temperatura e tempo quando solicitadas pelo mestre. Já o escravo 2, mantém constantemente a solicitação dos valores lidos pelo escravo 3, de maneira que os dados mais atualizados estarão disponíveis, quando forem solicitados pelo mestre.

O escravo 3 neste ensaio também não aciona relé RV. Procede apenas a leitura de tensão entre os condutores FN, disponibilizando-os para o escravo 2.

O mestre aciona a contatora C1 e gira o motor de passos, aumentando a tensão. A cada passo verifica se os valores das variáveis estão dentro da faixa de tolerância para o ensaio, já que o valor máximo a ser aplicado é de 20 Vac, a corrente deve permanecer em zero e a temperatura máxima em 30° C. Ao longo da execução, as informações são enviadas para a IHM de maneira que o operador pode verificar se o processo está sendo realizado adequadamente.

Atingindo o valor de tensão de 20 Vac, e se a corrente está dentro da previsão, o mestre aciona o motor do transformador variável para diminuir rapidamente a tensão e nesta fase os valores não são enviados para a IHM, pois a mesma já possui o valor máximo lido armazenado.

Num segundo estágio, o mestre envia para os escravos informação de sub teste a realizar entre fase e terra. O escravo 1 aciona então o relé RB e o escravo 3 aciona o relé RV para comutar a leitura da tensão no ponto de teste. A partir de então o procedimento de operação do sistema se repete (como no teste entre fase e neutro) e os dados são analisados no software da IHM para definir a continuidade ou não dos condutores.

Se a tensão de 20 Vac aplicada for medida com uma variação máxima de 2% na unidade remota e não houve corrente, os condutores tem continuidade.

Na conclusão do ensaio o mestre informa aos escravos a conclusão do mesmo, e estes desligam os relés em geral e por último o mestre desliga a contatora C1.

Na tela da IHM, tem-se o resultado de continuidade ou não dos condutores testados, transferindo-se também estas informações para a tela do relatório geral.

4.3 TESTE DE DISPOSITIVOS

O teste de dispositivos é dividido em dois sub testes: de curto-circuito e de capacidade térmica. Para realização dos ensaios, considera-se o condutor neutro e o de proteção aterrados na entrada da alimentação e separados ao longo da instalação: sistema TN-S [2.2.1.1].

Realizando-se então o ensaio entre fase e neutro, seria praticamente realizar o mesmo entre fase-terra. O circuito prático está mostrado na figura 39.

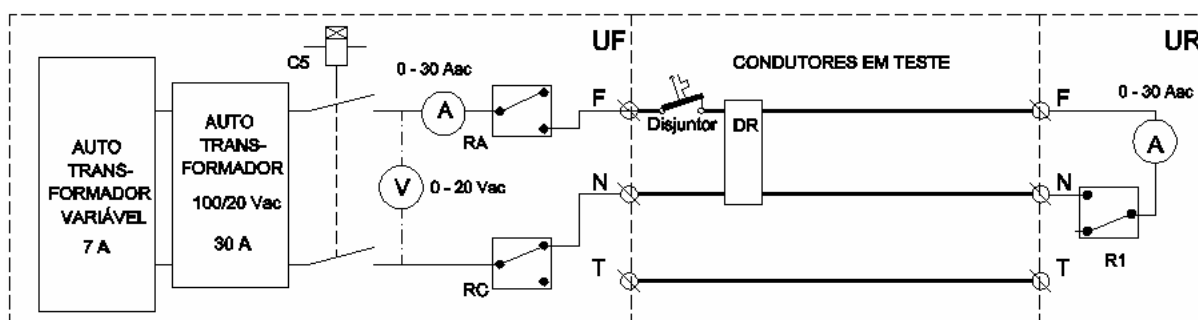


Figura 39 - Circuito prático do teste de dispositivos

O ensaio de curto-circuito tem a finalidade de detectar a abertura do disjuntor de proteção, considerando-se o tempo e a corrente. Assim é possível verificar se seu dimensionamento está correto em função do local de instalação dos condutores, do diâmetro dos mesmos e da temperatura de operação.

Objetiva-se realizar o ensaio de curto circuito da maneira mais controlada possível, de forma a trabalhar com segurança e colher os dados do ponto de desligamento. Para isto provoca-se um curto circuito na unidade remota e aplica-se tensão na unidade fixa, de forma controlada, porém rápida, tendo como parâmetro de segurança a corrente máxima limitada em 30 Aac. Esta é a corrente recomendada para temperaturas até 35° C. O curto circuito permanece até o momento de desligamento do disjuntor por acionamento do seu sensor magnético.

Então, depois de receber a informação para realizar o teste de dispositivos e sub teste curto-circuito da IHM, o mestre comunica-se com os escravos e espera informações de que eles estão prontos para o ensaio. Neste período, o escravo 1 aciona o relé RA no módulo de força e o escravo 3 aciona o relé R1 de maneira a fechar o circuito entre os condutores fase e neutro.

Por último o mestre aciona a contatora C5, e movimenta o motor de passos aumentando a tensão aplicada aos condutores em teste. Continuamente, solicita ao escravo 1 os valores de tensão, corrente, tempo de teste e temperaturas e ao escravo 2 o valor de corrente enviado pelo escravo 3. Após análise dos valores, envia-os para a IHM. Este processo se repete até o momento de abertura do disjuntor. Neste instante a corrente é zero e o motor de passos é regredido até o ponto inicial e a contatora C5 é aberta.

Os dados do ensaio estão armazenados na IHM e no relatório final.

Para o ensaio de capacidade térmica, o objetivo é causar o desligamento da proteção pelo sensor térmico. Para tal, rearma-se o dispositivo de proteção do circuito e usa-se a mesma configuração do ensaio anterior. O limite de corrente definido é função direta do diâmetro dos condutores em teste. No caso testaram-se condutores de 1,5 mm², com capacidade de até 15 A.

Da mesma forma, depois de definido o teste e sub teste na IHM, o mestre executa o mesmo procedimento em relação aos escravos que acionam os mesmos relés do ensaio anterior. Após ligar a contatora C5, o mestre aumenta a tensão devagar e monitora as variáveis continuamente, principalmente a corrente e a temperatura. Quando a corrente atinge o valor limite mas o aquecimento dos condutores não é suficiente para desligamento da proteção, o mestre procura manter a corrente constante, usando um algoritmo de aproximações sucessivas até o desligamento. As informações de tempo de abertura, temperatura, tensão e corrente são enviadas para a IHM. A seguir o motor de passos é levado a condição inicial, os escravos informados de fim de ensaio para desligar os relés e a contatora C5 é aberta.

4.4 TESTE DE IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO

Para determinar a impedância do circuito usou-se o método da fonte independente. Aplica-se uma tensão conhecida nos condutores em teste, quando eles estão em curto-circuito e mede-se a corrente. É sabido que a impedância pode ser decomposta de uma parte real e outra imaginária $Z=R+jX$. No entanto, considerando-se que os elementos testados são apenas condutores e que para realização do ensaio utiliza-se a frequência da rede (60 Hz), desconsidera-se o defasamento entre tensão e corrente. Desta maneira o resultado apresentado é o módulo de Z . A medida representa, pois uma aproximação aceitável do valor real. Para um cálculo mais exato seria necessário medir o defasamento entre a tensão e corrente nos condutores testados, porém para tanto seria necessário modificar o processo de aquisição de dados que se utiliza no sistema implementado.

O circuito prático que usou-se para realização dos testes é o da figura 40.

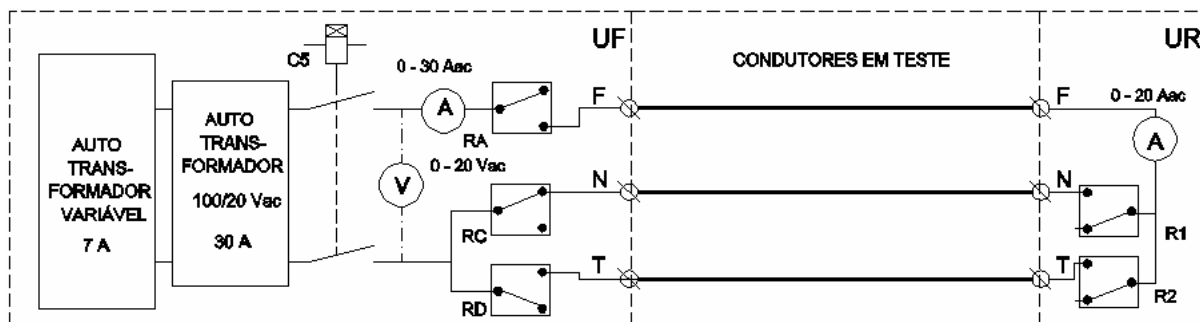


Figura 40 - Circuito prático do ensaio de impedância do circuito

O procedimento de ensaio é iniciado com a opção de tipo de teste na IHM, que depois de entendido pelo mestre, informa o escravo 1 que proceda o acionamento do relé RA para fazer as medidas entre fase e neutro. O escravo 3, quando recebe a ordem do teste e sub teste, via escravo 2, aciona o relé R1, seta as escalas e começa a fazer as medições disponibilizando os valores quando solicitados.

O mestre aciona a contatora C5 e movimenta lentamente o motor de passos, aumentando a tensão até o valor máximo de 20 Vac. A corrente e a temperatura são monitoradas para não ultrapassar a capacidade dos condutores e enviadas a IHM para monitoramento do operador. Quando o valor máximo é atingido as variáveis tensão, corrente, temperaturas e tempo de teste são armazenadas na IHM para o relatório. O mestre retrocede o motor de passos e solicita ao escravo1 o acionamento do relé RC e RD. Ao escravo 3 solicita-se o desligamento do relé R1 e acionamento de R2 para fazer as medições entre fase e terra. O ciclo anterior se repete e depois que o motor de passos retornou, os escravos são informados do final do ensaio, a contatora C5 é aberta.

4.5 TESTE DE DISPOSITIVOS DR

Para o teste de dispositivos de corrente residual, o objetivo é acionar o elemento de proteção dentro da faixa de corrente residual de operação do mesmo. Na

implementação do circuito prático, mostrado na figura 41, o dispositivo em teste é de 30 mA, a faixa mais comumente utilizada dentro das instalações elétricas prediais

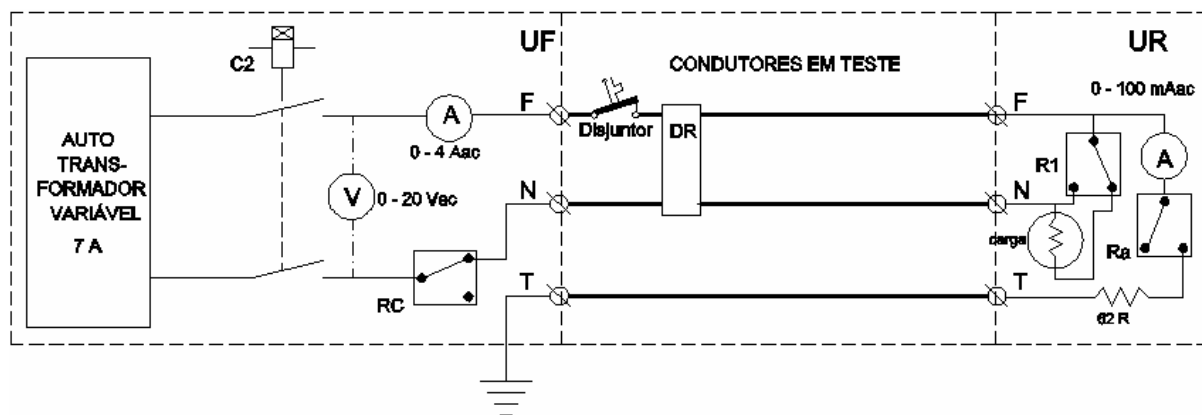


Figura 41 - Circuito prático do ensaio de dispositivos DR

Da mesma forma que nos outros ensaios, o início depende da solicitação da IHM que informa ao mestre a realização do mesmo. O escravo 1 é avisado para o ajuste de escalas. O escravo 3 recebe a ordem de ensaio a realizar e mantém o relé R1 desligado. Este relé coloca uma carga resistiva no circuito composta por uma pequena lâmpada incandescente. Aciona também o relé Ra, colocando um resistor de fuga para terra de maneira a provocar um desbalanço da corrente no circuito.

Ao receber dos escravos a informação de pronto, o mestre liga a contatora C2 e aumenta a tensão aplicada com monitoramento via escravo 1. A tensão máxima para o ensaio é de 20 Vac e a corrente máxima de 4 A. Estas variáveis, junto com a temperatura são registradas pelo escravo 1. A corrente de desbalanço é monitorada pelo escravo 3 e quando estiver com valor na faixa do dispositivo de 30 mA, computa o tempo de abertura deste. Com a ausência de corrente pela abertura do circuito, o mestre abre a contatora C2, retrocede o motor de passos e envia a IHM os dados coletados para serem mostrados ao operador e constarem no relatório.

4.6 TESTE DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

Neste ensaio, pretende-se determinar a resistência de aterramento do condutor de proteção da instalação. Para tal aplicou-se o método Volt Ampère (Visacro Filho,2005) que é caracterizado pelo uso de uma fonte independente de tensão tornando-se possível a medição da corrente injetada no solo. Através da lei de Ohm, determina-se a resistência.

Primeiramente conecta-se o ponto de aterramento a ser medido no borne fase (F). Utilizam-se também dois eletrodos auxiliares, um móvel (1) e outro fixo (2). O eletrodo 2 é conectado ao borne neutro (N), e o eletrodo 1 é conectado à terra (T). Colocam-se os eletrodos auxiliares enterrados no solo, espaçados e em linha reta, tendo como ponto inicial o aterramento em teste e por ponto final o eletrodo fixo (2), de maneira que o eletrodo móvel (1) se posicione no centro, distante no mínimo 6 metros do ponto a medir. Procede-se uma medida da corrente injetada e da tensão entre o ponto a medir e o eletrodo 1 móvel. Em um segundo momento, desloca-se o eletrodo 1 em direção ao ponto de medição até uma distância de 3 metros do mesmo e procede-se outra medida. Finalmente, desloca-se o eletrodo móvel na direção do eletrodo fixo, também até uma distância de 3 metros deste e faz-se a última medida.

Com os valores calculam-se as resistências entre o ponto de teste e o eletrodo móvel em cada uma das situações. Utiliza-se para registro a média aritmética das medidas. O circuito prático e uma visão da posição dos eletrodos, está na figura 42.

A unidade remota não é usada neste teste, e o escravo 2 também não participa. O mestre após receber a solicitação de execução da primeira medida vinda da IHM, informa o escravo 1 para que o mesmo configure as escalas necessárias. Após a informação do escravo 1 de que está pronto, a contatora C2 é acionada e a tensão do sistema é aumentada com a movimentação do motor de passos até o limite de 20 Vac. A

corrente é adquirida e as informações de tempo de teste, temperatura e tensão são enviadas a IHM.

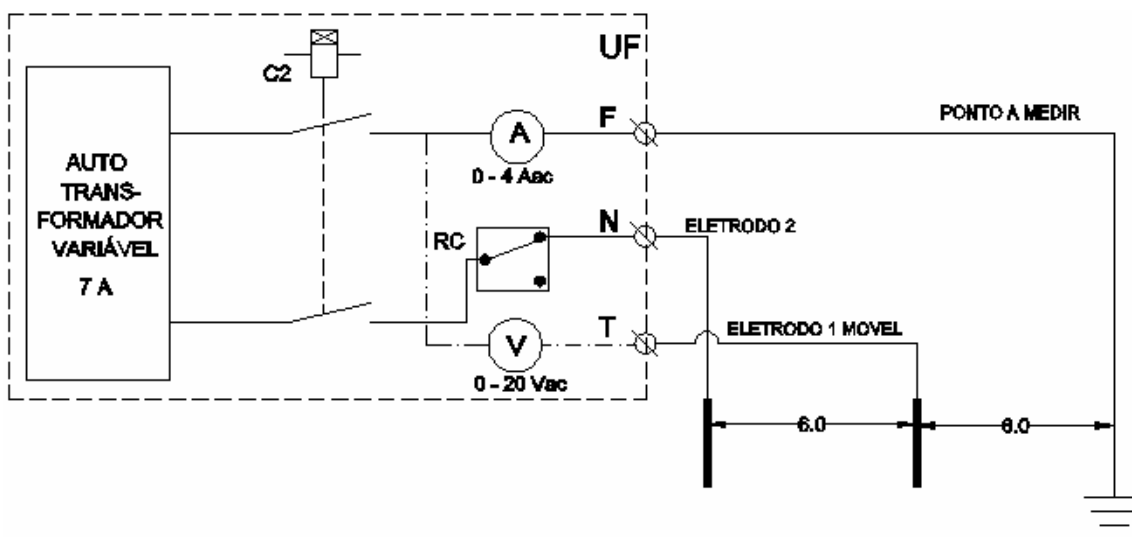


Figura 42 - Circuito prático de ensaio de resistência do aterramento

O mestre aguarda a informação de que a medida já foi efetuada, esperando a conclusão definitiva do teste. A cada medida realizada, retrocede o motor de passos e espera o pedido da próxima medida, executando o processo da mesma forma. O cálculo definitivo é realizado na IHM, o resultado é mostrado ao operador e gravado no relatório.

4.7 TESTE DE TENSÃO APLICADA

O ensaio de tensão aplicada tem por objetivo verificar se os condutores em teste possuem falhas na isolação que possam com o tempo de uso causar curto-circuito ou choque elétrico nas pessoas usuárias da instalação. A metodologia usada prevista na norma é a aplicação de uma tensão elevada por um período de 1 minuto em circuito aberto e verificar se houve faiscamento ou queda de tensão com surgimento de corrente de fuga.

A NBR 5410, em seu capítulo 7 tabela 61, fornece referências de valores que devem ser aplicadas em função da tensão eficaz de trabalho da instalação em teste.

Para validar a aplicação do instrumento, optou-se por realizar o ensaio considerando a tensão de distribuição pelas concessionárias de energias de 127 V entre fase e neutro. Pela tabela, na tensão de até 133 Vac, deve-se aplicar uma tensão de 1000 Vac. O circuito prático do ensaio é mostrado na figura 43.

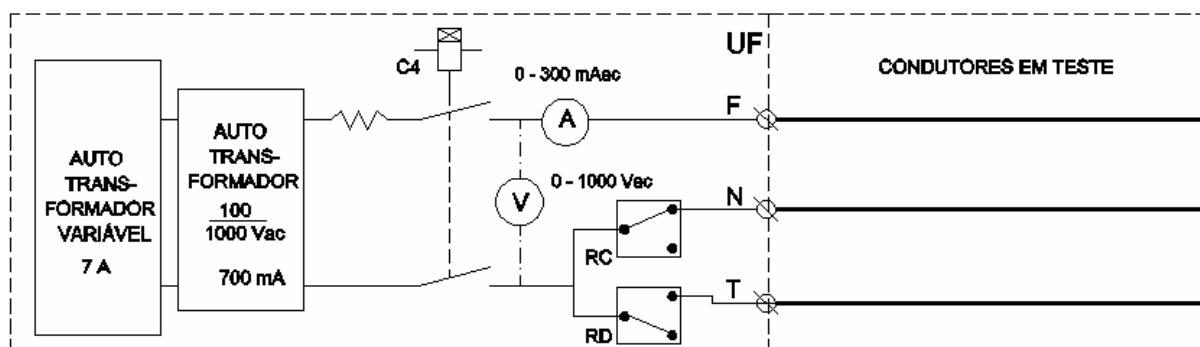


Figura 43 - Circuito prático do ensaio de tensão aplicada

O mestre, depois de receber a solicitação da IHM, informa o escravo 1 que habilita os relés para medida de corrente e seta a escala de tensão. Após aviso de pronto do escravo 1, o mestre executa o ensaio entre fase e neutro e para isto aciona a contatora C4 aumentado rapidamente via motor de passos a tensão até o limite de 1000 Vac. Habilita então um contador de tempo onde permanece durante 1 minuto. Durante este tempo, monitora via escravo 1 algum aumento da corrente nos condutores. Passado o tempo, o mestre armazena os resultados, retrocede o motor de passos e ordena ao escravo 1 que acione os relés RC e RD para ensaiar os condutores fase e terra. Executa novamente o ciclo já descrito que quando concluído, informa os valores para a IHM disponibilizar na tela do operador e no relatório. Por último informa ao escravo 1 a conclusão e abre a contatora C3.

4.8 TESTE DE ISOLAMENTO DOS CONDUTORES

Neste último ensaio a realizar, pretendeu-se quantificar a resistência de isolação dos condutores do circuito em teste. O procedimento utilizado é o mesmo empregado em qualquer “Megger” que é o equipamento utilizado para este fim. A NBR5410 também no capítulo 7, tabela 60, define os valores de tensão que deve ser aplicada para se testar o isolamento básico e suplementar em função da tensão nominal de trabalho da instalação ensaiada.

No caso, trabalhou-se com tensão até 500 V_{ac} e assim conforme a Norma. Nestas condições a resistência tem que ser maior ou igual a 0,5 MΩ. Determina também a Norma que o ensaio deve ser realizado entre os condutores fase e neutro e fase e terra.

O circuito prático implementado para o teste é mostrado na figura 44.

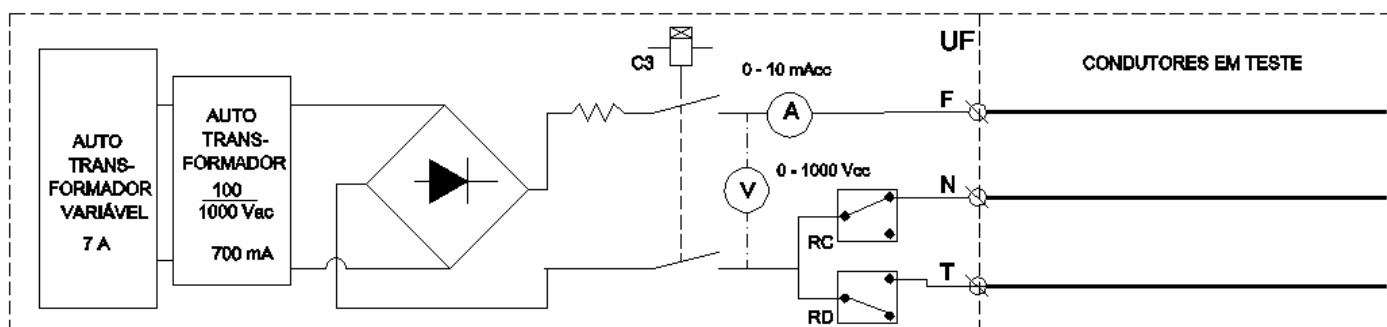


Figura 44 - Circuito prático do ensaio de isolação

Como nos outros ensaios, a realização tem que ser solicitada pela IHM na tela específica para este teste. O mestre após receber o pedido, informa o escravo 1 para ajustar as escalas e realizar o teste nos condutores fase e neutro. Neste ensaio a unidade remota, escravo 3 e o escravo 2 não participam.

Recebendo a liberação do escravo 1, o mestre aciona a contatora C2, e paulatinamente, com as informações das medidas do escravo 1, vai aumentando a tensão até o limite de 500 V_{cc}. Os valores de tensão, corrente e temperaturas, são

continuamente enviados para a IHM. Quando chega ao limite de 500 Vcc, o mestre aguarda 500 ms para estabilização do sistema e adquire os valores finais das variáveis. Retrocede então o motor de passos e solicita ao escravo 1 que acione os relés RC e RD para então, da mesma maneira descrita acima, computar os valores finais entre o condutor fase e terra.

A IHM, recebendo os dados dos dois ensaios, calcula a resistência de isolamento final para cada teste e apresenta na tela para o operador e coloca no relatório final.

Os ensaios descritos representam a proposta que se fez neste trabalho para atender as exigências da NBR 5410. Os resultados dos diversos testes realizados são mostrados a seguir.

5. RESULTADO DOS TESTES REALIZADOS.

5.1 INTRODUÇÃO

Antes de qualquer teste operacional procurou-se fazer uma avaliação das incertezas envolvidas na comunicação de dados utilizada no sistema. Praticamente estudou-se o desempenho dos protocolos na aplicação, conforme se descreve no item 5.2. Seguem-se, nos tópicos subseqüentes, os resultados dos testes efetuados para que se observe a funcionalidade do sistema desenvolvido, conforme as indicações da Norma.

Para esta série de testes, implementou-se um circuito elétrico em laboratório. Este circuito está composto por 03 condutores de 1,5 mm², com comprimento de 10 m, colocados dentro de um eletroduto de PVC com diâmetro 15 mm. O objetivo foi o de simular as condições reais para realização dos ensaios. Os valores das variáveis medidas são mostradas sob forma de tabelas para futura análise.

5.2 INCERTEZA NAS REDES DE COMUNICAÇÕES

As redes I2C, RF com protocolo modbus e serial RS232 pela sua importância e característica de operação devem apresentar a menor taxa de erro possível na transmissão.

Para avaliar a I2C, implementou-se uma rotina em software, onde o mestre, envia um quadro de dados fictício para o escravo 1. Este faz uma conferência de todos os bytes envolvidos e reenvia o mesmo ao mestre que vai computando se os valores recebidos estão certos ou errados, comparando-os com o quadro enviado previamente. Para a rede de RF, o mesmo procedimento foi implementado porém o gerador dos quadros é o escravo 2 comunicando com o escravo 3. Na rede serial 232 a IHM é quem gera os quadros comunicando com o mestre.

Foram enviados 100 quadros fictícios espaçados de 50 ms por diversas vezes para, com uma média aritmética, determinar o erro médio. Mostra-se na tabela 5 os valores obtidos:

Tabela 5 Resultado dos testes nas redes de comunicações

	REDES		
	RS232	MODBUS (RF)	I2C
Nº de Quadros Enviados	800	800	800
Nº de Quadros com Erros	4	37	22

5.3 RESULTADO DO ENSAIO DE CONTINUIDADE DOS CONDUTORES

Na execução do ensaio diversas medidas foram realizadas. Com os condutores fase, neutro e terra conectados de um lado na unidade fixa e de outro na unidade remota iniciou-se o ensaio, testando primeiro a continuidade entre fase e neutro e após o teste entre fase e terra. A tabela 6 abaixo mostra a média dos valores medidos para a opção testada.

Tabela 6 Resultado dos teste de continuidade 1ª opção

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão Na UF(V)	Tensão na UR(V)	Tensão Ref. (V)	Tempo Ensaio(ms)	T (°C)		Resultado
					A	E	
F – N	19,89	19,87	20,0	600	26	26	Aprovado
F – T	19,99	20,0	20,0	610	26	26	Aprovado

Em um segundo procedimento simulou-se a descontinuidade dos condutores com o condutor neutro aberto e depois com o condutor terra também aberto. A média dos valores medidos estão na tabela 7.

Tabela 7 Resultado dos teste de continuidade 2ª opção

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão Na UF(V)	Tensão na UR(V)	Tensão Ref. (V)	Tempo Ensaio(ms)	T (°C)		Resultado
					A	E	
F – N	19,96	0,5	20,0	608	26	26	Reprovado
F – T	19,95	0,1	20,0	600	26	26	Reprovado

5.4 RESULTADO DO ENSAIO DE DISPOSITIVOS

No planejamento inicial do sistema ora apresentado objetivou-se, além do exigido pela norma, possibilitar o ensaio da grande maioria dos dispositivos de uma instalação elétrica predial. Normalmente estes elementos são os disjuntores, os condutores, os interruptores, as tomadas e por último os soquetes das lâmpadas incandescentes ou fluorescentes compactas. Ao longo do desenvolvimento concentrou-se o estudo nos elementos de proteção, ou seja os disjuntores, e os dispositivos de corrente residual, que são os principais dispositivos de uso obrigatório na NBR5410. Na verdade, implicitamente testando os disjuntores, ensaiaram-se também os interruptores e tomadas quanto a capacidade de corrente de sobrecarga ou aquecimento por mal contato. Uma análise mais criteriosa com resultados mais confiáveis e práticos depende de ensaios mais específicos com aplicabilidade da normalização para cada um dos dispositivos citados.

5.4.1 Resultado do Teste de Atuação Térmica

Foram realizados numerosos ensaios do sensor térmico, aplicando a metodologia descrita no capítulo anterior. Para tal, usou-se um disjuntor monofásico, corrente nominal 6,0 A, tensão de trabalho 220 Vac, capacidade de ruptura de 6 KA, curva de disparo tipo B, fabricação da GE Sistemas Industriais. Os resultados conseguidos estão na tabela 8:

Tabela 8 Resultado do teste de dispositivos atuação térmica

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(V)	Corrente UF(A)	Corrente UR (A)	Tensão Ref. (V)	Corrente Ref.(A)	Tempo de Abertura(ms)	T (°C)	
							Ab	EI
F – N	4,40	18,30	18,20	4,52	18,50	2300	26	35

5.4.2 Resultado do Ensaio de Curto-Circuito

Na realização do ensaio, observou-se a influência direta da temperatura no tempo de abertura do disjuntor. Como os testes são aplicados no circuito com carga e depois em curto-

circuito, no mesmo disjuntor de 6 A usado no ensaio térmico, os cuidados relativo ao tempo de esfriamento do elemento térmico e conexões internas foram obedecidos.

Aplicando a metodologia já descrita no item 4.3, executaram-se diversas medidas que são relatadas em sua média na tabela 9 abaixo.

Tabela 9 Resultado do teste de dispositivos curto-circuito

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(V)	Corrente UF(V)	Corrente UR (A)	Tensão Ref. (V)	Corrente Ref.(A)	Tempo de Abertura(ms)	T (°C)	
							A	E
F – N	5,65	23,60	19,49	5,60	23,50	1400	25	25

5.5 RESULTADO DO ENSAIO DE IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO

Aplicando o procedimento de ensaio descrito no capítulo anterior, com um numero elevado de execuções, os resultados, são uma média dos valores coletados.

Tabela 10 Resultado do teste de impedância do circuito

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(V)	Corrente UF(A)	Corrente UR (A)	Tensão Ref(V)	Corrente Ref(A)	Tempo (ms)	Z (Ω)	T(°C)	
								Ab	EI
F – N	2,41	10,10	10,40	2,46	10,40	2000	0,24	26	28
F – T	2,49	10,50	10,15	2,50	10,49	2000	0,24	26	27

5.6 RESULTADO DO ENSAIO DE DISPOSITIVOS DE CORRENTE RESIDUAL - DR

Os dispositivos DR, são equipamentos que operam por diferencial de corrente usados para proteção de pessoas contra choque elétrico até a faixa de corrente de 30 mA ou ainda para proteção de patrimônio em faixas maiores. Sua operação é bastante simples, possui internamente um núcleo toroidal com enrolamentos que possuem o mesmo número de espiras, por onde passam as correntes de sentidos contrários em relação a carga. Se houver um desbalanço nas correntes, como uma fuga para terra, por exemplo, o dispositivo desliga.

São instalados em serie com o disjuntor de proteção e seu uso é obrigatório pela NBR 5410 em todos os circuitos de tomadas e em circuitos de iluminação de áreas úmidas.

Ensaiou-se um DR de fabricação da General Eletric, corrente nominal de 25 A, faixa de atuação de 30 mA, procurando simular e medir suas condições de operação e atuação na corrente máxima na faixa de fabricação e computar qual o tempo de abertura. A tabela demonstra a média dos resultados obtidos.

Tabela 11 Resultado do teste de dispositivo DR

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(V)	Corrente UF(A)	Corrente DR(mA)	Tensão Ref(V)	Corrente Ref(A)	Tempo Abertura(ms)	T(°C)	
							Ab	El
F – N	1,82	4,52	28,8	1,85	4,2	*	27	27

5.7 RESULTADO DO ENSAIO DA RESISTÊNCIA DE ATERRAMENTO

Para realização deste ensaio, dentro da maior prática possível, a dificuldade foi encontrar um lugar propício já que dentro da cidade com asfalto e calçadas não se tem um lugar com as distâncias previstas no método. A melhor situação conseguida, foi com uma distância entre a haste em teste e o eletrodo de referência de 9 metros, estando o eletrodo de ensaio móvel distante de 4,5 m entre eles.

Dentro destas condições no período em que realizaram-se os ensaios, os resultados eram variáveis conforme a umidade do solo. Nos dias de sol e calor, obteve-se uma medida de valores bem maiores dos que nos dias após chuvas. Para análise, a tabela 12 mostra a média dos valores apresentados.

Tabela 12 Resultado do teste de aterramento

Tempo	Tensão Ele(V)	Corrente UF(mA)	Tensão Ref(V)	Corrente Ref(mA)	Tempo (ms)	R (Ω)	Terrômetro (Ω)
Seco	3,76	4,5	1,80	4,18	60000	8,35	9,36
Úmido	0,82	3,2	0,80	2,99	60000	2,56	Ñmedido

5.8 RESULTADO DO ENSAIO DE TENSÃO APLICADA

Na realização do ensaio, aplicou-se tensão pelo período de 1 minuto, dentro da faixa prevista na norma, obedecendo a tensão de operação do circuito em teste e a média dos resultados estão descritos na tabela.

Tabela 13 Resultado do teste de tensão aplicada 1ª opção

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(V)	Corrente UF(mA)	Tensão Ref(V)	Corrente Ref(mA)	Tempo (ms)	Resultado	T(°C)	
							Ab	El
F – N	1000	0,00	998	0,00	1000	Sem Faísca	26	26
F – T	1000	0,00	1001	0,00	1000	Sem Faísca	26	26

Fazendo uma análise mais criteriosa do protótipo desenvolvido simularam-se fugas através de piques na isolação do condutor fase. Nestas condições os resultados obtidos estão na tabela 14 abaixo.

Tabela 14 Resultado do teste de tensão aplicada 2ª opção

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(V)	Corrente UF(mA)	Tensão Ref(V)	Corrente Ref(mA)	Tempo (ms)	Resultado	T(°C)	
							Ab	El
F – N	1000	110	1001	80	1000	Com Faísca	25	26
F – T	1000	190	1000	150	1000	Com Faísca	25	26

5.9 RESULTADO DO ENSAIO DE ISOLAÇÃO DOS CONDUTORES

No ensaio de isolação, aplicou-se tensão continua nos condutores, considerando os valores definidos na tabela constante da NBR 5410, conforme a tensão de operação da instalação.

Inicialmente, os condutores testados foram a fase e o neutro e após os condutores fase e terra na tensão de 500 Vcc sendo que a média dos valores medidos estão mostrados abaixo:

Tabela 15 Resultado do teste de isolação dos condutores

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(Vcc)	Corrente UF(mA)	Tensão Ref(Vcc)	Corrente Ref(mA)	Tempo (ms)	Resultado MΩ	T(°C)	
							Ab	El
F – N	500	> 300	500	0,1	600	> 1,5	29	29
F – T	500	> 300	500	0,13	610	> 1,5	29	29

6. ANALISE DE RESULTADOS, CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1 INTRODUÇÃO

Neste capítulo apresenta-se uma análise dos resultados obtidos com o sistema desenvolvido, tomando como referência equipamentos convencionais, osciloscópio e multímetro disponíveis em laboratório, conforme a seguir listados.

- Osciloscópio digital de tempo real modelo TDS200, fabricado pela Tektronics.

- Multímetro digital modelo ET 2042 fabricação da Minipa usado nas escalas:

Tensão AC 0 -20 V, 0 – 200 V, 0 – 700 V, precisão de 0,8%.

Tensão CC 0 – 200 mV, 0 – 2 V, 0 – 200 V, 0 – 1000 V, precisão de 0,5%.

Corrente AC 0 – 20 mA, 0 – 200 mA, 0 – 20 A, precisão de 1,5%.

Corrente CC 0 – 20 mA, 0 – 200 mA, 0 – 20 A, precisão de 0,8%.

Temperatura 0 - 200°C, precisão de 0,5%.

- Multímetro digital modelo ET 2055 fabricação da Minipa, usado nas escalas:

Tensão AC 0 – 400 mV, 0 – 200 V, precisão de 0,5%.

Tensão CC 0 – 200 mV, 0 – 2 V, 0 – 1000 V, precisão 0,5%.

Corrente AC 0 – 20 mA, 0 – 200 mA, 0 – 10 A, precisão 1,0%

Corrente CC 0 – 20 mA, 0 – 200 mA, 0 – 10 A, precisão 0,8%

Para cada um dos ensaios apresentam-se as medições realizadas e um comentário conclusivo sobre o desempenho do equipamento construído.

No final do capítulo (item 6.10) são apresentadas sugestões para um equipamento comercial com as modificações julgadas adequadas tendo em vista o desempenho no uso do protótipo.

6.2 TESTE DE REDES

No procedimento de teste da I2C [5.2], teve-se como resultado uma média de erro na transmissão de 2,75% , que considerou-se adequada para este protótipo.

No laço da rede de RF, a média de erro de transmissão é variável em função da distância entre a unidade fixa e a unidade remota e do nível de ruído. Para a distância de 40 m a média do erro foi de 4,625%, que considera-se ainda boa para operacionalidade do instrumento.

O melhor desempenho obtido foi na rede serial RS232, que apresentou uma média de erro menor de 0,5 %, já esperada devido a conexão entre a IHM e a unidade fixa ser com um cabo de 1,5 m de comprimento.

Os resultados apresentados, não interferiram na execução dos ensaios e assim, entende-se que o funcionamento das redes, foi totalmente satisfatório. Isto ocorre porque o sistema é capaz de recuperar informações repetindo a transmissão dos dados onde os erros foram detectados. O que cai com o aumento da taxa de erros é o desempenho do sistema como um todo, mas ainda assim os dados adquiridos são confiáveis.

Ilustra-se na figura 45 uma amostra dos quadros transmitidos na I2C e na saída serial do receptor de radio frequência, visualizados na tela do Osciloscópio.

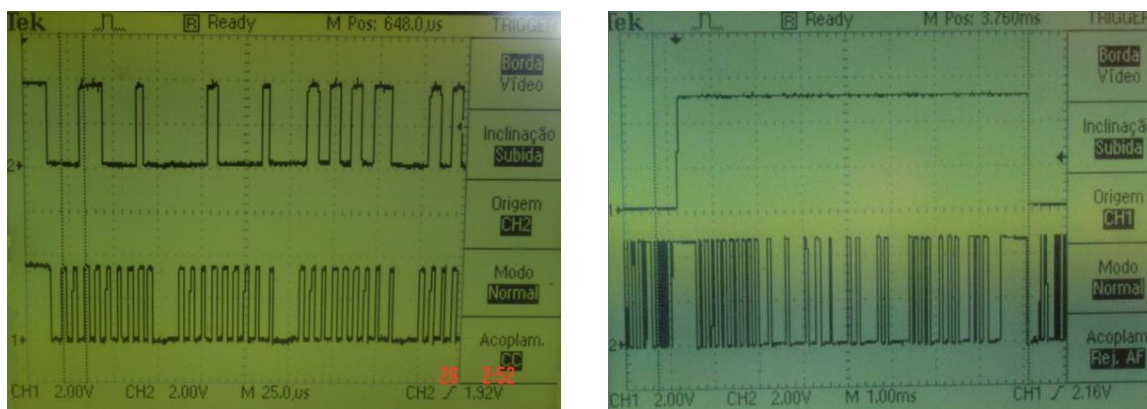


Figura 45 - Sinais na rede I2C e na rede de RF

6.3 TESTE DE CONTINUIDADE

Na comparação e análise dos valores de condutores contínuos, com relação à tensão na unidade fixa e o instrumentos de referência tem-se como média de erro 0,26 %. Em uma segunda análise nos valores das medidas no caso de condutores descontínuos, o protótipo apresentou um valor residual de tensão na unidade remota que entende-se como medição de ruído. Tal medição no entanto não altera o resultado final.

É possível afirmar que a metodologia usada possui erro muito baixo e serve perfeitamente para definir a continuidade ou não dos condutores em qualquer sistema elétrico.

6.4 TESTE DE DISPOSITIVOS

Para o disjuntor, a NBR 5410 estabelece uma dependência direta do tipo de sistema de aterramento usado na instalação. No caso do circuito elétrico em tese, ensaiou-se o circuito no sistema de aterramento TN-S.

É fato que as exigências da NBR 5410 com relação a tempo de abertura para atuações de sobrecarga são bastante flexíveis e, por esta razão, consultaram-se também as normas específicas para a fabricação dos disjuntores: a NBR NM 60898 para dispositivos de uso predial e NBR IEC 60947-2 para uso industrial. Estas possuem parâmetros bem mais restritivos que a NBR 5410.

Já para o sensor magnético, a NBR 5410 possui parâmetros bem mais exigentes que as outras normas citadas.

Com o resultado dos ensaios, verificou-se a atuação dos disjuntores dentro da abrangência das duas normas para instalações elétricas prediais citadas.

6.4.1 Teste do Elemento Térmico

Como nos valores medidos do ensaio do sensor térmico, tem-se como média do tempo de abertura o valor de 2300 ms para uma corrente de 18,3 A. A tensão aplicada ao circuito foi de 4,40 Vac (para os terminais colocados em curto circuito) e a temperatura de 35 °C. A análise foi conduzida comparando com as normas.

Em relação a sobrecarga, a NBR 5410 define de maneira bem abrangente e geral que a corrente nominal do disjuntor ou de ajuste I_n , seja igual ou superior à corrente de projeto do circuito I_b , porém inferior à capacidade de condução de corrente dos condutores do circuito I_z . Ou seja:

$$I_b < I_n < I_z \quad (24)$$

As condições de atuação do dispositivo para proteção de sobrecarga, relativamente a corrente, estão bem definidas, no entanto não existe uma relação que permita avaliar o tempo de desligamento.

Conforme a NBR 5410, dois condutores carregados, de diâmetro 1,5 mm² de cobre, com isolamento de PVC, operando na temperatura ambiente 30°C e, considerando o tipo de instalação mais comum, ou seja, dentro de um eletroduto embutido em parede de alvenaria, maneira de instalar B1, tem capacidade de condução máxima de 17,5 A. Logo o máximo disjuntor comercial de proteção possível no circuito implementado seria de 16 A.

Observa-se que é definida a capacidade máxima de condução de corrente do condutor, e não a capacidade de sobrecarga. Quanto a elevação de temperatura nos condutores, a NBR 5410 determina que para um condutor com isolamento de PVC, seção menor ou igual a 300 mm² a temperatura limite de sobrecarga é de 100° C. No entanto esta definição não nos fornece um parâmetro para análise imediata do comportamento do condutor em relação a sua seção, corrente que por ele passa e temperatura. Com o auxílio da NBR 6808 tem-se um parâmetro de referência para sobrecarga, nos tempos de 2 a 5 segundos, conforme equação:

I - Corrente de sobrecarga

S - Secção do condutor

α - Constante para cobre = 13

t - Tempo de sobrecarga

$\Delta\Phi$ - Elevação da temperatura

$$I = \frac{S \times \alpha}{\sqrt{\frac{t}{\Delta\Phi}}} \quad (25)$$

Calculando a capacidade térmica dos condutores em teste pode-se definir a corrente máxima de sobrecarga que os mesmos suportam por um tempo de 2,3 segundos.

$\Delta\Phi$ -> Elevação de temperatura dependente do tempo de sobrecarga e do tipo de condutor isolado ou não. Para o caso em análise, no tempo entre 2 e 5 segundos admite-se o valor de 145 °C para condutores isolados.

$$S = 1,5 \text{ mm}^2 \quad t = 2,3 \text{ s} \quad \alpha = 13 \quad \Delta\Phi = 145^\circ \text{ C}$$

$$I = \frac{1,5 \times 13}{\sqrt{\frac{2,3}{145}}} \quad (26)$$

$$I = 154,83 \text{ A}$$

Logo, a capacidade térmica de sobrecarga do condutor de 1,5 mm², pelo período de 2,3 segundos é de 154,83 A bem maior que a corrente de 18,3 A aplicada no ensaio.

No âmbito da NBR NM 60898, é onde existem melhores condições para se avaliar o resultado do ensaio. Os parâmetros que devem ser considerados são os mostrados na figura 46:

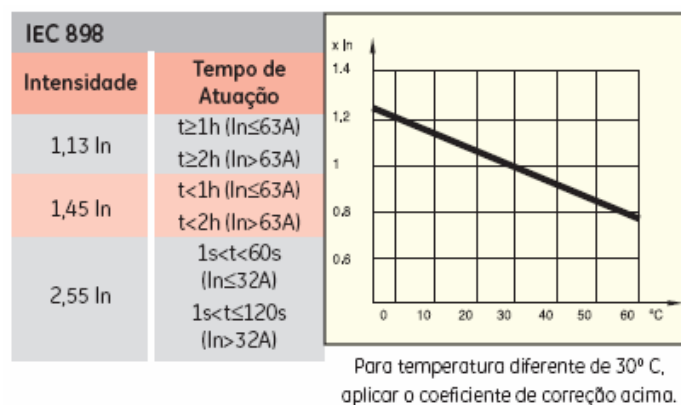


Figura 46 -Tempo de seccionamento do elemento térmico pela NBR NM 60898

Aplicando $2,55 \times I_n$ e considerando um fator de correção devido a temperatura ambiente (26° C)de 1,10 ao disjuntor em teste, obtém-se no total 16,83 A, com um tempo de abertura previsto entre 1 e 60 segundos. Teve-se então um erro de 8,73% de corrente aplicada para um tempo de 2,3 segundos a uma temperatura do condutor também média de 35° C. Como é uma variação menor que 10%, considera-se que o dispositivo atende as exigências da norma.

O erro da tensão aplicada no sistema durante o ensaio com a tensão de referência foi de 1,1 % . Considerou-se que a incerteza na corrente medida seria desprezível frente ao seu valor de referência. O último dado importante que foi detectado, é um aumento de 9° C na temperatura do condutor em relação a ambiente.

Como análise final, entende-se que, neste ensaio, o protótipo desenvolvido apresentou total condições de definir a condição técnica do dispositivo relativamente a atuação térmica.

6.4.2 Teste do Elemento Magnético

Neste ensaio, os resultados mostram que obteve-se um erro de 0,42 % na tensão aplicada pelo sistema, se comparada com os instrumentos de referência. Constatou-se também um pequeno desbalanço nas medidas de corrente realizadas na unidade fixa e na unidade

remota. A abertura do dispositivo ocorreu em média com 1400 ms a uma temperatura no eletrodo de 26 ° C.

Comparando os resultados, o tempo de seccionamento máximo do condutor principal no caso de curto circuito presumido é definido no capítulo 5 da NBR 5410 e mostradas na tabela 16 abaixo:

Tabela 16 Tempo de máximo de seccionamento sistema TN-S

U _o (V)	Tempo de seccionamento (s)	
	Situação1	Situação2
115,120,127	0,8	0,35
220	0,4	0,20
277	0,4	0,20
400	0,2	0,05
>400	0,1	0,02
U _o = tensão nominal entre fase e terra, valor eficaz em Corrente alternada		

As definições de situação 1 e 2 usadas na tabela, obedece a padronização da norma que define cada uma em função da resistência elétrica do corpo humano chamada de BB e do contato das pessoas com o potencial no local BC. Tem-se então as tabelas 17 e 18 abaixo:

Tabela 17 Resistência elétrica do corpo humano

Código	Resistência	Características	Aplicações
BB1	Alta	Condições secas	Pele humana esta seca sem umidade inclusive suor
BB2	Normal	Condições Úmidas	Umidade que possibilita a passagem de corrente de uma mão para outra ou de uma mão para um pé
BB3	Baixa	Condições Molhadas	Possibilita a passagem de corrente por todo o corpo A ponto de poder desprezar a resistência da pele

Tabela 18 Contato das pessoas com o potencial terra

Código	Classificação	Características	Aplicações
BC1	Nulos	Pessoas em locais não condutores	Pisos e paredes isolantes
BC2	Fracos	Pessoas que não estejam sobre superfícies condutoras	Pisos e paredes isolantes ou que possuem elementos condutores em pequena quantidade
BC3	Frequente	Pessoas em contato com elemento condutivo ou postadas a estes	Pisos e paredes condutivos ou que possuem elementos condutivos em quantidade
BC4	Contínuo	Pessoas em contato permanente a elementos condutivos e com possibilidade pequena de interromper este contato	Locais com piso e paredes metálicos que tenha possibilidade de contato involuntário com estes

Para caracterizar-se situação 1 é necessário atender as solicitações BB1, BB2, BC1, BC2, BC3.

Para caracterizar-se situação 2 é necessário atender as solicitações BB3 e BC4.

Considerado a situação 1 expressa na tabela 16, na tensão da instalação em 127 V, o tempo de seccionamento é de 800 ms.

Para o perfeito enquadramento na norma, o dispositivo deve ter capacidade de interrupção no mínimo igual a corrente de curto-circuito presumida no ponto da instalação e, a integral de Joule deste, também deve ser menor ou igual a integral de Joule para aquecer o condutor, desde a temperatura de trabalho contínuo até a temperatura limite de curto-circuito.

A integral de Joule é calculada pela expressão:

I - Corrente de curto-circuito presumida

S - Seção do condutor

k - Constante de material e isolamento

$$\int_0^t I^2 dt \leq k^2 \cdot S^2 \quad (27)$$

Em curto circuito com correntes simétricas ou com pouca assimetria para intervalos de tempo em 0,1 a 5 segundos pode-se considerar:

$$I^2 \cdot t \leq k^2 \cdot S^2 \quad (28)$$

Para o circuito em teste pode-se calcular a integral de Joule do condutor, considerando $k=115$, pois é fio de cobre com isolamento em PVC.

$$I = \frac{k \cdot S}{\sqrt{t}} \quad I = \frac{115 \times 1,5}{\sqrt{0,8}} \quad I = 192,86 \text{ A} \quad (29)$$

Logo, o dispositivo deve abrir o condutor principal com a corrente menor do que 192,86 A em um tempo máximo de 800 ms.

Comparando com os resultados do ensaio, é possível constatar que o protótipo, em função das correntes máximas que pode fornecer na implementação adotada, não alcança a corrente necessária para diagnosticar a abertura do dispositivo dentro dos parâmetros da NBR 5410.

Pela norma de fabricação de disjuntores, NBR IEC 60898 os parâmetros de seccionamento estão mostrados na figura 47.

Curva	Valor de Atuação	Tempo de Diparo	Aplicação
B	entre 3 e 5 I_n	3 $I_n t \geq 0,1s$ 5 $I_n t < 0,1s$	Cargas resistivas, como: <ul style="list-style-type: none"> • Aquecedores, Chuveiros elétricos • Fornos elétricos • Iluminação incandescente
C	entre 5 e 10 I_n	5 $I_n t \geq 0,1s$ 10 $I_n t < 0,1s$	<ul style="list-style-type: none"> • Cargas indutivas ou com corrente de partida elevada • Iluminação fluorescente • Pequenos motores

Figura 47 - Tempo de seccionamento do elemento magnético pela NBR NM 60898

Relacionando com a tabela, na curva B e a corrente de 23,6 A, ou seja, 3,9 I_n aplicada no ensaio tem-se um tempo máximo de abertura do condutor principal maior que 100 ms, ou

seja 1400 ms, que atende as prescrições da norma. Para este dispositivo em teste não foi possível aplicar $5xI_n$, pois o desligamento se dava antes.

Referindo-se aos valores medidos, obteve-se, em relação ao instrumento de referência, erros na tensão de 0,89 % e na corrente de 0,24%.

Como conclusão final, apesar de o dispositivo ter sua abertura fora das especificações da NBR 5410, entende-se que um estudo mais detalhado na curva de atuação magnética do disjuntor poderia definir o enquadramento.

Salienta-se entretanto que o objetivo do ensaio não é o mapeamento dos pontos de operação do disjuntor e sim verificar sua operacionalidade. Por esta ótica, o protótipo apresentado atende plenamente aos objetivos.

6.5 TESTE DE IMPEDÂNCIA DO CIRCUITO

Procedendo uma verificação que permita comparar os dados medidos, consultaram-se as características construtivas constantes nas tabelas dos fabricantes onde para o condutor 1,5 mm² onde $R=12,1 \Omega/\text{Km}$. Para circuitos com condutores não muito longos (menores do que 100 m), excitados com correntes de baixa frequência (60 Hz) pode-se desprezar a indutância associada no cálculo da impedância. No circuito em ensaio tem-se 19,5 metros e assim $|Z| = 0,0121 \times 19,5 \text{ m} = 0,235 \Omega$.

Conclui-se então que as medidas realizadas, praticamente não apresentam erro em relação a especificação dos condutores. Com o valor obtido é possível verificar o dimensionamento da proteção para contatos diretos e indiretos no caso de uma falta, considerando a tensão presumida de contato.

Em seu capítulo 7 , a NBR 5410 determina $Z=U_c/I_t$ onde U_c é a tensão presumida de contato e I_t é a corrente de curto-circuito de abertura dentro do tempo de 800 ms. Para a tensão presumida tem-se a Tabela 19 abaixo:

Tabela 19 Valores máximos da tensão de contato limite (UL)

Natureza da Corrente	Situação 1	Situação 2
Alternada 15 Hz – 1000 Hz	50 V	25 V
Continua sem Ondulação	120 V	60 V

Para o circuito em teste, supondo uma corrente de curto-circuito máxima

$I_t = 190 \text{ A}$ tem-se:

$$Z = 0.242 \Omega$$

$$I_t = 190 \text{ A}$$

$$U_c = Z \times I_t \quad (30)$$

$$U_c = 45,98 \text{ V}$$

Como $U_c < U_L$ a proteção e o cálculo da impedância do circuito estão enquadrados na normalização. Entende-se que o protótipo atende perfeitamente as solicitações para chegar ao resultado apresentado.

6.6 TESTE DE DR

Em todos os ensaios o dispositivo abriu o circuito em correntes menores de 30 mA. O erro na tensão e na corrente aplicadas foram de 1,64 % em um e 7,62 % em outro, relacionando com o instrumento de referência. Para a corrente de atuação, teve-se um erro de 4,2 % considerando-se a faixa de atuação do DR ensaiado.

Para comparação necessária do tempo de abertura, não foi possível determinar o valor com alguma precisão, pois a metodologia de ensaio considera a atuação do dispositivo com 30 mA, o que não ocorreu, porque antes disso o dispositivo já atuava. Alterando-se a corrente de atuação do protótipo para 28 mA, conseguiu-se uma média de tempo de abertura de 300 ms.

Conclui-se que o ensaio permite testar o dispositivo com total segurança e garantir que o mesmo atende a normalização.

6.7 TESTE DE ATERRAMENTO

Na análise do resultado apresentado, feita para dias secos, obteve-se um erro em relação ao instrumento de referência na tensão de 2,5 % e na corrente de 7,0 %.

Com propósito de validação do valor de resistência medida, realizou-se a medição nas mesmas condições do ensaio com um terrômetro comercial, de fabricação da Minipa modelo MR 1520D, escalas 20/200/2000 Ω , precisão +/- 1%.

Nesta comparação, a incerteza apresentada em relação ao instrumento comercial foi de 12,09 %.

Conclui-se que apesar de não ter sido realizado dentro das distâncias previstas no método volt-ampere descrito na revisão apresentada no capítulo 2, o resultado é satisfatório se comparado ao terrômetro de referência e permite medir a resistência de aterramento da instalação. Como parâmetro para tal afirmação, referencia-se o regulamento de instalações consumidoras de baixa tensão das concessionárias de energia do estado do Rio Grande do Sul que exigem uma resistência de terra menor de que 25 Ω em qualquer época do ano.

6.8 TESTE TENSÃO APLICADA

Neste ensaio, a determinação da norma está na Tabela 20.

Tabela 20 Tensões de Ensaio Previstas na NBR 5410

U (1) V eficaz	Isolação Básica	Isolação Suplementar	Isolação Reforçada
50	500	500	750
133	1000	1000	1750
230	1500	1500	2750
400	2000	2000	3750
690	2750	2750	4500
1000	3500	3500	5500
(1) Tensão entre fase e neutro em esquemas TT e TN Tensão entre fases em esquemas IT			

Na opção 1 do ensaio realizado sem faiscamento entre fase e neutro o erro de 2,0 % verificado, representa a relação entre o valor de tensão medido no sistema relacionado com a medida realizada pelo instrumento de referência.

O resultado da opção 2 do ensaio, permite fazer uma comparação mais apurada do protótipo. Na medida de tensão a incerteza é de 1,0 %, mas na medidas de corrente o erro entre os condutores fase e neutro foi de 37,5 % e entre fase e terra de 26,66 %. Estas diferenças são explicadas pela escala do sensor de corrente. Os resultados indicam que as leituras tem uma grande parcela de ruído.

Pode-se concluir pelos dados apresentados, que o método de teste atende plenamente os objetivos desejados, permitindo através da leitura da corrente mesmo com incerteza, definir se existe fuga nos condutores ou não.

6.9 TESTE DE ISOLAÇÃO

Com a realização do ensaio, atendendo aos parâmetros da tabela 21, observa-se que não foi possível fazer a medida da isolação do condutor. Tal ocorre porque a maior corrente que pode circular pelo circuito sob teste é de 1 mA, valor difícil de ler com o sensor utilizado no sistema implementado.

Tabela 21 Tabela de tensões a aplicar no ensaio de isolamento

Tensão Nominal do Circuito V	Tensão Ensaio (V em corrente Contínua)	Resistência Isolamento MΩ
SELV e extra-baixa tensão funcional quando o circuito for alimentado por transformador de segurança(5.1.2.5.3.2) e atender aos requisitos de (5.1.2.5.4)	250	≥ 0,25
Até 500 V inclusive, com exceção do caso acima	500	≥ 0,50
Acima de 500 V	1000	≥ 1,0

No sensor Hall, tem-se uma relação de 1,0 mA na saída para cada 1,0 A na entrada. Se tivermos 1,0 mA na entrada, na saída teremos 1,0 uA que, por superposição do ruído existente é de difícil leitura. Mesmo com o artifício de amplificação da corrente de entrada, utilizando-se 100 espiras de fio enroladas no primário, teríamos 100,0 mA na entrada e 100 uA na saída.

Não houve erro mensurável entre a tensão da unidade fixa e a tensão do instrumento de referência.

Na tentativa de solução, deslocou-se o sensor Hall para o primário do transformador elevador de tensão, procurando com o uso da relação de transformação aumentar a corrente de leitura no primário do sensor. Os dados obtidos são mostrados na tabela:

Tabela 22 Tabela de tensões com sensor Hall no primário do transformador

Condutor 1,5(mm ²)	Tensão UF(Vcc)	Corrente UF(mA)	Tensão Ref(Vcc)	Corrente Ref(mA)	Tempo (ms)	Resultado MΩ	Erro (%)
F – N	502	300	501	302	660	1,67	0,002
F – T	500	308	499	305	615	1,62	0,002

É possível concluir que o instrumento não foi capaz de determinar a resistência de isolamento dos condutores, pois a relação do sensor de corrente não permite um valor confiável de medida, apesar de a tensão aplicada possuir um erro muito pequeno relacionado ao instrumento de referência.

6.10 SUGESTÕES PARA UM EQUIPAMENTO COMERCIAL

Para a montagem do protótipo desenvolvido nesta pesquisa, alguns materiais foram adquiridos, outros usados em outras aplicações foram reaproveitados. Com o objetivo de estabelecer um parâmetro de custo na fabricação de um novo protótipo chega-se a um valor estimado de R\$ 3.038,00 distribuídos da seguinte forma:

01 auto-transformador variável	R\$ 300,00
01 auto-transformador elevador	R\$ 250,00
01 auto-transformador rebaixador	R\$ 350,00
01 motor de passos(usado)	R\$ 40,00

01 contactoras 32 A	R\$ 358,00
05 contactoras 9 A	R\$ 350,00
02 sensores de corrente Hall	R\$ 130,00
02 Tranceptores rádio	R\$ 650,00
04 micro controladores	R\$ 160,00
Demais componentes eletrônicos	R\$ 200,00
Placas, bornes, fios	R\$ 250,00
 Total	 R\$ 3.038,00

Obviamente um custo bem elevado que deve ser avaliado e relacionado ao desenvolvimento do software de teste e ao acondicionamento do sistema em uma caixa, adequando-o operacionalmente ao uso comercial.

É possível comparar este custos com outros instrumentos para uso de certificação de sistemas. Tomando-se como exemplo, o custo do equipamento comercial para certificação de cabeamento estruturado categoria 5 está hoje sendo ofertado num valor aproximado de R\$ 25.000,00. Pode-se também comparar com o valor de um osciloscópio digital que, considerando uma faixa de frequência não muito elevada, fica em torno de R\$ 4.500,00.

Deduz-se destas comparações que o custo benefício do protótipo, considerando-se os materiais empregados, é bem baixo, podendo tornar-se viável a sua utilização comercial.

Durante esta pesquisa, várias foram as dificuldades encontradas. Tendo-se agora validado a idéia deste tipo de equipamento, há algumas sugestões de melhoria e modificações para torná-lo comercial. A seguir apresentamos rapidamente algumas:

- Modificação do autotransformador rebaixador para trabalhar com correntes de até 300 A, o que permitiria ensaiar a grande maioria dos sistemas que possuem dispositivos de proteção até 60 A,

- Colocação de um sensor de corrente que permitisse a aquisição de valores na faixa de micro e mili ampéres,

- Reformulação das placas eletrônicas, unificando-as com a finalidade de reduzir ruídos principalmente na rede I2C,

- Colocação de mais conversores A/D, mesmo que ampliando o número de microcontroladores, com a retirada de todos os relés de comutação de escalas.
- Substituição das contactoras eletromecânicas por contactoras de estado sólido,
- Troca dos relés de comutação por dispositivos de estado sólido,
- Troca do autotransformador com saída de 1000 V para 2500 V, para testar instalações elétricas em 220 V,
- Modificação no software da IHM, com o objetivo de tornar o processo de ensaio sistematizado, onde o operador atuaria apenas na definição do circuito em teste e na religação dos dispositivos ensaiados, além de proceder a troca de posição dos eletrodos no ensaio de aterramento.

6.11 CONCLUSÃO

Com esta pesquisa, testada e validada, espera-se ter contribuído para a melhoria da qualidade das instalações e para a valorização de todos os profissionais que trabalham neste ramo da engenharia. Seguramente a implantação da certificação permitirá um aumento enorme na confiabilidade e segurança de todos os sistemas elétricos em baixa tensão.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-10520**: informação e documentação - apresentação de citações em documentos. Rio de Janeiro, 2002a, 4 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-14724**: informação e documentação - trabalhos acadêmicos - apresentação. Rio de Janeiro, 2002b. 6 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6023**: informação e documentação - referências - elaboração. Rio de Janeiro, 2002c. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6024**: numeração progressiva das seções de um documento - procedimento. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5410**: instalações elétricas em baixa tensão . Rio de Janeiro, 2005. 128p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13570**: instalações elétricas em locais de afluência de público . Rio de Janeiro, 2005. 125p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5418**: instalações elétricas em atmosfera explosiva . Rio de Janeiro, 2005. 128p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-13534**: instalações elétricas em estabelecimento assistências de saúde. Rio de Janeiro, 2005. 78p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-6808**: conjunto de manobra e controle de baixa tensão. Rio de Janeiro, 1981. 74p
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM 60898**: disjuntores para proteção de sobrecorrentes para instalações domésticas e similares, 2004. 116p.
- AURÉLIO, J. ; LEON, M. **Sistemas de Aterramento**. 4. ed. São Paulo: Erico do Brasil Comércio e Industria Ltda.,1982. 206 p.
- ANALOG DEVICE. **Ask The Application**. USA: Analog Device Inc., 1997,AE33.,5p
- BOSSI, A ; SESTO, E . **Instalações Elétricas**. 6. ed. São Paulo: Hemus Livraria , 1977. 1071 p. p. 128-296
- BOWLING, S. ; FISCHER, R. **An I2C Network Protocol for Environmental Monitoring**. USA: Microchip Technology Inc., 2002.,AN736., 97p.
- BOWLING, S. **Using the PICmicro SSP for Slave I2C Communication**. USA: Microchip Technology Inc., 2002.,AN734., 15p.

CREDER, H. **Instalações Elétricas**. 14. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora. 2000. 479 p. p. 71-287. ISBN 85-216-1232-X

CADIAN **Intellicad Professional Plus**, version 01-09-2004: software for CAD: Cadian Global Limited., 2006. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

CUSTOM CCOMPUTER SERVICE INC. **CCS: PCWH Compiler**: version IDE 3.43, C compiler for PIC16/18. Custom Computer Services Inc., 2003, Conjunto de programas. 1 Disquete.

GENERAL ELÉTRIC INDUSTRIAL. **Mini Disjuntores IEC**. Edição 02.10042006: São Paulo. MKTG/KE., 2006.

GENERAL ELÉTRIC INDUSTRIAL. **Proteção Diferencial**. Edição 01.10042006 - São Paulo: MKTG/KE., 2006.

HELFRICK, A. D. ; COOPER, W.D. **Modern Eletronic Instrumentation and Measurement Techniques**. New Jersey: Prentice Hall Inc., 1990, 446p. p.1-184. ISBN 0-13-593385-4

HOUDER, A. ; LOPEZ, A. ; SPENCER, M., **Precision Current Measurement**. USA: Worcester Polytechnic Institute, JKM-4A00, 2001, 74p.

INPRISE Corp. **Borland 6 C++ Builder**: enterprise suite, version 6, Inprise Corporation., server pack1 build 2600, 2000. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

MICROCHIP. **I2C Master Mode**: overview and use of the PICMicro MSSP I2C interface with a 24xx01x EEPROM. version 0.40. USA., 2001. 88p. Apresentação PowerPoint.

MATHWORKS **Matlab for Windows**, version 5.3: tutorial of optimization toolbox, version 2.3. [S. 1.]: MathWorks Inc., 1999. Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

MICROCHIP. **PIC16F8XX Data Sheet**. USA: Microchip Technology Inc., 2003., DS39582B, 234p

MODICON INC. **Modicon Modbus Protocol Reference Guide**, revision J. USA: PI-MBUS-300, 1996, 121p.

MICROCHIP. **MPLAB IDE**: version 7.42: MPLAB Development Software: Microchip Technology Inc., 2006, Conjunto de programas. 1 CD-ROM.

NISKIER, J.; MACINTYRE, A. J. **Instalações Elétricas**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC Livros Técnicos e Científicos Editora. 2000. 550 p. p.63-306 ISBN 85-216-1250-8

PEREIRA, F. **Microcontroladores PIC**: programação em C. São Paulo: Érica. 2003, 356p. ISBN 85-7194-935-2

SIEMENS A.G. **Instrumentação Industrial**. São Paulo: Siemens S.A., 1976 (Tradução Germano Steppat, revisão técnica Geraldo Kempenich, Walfredo Schmidt), reimpressão 1979/1986. 346p.

TODD, C. P. **Snubber Circuit**: theory, design and application. USA: Texas Instruments Inc., 2001, 18p.

VISACRO FILHO, S, **Aterramentos Elétricos**. São Paulo: Artliber Editora Ltda. 2005. 159 p. ISBN 85-88098-12-1

ANEXO: A

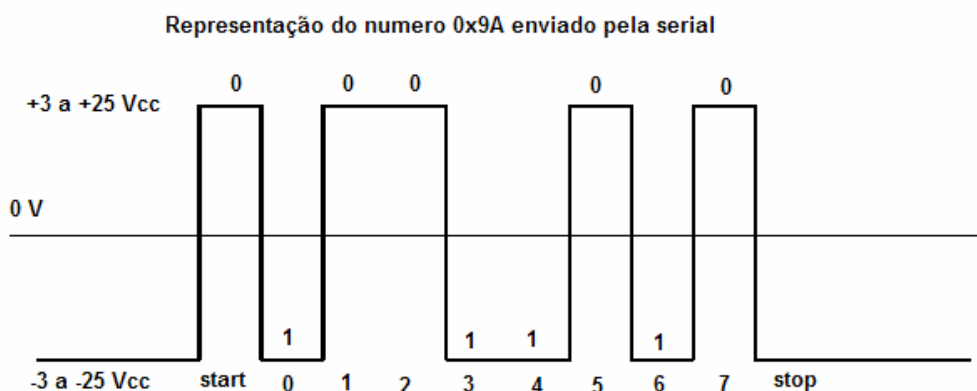
Síntese dos protocolos EIA RS 232, Modbus, I2C

ANEXO A: SÍNTESE DOS PROTOCOLOS EIA RS 232, MODBUS, I2C

EIA RS 232

Desenvolvida pela EIA (Electronic Industries Association), o padrão RS232 permite a comunicação serial assíncrona entre dois dispositivos, normalmente um chamado de DTE e outro de DCE que são interligados através de um cabo com conectores do tipo DB9 ou DB25. O cabo em questão pode conter 9 fios, no caso foram utilizados somente 3 fios. Um para os sinal transmissão (TX), outro para os sinal de recepção (RX) e um terceiro como referência de tensão zero (GND). Os níveis de sinais elétricos e as tensões envolvidas são de lógica reversa onde o zero do sistema digital é representado pela tensão entre +3 e +25 Vcc e o um pela tensão entre -3 e -25 Vcc.

Sendo um processo em que os bits são enviados um após o outro, é necessário informar o dispositivo receptor, o inicio e o termino do byte transmitido. Para tanto foram previstos dois bits de referência, um chamado de bit de partida (start) que é a transição do nível lógico um para zero, indicando que iniciou o envio dos bits do byte e outro chamado de bit de parada (stop) indicando o termino do envio. Para cada byte dentro da comunicação que se pretende, o processo descrito deve ser repetido e uma visão é mostrada a abaixo.



Dados na RS 232

Além dos sinais elétricos envolvidos, é necessário a definição da velocidade de tráfego destes dados na via de comunicação. Esta é definida pela EIA RS232 e pode variar de taxas que vão de 300 bits por segundo (bps) a 115000 bps. Como exemplo, uma taxa de transmissão de 9600 bps representa que um bit tem duração de $1/9600 = 104$ us no tempo. A EIA define também que o número de bits em cada byte pode variar de 7 a 10. Também o número de bits de parada (stop) pode ser 1 ou 2, e o tipo de controle de fluxo de dados podem ser nulo, por software ou por hardware. A padronização possibilita a checagem do bit de paridade que podem ser par, ímpar, ou nula. Assim se a paridade for definida como par, o byte 0x01 como exemplo teria no bit paridade o valor 1, em binário $0x01 = 00000001$ para se ter como resultado final um valor par (000000011).

As trocas de dados entre os dispositivos podem operar em modo full duplex, com os dados enviados ao mesmo tempo de um para outro, ou no modo half duplex onde um transmite e outro recebe para depois transmitir, alternando-se assim o fluxo da informação trocada.

A comunicação entre a IHM e o mestre é do tipo half duplex, usou-se a porta serial 4 do PC, com taxa de 14400 bps, 8 bits de dados, 1 bit de parada (stop), e o bit de paridade par. O controle de fluxo foi definido em nulo.

PROTOCOLO MODBUS

O protocolo Modbus é uma estrutura de comunicação desenvolvida pela Modicon em 1979, com o objetivo de estabelecer uma comunicação mestre-escravo ou cliente-servidor entre dispositivos inteligentes e hoje é de fato, um padrão verdadeiramente aberto. Com algumas alterações em relação ao apresentado pela Modicon, o protocolo Modbus se posiciona no nível 7 da camada ISO/OSI o que possibilita acesso via internet através de uma porta exclusiva usando TCP/IP. É implementado literalmente por centenas de fabricantes de

equipamentos em diversos dispositivos diferentes, devido a sua facilidade de uso, com perguntas e respostas onde as atividades são definidas por um conjunto de funções. Opera com a maioria dos sistemas e pode ser implantado usando como meios físicos o fio EIA/TIA 232E, EIA-422, EIA/TIA 485-A, a fibra ótica, a radio frequência, etc...

Ao nível dos bits, existem dois modos de transmissão serial que quando em uso, um dos dois deve ser escolhido para possibilitar o ajuste de velocidade, uso de paridade ou não, etc...

Os dois modos são: American Standard Code for Information Interchange (ASCII) e Remote Terminal Unit (RTU):

1) Modo ASCII

Quando a rede Modbus é configurada para comunicar usando o modo ASCII, cada 8 bits na mensagem é enviado com um caracteres ASCII.

O formato do byte possui a configuração:

- 1 bit start,
- 7 bits de dados,
- 1 bit even/odd para paridade, 0 bit sem paridade
- 1 bit stop se usar paridade, 2 bit stop sem paridade.

2) Modo RTU

Quando a rede Modbus é configurada para comunicar usando o modo RTU (Unidade Terminal Remota) , cada 8 bits na mensagem contem dois caracteres hexadecimal de 4 bits.

O formato do byte é configurado:

- 1 bit start,
- 8 bits de dados,
- 1 bit even/odd para paridade, 0 bit sem paridade
- 1 bit stop se usar paridade, 2 bit stop sem paridade.

Nos barramentos de níveis mais baixos, a comunicação é feita com formato mestre/escravo onde o mestre pergunta a um específico dispositivo, ou a todos, e aguarda a resposta, pois a mesma tem endereço. No sistema implementado optou-se por usar o protocolo no modo RTU, pois o tempo de comunicação é menor além de ser o mais usado comercialmente.

Como já descrito anteriormente, existe um conjunto de funções bastante completo previsto na padronização, e para efeito deste trabalho, implementou-se somente duas funções, a primeira de leitura de registradores, função 0x03 e a segunda de escrita em registradores, função 0x10.

Quanto ao erro de transmissão no modo RTU, além da checagem da paridade, existe outra checagem baseada no método cyclical redundancy check (CRC) porém não existe correção deste erro, serve somente para verificar a validade dos dados recebidos. Assim, é possível definir o quadro de dados (frame) padrão, usado na comunicação e mostra-lo na figura abaixo.

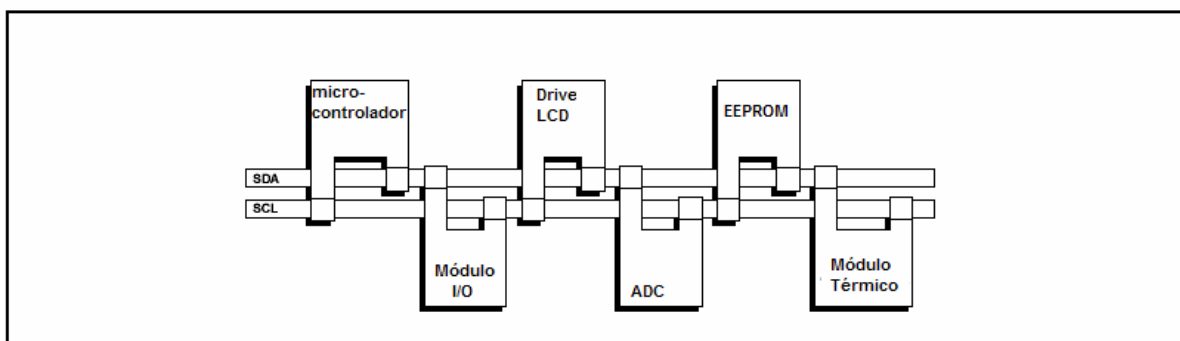
O início da transmissão pelo mestre, é reconhecido pelos componentes da rede com a transição do nível lógico um para zero por um tempo de 3,5 comprimento de carácter (1,8 ms no nosso caso) e termina também com o mesmo intervalo de tempo representados por T1-T2-T3-T4.

Start	Endereço	Função	Dados	Checagem CRC	Fim
T1-T2-T3-T4	8 bits	8 bits	n x 8 bits	16 bits	T1-T2-T3-T4

Quadro de dados no Modbus RTU

PROTOCOLO I2C

Criado pela Philips, o protocolo I2C tem como finalidade interligar equipamentos e dispositivos através de uma rede síncrona de comunicação e pode operar no modo lento (100 Kbps) ou rápido (400 Kbps). Define como meio físico de transmissão um par de fios e obedece a configuração mestre-escravo, sendo que é possível em uma rede termos mais de um mestre. Pela a sua configuração, toda a troca de dados é feita com os componentes da rede tendo um endereço onde é o mestre que gera o pulso de sincronismo (clock) injetado no condutor SCL iniciando a troca de dados no condutor SDA. Quando houver mais de um mestre na rede, existe m arbitramento de comunicação para evitar erros de colisão. Um mestre só pode transmitir se o barramento estiver livre. Os sinais elétricos envolvidos são para o nível lógico um na tensão normalmente de Vcc e 0 GND para o nível lógico zero.



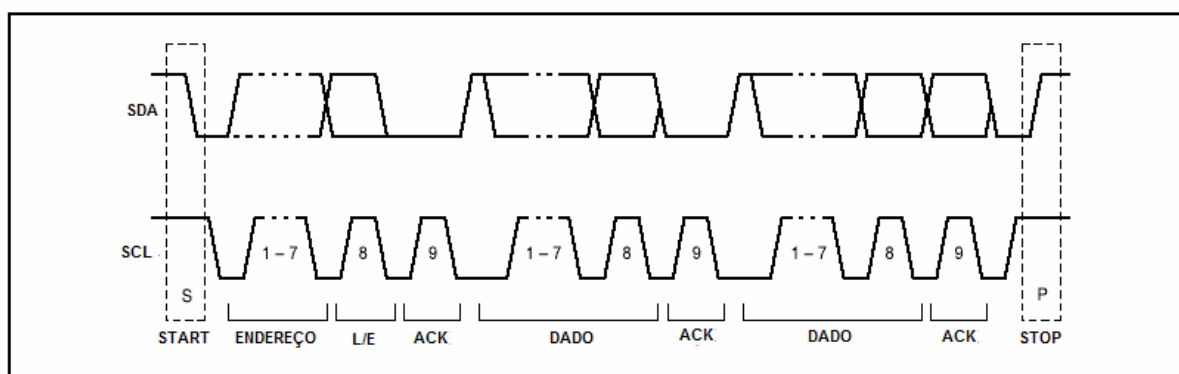
Barramento I2C

A padronização determina também como os dados são injetados pelo mestre, e considerando a configuração de um mestre apenas, o endereço dos escravos é composto por um byte de 7 bits mais um oitavo bit que determina se é uma operação de escrita ou leitura de dados. É possível ao mestre enviar uma mensagem para todos os componentes da rede com um endereço que todos entendem.

O processo de troca é iniciado com a transição do nível elétrico no condutor SDA de um para zero, no primeiro pulso do clock no nível elétrico um no condutor SCL, chamado de início (start). Após este, o endereço do escravo é injetado já com o último bit definido se é uma operação de leitura ou escrita. Os dados pretendidos são enviados a seguir bit a bit sincronizado com o clock. Para cada byte transitando existe um bit final de confirmação que verifica se o dado chegou certo (ACK) ou não (NACK). Após o envio de todos os dados o mestre libera o barramento com um sinal de fim de transmissão (stop), transição do nível lógico zero para um no condutor SDA, mantendo alto o SCL.

Desta forma o tratamento de erros é feito byte a byte através deste bit de reconhecimento de entendido ou não entendido e neste caso permite ao mestre solicitar o reenvio do dado. A figura abaixo permite uma visão melhor do exposto.

No sistema desenvolvido, que possui somente um mestre, a velocidade de transmissão é no modo rápido, e aproveitando-se o hardware interno dos microcontroladores PIC.



Quadro de Dados Completo no Barramento I2C

ANEXO: B

Componentes Gerais da UF
e da UR

ANEXO B: COMPONENTES DA UF E DA UR

MÓDULO DE FORÇA DA UNIDADE FIXA

O módulo de força da unidade fixa é composto pelos seguintes elementos:

- Autotransformador elevador 127/220 Vac potência de 200 VA, fabricado pela Waltec que tem a função de alimentar as bobinas das contactoras.
- Fonte com autotransformador rebaixador, sendo este 127/220 Vac no primário, 15+15 Vac no secundário, 45 VA, fabricado pela AR Severo. A saída da fonte simétrica em tensão contínua regulada com ripple menor que 2% em +5 , +15 , -15 Vcc e tem a função de alimentar a unidade de controle.
- Autotransformador variável 127 Vac de entrada, 0 – 100/127 Vac de saída corrente máxima de 7 A, fabricado pela Variac que tem a função de prover tensão variável para realização dos ensaios.
- Motor de passo quatro bobinas em 12 Vcc, 1,8° por passo. 0,6 A por fase fabricado pela Minebea acoplado ao autotransformador variável através de polia plástica de 45 mm de diâmetro, 72 dentes.
- Autotransformador elevador 100/1000 Vac potência de 50 VA, fabricado pela AR Severo que tem a função de prover tensão dentro de sua faixa para alguns ensaios e tensão para a fonte retificadora com saída de 1000 Vcc.
- Autotransformador rebaixador 100/20 Vac potência de 700 VA, fabricado pela AR Severo que tem a função de prover tensão dentro de sua faixa para alguns ensaios e corrente máxima de 30 A.
- Uma ponte retificadora, composta por quatro diodos SK6, tensão de 1200 V, corrente de 5 A, fabricado pela Phillips, dois capacitores de filtro ligados em serie, 620 uF tensão de isolamento 630 V.

- Um conjunto de contadoras c1, c2, c3, c4, c5 para 9 A, 2NA + 2NF com conjunto de contatos acoplados, bobina 220 Vac, fabricadas pela Siemens que tem a função de comutar os teste escolhidos.
- Uma contadora c5, para 45 A, 2NA + 2NF com conjunto de contatos acoplados, bobina 220 Vac, fabricadas pela Weg que tem a função de comutação.
- Uma base de fusível diazed, 50 A com fusível ultra rápido de 30 A, fabricado pela Weg, para proteção do autotransformador de fornecimento de corrente,.
- Um conjunto de base fusível eletrônico tipo soquete, com fusíveis de 0,1 A para proteção de c3 e c4, 0,3 A para proteção de c1 e de 4,0 A para proteção de c2. Todos de fabricação desconhecida adquirido no comércio local.
- Um conjunto de resistores com valores de $10M\Omega$ 1W, $100 K\Omega$ 1 W, 120Ω 1 W para limitação das correntes injetadas nos condutores em teste. Todos de fabricação desconhecida adquirido no comércio local.
- Um conjunto de relés Ra, Rc, Rd com contatos reversíveis, capacidade dos contatos de 30 A, bobina 12 Vcc, fabricados pela Helishun que tem a função de comutar os condutores em teste..
- Um relé Rb, com contatos reversíveis, capacidade dos contatos de 5 A, bobina 12 Vcc, fabricados pela Helishun que tem a função de comutar os condutores em teste.
- Um conjunto de contatos de força, capacidade para 30 A, fabricados pela Conexel, que servem para conexão dos condutores em teste com o sistema.
- Condutores diversos para interligação dos bornes das contadoras com capacidade mínima de corrente de 15A, $1,5 \text{ mm}^2$ e máxima de 36 A, $4,0 \text{ mm}^2$.

COMPONENTES DO MESTRE

- Um microcontrolador 16F873, fabricado pela Microchip, 7.2 K bytes de memória de programa interna tipo flash, 192 bytes de ram, 128 bytes de memória eeprom, 05 conversores A/D, hardware específico para i2c com encapsulamento P dip 28 pinos alimentação máxima de 5 Vcc.
- Um oscilador a cristal, frequência de 20 Mhz, encapsulamento Dip 8 pinos alimentação em 5 Vcc fabricado pela Sobretom,
- Quatro transistor de potência BT13B, sem dissipador encapsulamento Tip31c, fabricado pela National Componentes,
- Seis relés com contatos reversíveis capacidade para 5 A, bobina de acionamento em 12 Vcc, fabricado pela Metaltex,
- Seis transistores de comutação BC337, fabricado pela Texas Componentes,
- Um conjunto de diodos led e resistores associados de fabricação diversa,
- Um conjunto de capacitores, resistores e diodos diversos para desacoplamento e proteção contra ruídos,
- Um conector tipo plug RJ11 fema de fabricação desconhecida.

COMPONENTES DO ESCRAVO 1

- Um microcontrolador 16F877, fabricado pela Microchip, 14.3 K bytes de memória de programa interna tipo flash, 192 bytes de ram, 128 bytes de memória eeprom, 08 conversores A/D hardware específico para i2c com encapsulamento P dip 28 pinos alimentação máxima de 5 Vcc.
- Um sensor de corrente de efeito hall, corrente de entrada máxima de 0 - 50 A, relação 1 : 1000, alimentado em tensão +/- 15 Vcc erro máximo de 3% fabricado pela Secon.
- Dez relés 2 contatos reversíveis para corrente de 1,0 A, com bobina de 5 Vcc fabricado pela Songle,
- Sete transistores de comutação BC 337, fabricado pela Motorola,
- Dois amplificadores operacionais com simples alimentação LM 354, fabricado pela Texas Componentes,
- Dois sensores integrados de temperatura LM35, fabricados pela National Componentes,
- Resistores, resistores variáveis, diodos diversos de fabricação geral adquiridos no comercio local,
- Um conector tipo plug RJ11 femea de fabricação desconhecida.

COMPONENTES DO ESCRAVO 2

- Um microcontrolador 16F873, fabricado pela Microchip, 7.2 K bytes de memória de programa interna tipo flash, 192 bytes de ram, 128 bytes de memória eeprom, 05 conversores A/D hardware específico para i2c com encapsulamento P dip 28 pinos alimentação máxima de 5 Vcc.
- Um módulo de radio frequência do tipo transceptor em UHF, frequência 433,92 MHZ modelo Bmi2 fabricado pelo Radiometrix de pequena dimensão, capacidade de transmissão 64 Kbps modulação ASK.
- Um oscilador a cristal, frequência de 20 Mhz, encapsulamento Dip 8 pinos alimentação em 5 Vcc fabricado pela Sobretom.
- Uma interface de nível de tensão 5 Vcc para RS232 composta por um conector DB9 macho, de fabricação desconhecida.
- Um drive de acoplamento Max232, fabricado pela Motorola e 04 capacitores eletrolíticos 10 uF, 25 Vcc.
- Um conjunto de capacitores e resistores diversos para desacoplamento e proteção contra ruídos.

COMPONENTES DE CONTROLE DA UNIDADE REMOTA

- Um microcontrolador 16F873, fabricado pela Microchip, 7.2 K bytes de memória de programa interna tipo flash, 192 bytes de ram, 128 bytes de memória eeprom, 05 conversores A/D, hardware específico para i2c com encapsulamento P dip 28 pinos alimentação máxima de 5 Vcc.
- Um oscilador a cristal, frequência de 20 Mhz, encapsulamento Dip 8 pinos alimentação em 5 Vcc fabricado pela Sobretom,
- Um sensor de corrente de efeito hall, corrente de entrada máxima de 0 - 50 A, relação 1 : 1000, alimentado em tensão +/- 15 Vcc erro máximo de 3% fabricado pela Secol.
- Um módulo de radio frequência do tipo transceptor em UHF, frequência 433,92 MHZ modelo Bmi2 fabricado pelo Radiometrix de pequena dimensão, capacidade de transmissão 64 Kbps modulação ASK,
- Tres relés 2 contatos reversíveis para corrente de 1,0 A, com bobina de 5 Vcc fabricado pela Songle,
- Dois transistores de comutação BC 337, fabricado pela Motorola,
- Um regulador de tensão, saída 5 Vcc tipo LM7805 fabricação da National Componentes,
- Um amplificador operacional com simples alimentação LM 354, fabricado pela Texas Componentes,
- Um conjunto de resistores, diodos, diodos zener e capacitores adquiridos no comércio local,
- Um conector tipo plug RJ11 fema de fabricação desconhecida.

ANEXO: C

Listagem dos softwares em linguagem C

ANEXO C: LISTA DOS SOFTWARES EM LINGUAGEM C

MESTRE.C

```

#include <rs232.c>
#include "crc.c"
BYTE dadorex[10];
BYTE pctx[20];
BYTE pcrx[20]; // Armazena dados vindo do pc
BYTE teste, sub_teste;
int x,serial,passo;
int conta,fim, i2c_flag,ft,escravo1,escravo2,k;
long tempo,v_max,i_max, v_media,i_media,CRC;
long volt,volt2,corrente,corrente2;
int a,b,temperatura1,temperatura2;
int16 passos;
int pc;
#define FOSC (2000000L) // define external clock frequency
#define i2c_bus_rate (400000L) // define I2C bus rate
#define TRISC = 0x87
#define SSPCON2 = 0x91
#define SSPSTAT = 0x94
#define SSPADD = 0x93
#define SSPCON = 0x14

// Bits of SSPSTAT
#define SMP = 0x94.7
#define CKE = 0x94.6
#define D_A = 0x94.5
#define P = 0x94.4
#define S = 0x94.3
#define R_W = 0x94.2
#define UA = 0x94.1
#define BF = 0x94.0

// Bits of SSPCON2
#define GCEN = 0x91.7
#define ACKSTAT = 0x91.6
#define ACKDT = 0x91.5
#define ACKEN = 0x91.4
#define RCEN = 0x91.3
#define PEN = 0x91.2
#define RSEN = 0x91.1
#define SEN = 0x91.0

int_ext
serial_isr() {

```

```

int soma,dado;
dado=0;
dado=recebe();
pcrx[conta]=dado;
if(CRC == generate_16bit_crc(ptr,conta , CRC);)
{
  conta=0;
  pc = 1;
}
else conta++;

```

```

}

```

```

#int_timer0
void tempo_mili()
{
  set_timer0(10);
  tempo++;
}

```

```

//-----

```

```

void sendpc()
{
  int j;
  char mj;
  restart_wdt();
  for(j = 0; j < conta; j++){

      send(pctx[j]);}
}

```

```

//-----

```

```

void Init_Ssp( void )
{
  TRISC = 0b00011000; // ensure SDI and SDO are inputs
  SSPCON2 = 0b00000000; // ensure all state bits are reset
  SSPSTAT = 0b00000000; //
  SSPADD = (( FOSC / (4 * i2c_bus_rate) )) - 1; // initialize i2c bus rate
  SSPCON = 0b00111000; // Master I2C mode
}
void transmite(int end, int num) // transmite I2C
{
  int *ptr
  prt = dadorx;
  PEN=0;RCEN=0;ACKEN=0;SEN=0;
  i2c_start();
  i2c_write(end); //0 endereço
  i2c_write(teste);//1 teste
  i2c_write(sub_teste); //2 sub_teste
}

```

```

i2c_start();
i2c_write(end+1);
if(num==7){

dadorex[0] = i2c_read(); // setou
dadorex[1] = i2c_read(); // VH
dadorex[2] = i2c_read(); //VL
dadorex[3] = i2c_read(); //IH
dadorex[4] = i2c_read(); //IL
dadorex[5] = i2c_read(); //CRC H
dadorex[6] = i2c_read(0); //CRC L
CRC=dadorex[5]<<8;
CRC+=dadorex[6];
}
if(num==9){

dadorex[0] = i2c_read(); // setou
dadorex[1] = i2c_read(); // VH
dadorex[2] = i2c_read(); //VL
dadorex[3] = i2c_read(); //IH
dadorex[4] = i2c_read(); //IL
dadorex[5] = i2c_read(); // ambiente
dadorex[6] = i2c_read(); // eletroduto
dadorex[7] = i2c_read(); //CRC H
dadorex[8] = i2c_read(0); //CRC L
CRC=dadorex[7]<<8;
CRC+=dadorex[8];
}

i2c_stop();
i2c_flag=0;
delay_us(50);
if(CRC == generate_16bit_crc(ptr, num, CRC))
    frame_valido=1;
else frame_valido=0;

}

//-----

void ler(int bn, int dados)
{

delay_us(500);
dados--;
i2c_start();
i2c_write(bn);
i2c_write(bn);
while(x!=dados){

```

```

while(!i2c_poll());
    dadorx[x++]=i2c_read();
    }
for (x=0;x<dados;x++){
dadorx[x] = i2c_read();
    }
dadorx[dados] = i2c_read(0);
i2c_stop();
if(endereco == 0x20) escravo1=dadorx[0];

}

```

```

long converte(int alto, int baixo)
{
long flag;
flag=alto;
flag=flag<<8;
flag=flag & 0xFF00;
flag=flagbaixo;
return flag;
}

```

```

void retorna(void)
{
if( volt >= 0x22D)diminue();
}

```

//-----

```

void diverge(void)
{
    pctx[16] = tempo>>8;
    pctx[17] = tempo & 0x00FF;
}

```

//-----

```

void buffer(void)
{int x;
for(x=0; x < 9; x++)dadorx[x]=0; // zera buffer
}

```

//-----

```

void seta_teste(int endereco)
{
char i,n;
i=0;
if(endereco==0x30) n=7;

```

```

if(endereco==0x20) n=9;
volta:
transmite(endereco,n);

ler(endereco+1, n);

if(endereco == 0x30){delay_ms(350); // Espera tempo para esperar informação da UR
    //if(dadorx[0] != 0x50 && i < 4){++i; goto volta;} }
if(endereco == 0x20)escravo1=dadorx[0];
if(endereco == 0x30)escravo2=dadorx[0];

delay_ms(100);
buffer(); // zera buffer
}

//-----

void guarda_esc01(void)
{
int *ptr_pctx

ptr_pctx = pctx;
pctx[0]=0x00;
pctx[1]=0x10;
pctx[2]=0x04;
pctx[3]=0x0E;

if(teste==0x30 || teste==0x20) //teste curto circuito
{
    pctx[4]=teste;
    pctx[5]=sub_teste;
    pctx[6]=volt >> 8;    // tensão UF
    pctx[7]=volt & 0x00FF;
    pctx[8]=corrente >> 8; // corrente UF
    pctx[9]=corrente & 0x00FF;
    pctx[10]=temperatura1; // Temperatura 1 UF
    pctx[11]=temperatura2; // Temperatura 2 UF
}

if(teste != 0x01)
{
    pctx[12]=0x00; // tensao UR
    pctx[13]=0x00;
    pctx[14]=0x00; // corrente UR
    pctx[15]=0x00;
}
CRC = generate_16bit_crc(ptr_pctx, 16, CRC);
pctx[18]=CRC>>8;
pctx[19]=CRC & 0x00FF;
}

```

```

//-----
void guarda_esc02(void)
{
    if(teste ==0x30) // Curto-circuito
    {
        pctx[12]=0x00; // tensão UR
        pctx[13]=0x00;
        pctx[14]=0x00; // corrente UR
        pctx[15]=0x00;
        pctx[16] = dadorx[1];
        pctx[17] = dadorx[2];
    }
    else
    {
        pctx[12]=dadorx[1]; // tensão UR
        pctx[13]=dadorx[2];
        pctx[14]=dadorx[3]; // corrente UR
        pctx[15]=dadorx[4];
    }
}

//-----
void computa(void)
{
    int k;
    enable_interrupts(INT_EXT);
    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    for(k=0;k<16;k++) pctx[k]=0;

    guarda_esc01(); // guarda valores de v,i,t1,t2,T
    buffer(); // zera buffer

    if(teste == 0x20) guarda_esc01();

    if(teste==0x15 || teste==0x25)
    {
        guarda_esc01();
        transmite(0x30,6);
        guarda_esc02();
    }

    if(teste==7) guarda_esc02();

    if(teste != 0x30) diverge(); // Guarda valor de tempo
    tempo=0;
    sendpc();
    delay_ms(100);
    desliga();
}

```



```

        delay_ms(100);
        sub_teste = 0x25;
    delay_ms(1000);
        enable_interrupts(INT_TIMER0);
        set_timer0(10);
        goto loop9;
    }
teste=0;
transmite(0x20,8);
delay_ms(1000);
output_low(pin_c7); //desliga contactor 1
delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_EXT);
buffer(); // Zera buffer
ft=0;

}

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd

void dispositivos(void)
{
if(pcrx[5] == 0x20){ // Teste Térmico
    i_max=0x3FF;
    i_media=0x1F5;
    teste=0x20;
    seta_teste(0x30);

    disable_interrupts(INT_EXT);
    output_high(pin_c0); //liga contactor 5
    for(x=0; x < 100; x++)aumenta(); // aumenta a tensão para iniciar teste
    delay_ms(100);
    corrente2=0;
    volt2=0;

    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    set_timer0(10);
    loop2:
        corrente=corrente2;
        volt=volt2;
        transmite(0x20,8);
        corrente2 = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
        volt2 = converte(dadorx[3],dadorx[4]);
        temperatura1 = dadorx[5];
        temperatura2 = dadorx[6];
        if(corrente2 >= i_max){diminue(); goto loop2;}
        if(temperatura2>temperatura1+0x66) goto loop7;
        if(corrente2 > i_media+10){aumenta(); delay_ms(50); goto loop2;}
}
}

```

```

        loop7:
        computa(); //guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)
        disable_interrupts(INT_TIMER0);

        pcrx[5]=0;
        output_low(pin_c0); //desliga contactor 5
        delay_ms(100);

                                                enable_interrupts(INT_EXT);
                                                reset_cpu();
    }

if(pcrx[5] == 0x30){ // Teste Curto-Circuito
    v_max=0x3F1; //20V
    i_media=0x1F5;

    disable_interrupts(INT_EXT);
    output_high(pin_c0);
        delay_ms(100);
        teste=0x30;
    for(x=0; x < 50; x++)aumenta(); // aumenta a tensão para iniciar teste
    //seta_teste(0x20);

        corrente=0;

    loop4:
    transmite(0x20,8);
        volt = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    if(volt <= v_max){ aumenta(); goto loop4;}

        seta_teste(0x30);
        delay_ms(500);
        enable_interrupts(INT_TIMER0);
        set_timer0(10);
        tempo=0;

    loop5:
    transmite(0x20,8);
    volt2 = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    corrente = converte(dadorx[3],dadorx[4]);
    if(corrente > 0x3F0) volt=volt2;
    if(corrente > i_media+10){ delay_ms(20); goto loop5;}
        corrente=0x3FF;

        while(tempo<5000);
    computa(); //guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)
    delay_ms(200);
    enable_interrupts(INT_EXT);

output_low(pin_c0); //desliga contactor

```

```

        delay_ms(100);
            reset_cpu();

        }

    }

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd

void impedancia(void)
{
teste=0x03;
i_max=600;
v_max=700;
disable_interrupts(INT_EXT);
output_high(pin_c0); //liga contactor 5

for(x=0; x < 2; x++)aumenta(); // aumenta a tensão para iniciar teste
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    set_timer0(10);
    loop8:
    transmite(0x20,6);
    volt = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    corrente = converte(dadorx[3],dadorx[4]);
    if(corrente >= i_max){diminue(); goto loop8;}
    if(volt <= v_max){aumenta(); goto loop8;}
    computa(); // //guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)
    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    guarda_esc01(); // guarda valores de v,i,t1,t2,T
    buffer(); // zera buffer
    transmite(0x30,0x31);
    guarda_esc02();
    diverge();
    tempo=0;
    sendpc();
    desliga();
    teste=0;
output_low(pin_c0); // desliga contactor 5
delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_EXT);
}

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd

void isolacao(void)
{

char conta;
teste=0x04;
i_max=550;

```

```

v_max=1000;
conta=0;
disable_interrupts(INT_EXT);
output_high(pin_c2); //liga contactor 3

    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    set_timer0(10);
    loop8:
    transmite(0x20,6);
    volt = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    corrente = converte(dadorx[3],dadorx[4]);
    if(volt <= v_max){ aumenta(); goto loop8;}
    conta++;
    while(conta < 6){delay_ms(1000); goto loop8;} // tempo de 1 minuto
    computa(); // guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)

disable_interrupts(INT_TIMER0);
    guarda_esc01(); // guarda valores de v,i,t1,t2,T
    buffer(); // zera buffer
    transmite(0x30,0x31);
    guarda_esc02();
    diverge();
    tempo=0;
    sendpc();
    desliga();
    teste=0;
output_low(pin_c2); // desliga contactor 3
delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_EXT);
}

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd

void tensao(void)
{

char conta_tensao;
teste=0x05;
i_max=550;
v_max=1000;
disable_interrupts(INT_EXT);
output_high(pin_c1); //liga contactor 4

    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    set_timer0(10);
    conta_tensao=0;
    loop9:
    transmite(0x20,6);
    volt = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    corrente = converte(dadorx[3],dadorx[4]);

```

```

    if(volt <= v_max){aumenta(); goto loop9;}
    conta_tensao++;
    while(conta_tensao < 6){delay_ms(1000); goto loop9;} // tempo de 1 minuto
    computa(); // guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)

    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    guarda_esc01(); // guarda valores de v,i,t1,t2,T
    buffer(); // zera buffer
    transmite(0x30,0x31);
    guarda_esc02();
    diverge();
    tempo=0;
    sendpc();
    desliga();
    teste=0;
    output_low(pin_c1); // desliga contactor 4
    delay_ms(100);
    enable_interrupts(INT_EXT);
}

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd

void aterramento(void)
{

teste=0x06;
i_max=550;
v_max=1000;
disable_interrupts(INT_EXT);
output_high(pin_c6); //liga contactor 2

    loop10:
    transmite(0x20,6);
    volt = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    corrente = converte(dadorx[3],dadorx[4]);
    if(volt <= v_max || corrente <= i_max){aumenta(); goto loop10;}
    computa(); // guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)

    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    guarda_esc01(); // guarda valores de v,i,t1,t2,T
    buffer(); // zera buffer
    transmite(0x30,0x31);
    guarda_esc02();
    diverge();
    tempo=0;
    sendpc();
    desliga();
    teste=0;
    output_low(pin_c1); // desliga contactor 4

```

```

delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_EXT);
}

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd
void dr(void)
{
int c;
i_media=0x22D;
//v_max=0x372;
v_max=0x320;
teste=0x07;

disable_interrupts(INT_EXT);
output_high(pin_c6); //liga contactor 2
delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_TIMER0);
set_timer0(10);
passos=0;
for(c=0;c<50;c++) aumenta();
    loop11:
    transmite(0x30,6);
    volt = converte(dadorx[1],dadorx[2]);
    corrente = converte(dadorx[3],dadorx[4]);
    if(volt <= v_max){aumenta(); delay_ms(30); goto loop11;}
    //if(corrente >= i_media+20){goto loop11;}

    computa(); // guarda valores de esc 01, esc 02 e envia para IHM (PC)

disable_interrupts(INT_TIMER0);
output_low(pin_c6); // desliga contactor 2
delay_ms(100);
enable_interrupts(INT_EXT);

}

//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd

void aumenta(void)
{
    delay_ms(2);
    if(passo==1) {passo=5; goto atual;}
    if(passo==5) {passo=6; goto atual;}
    if(passo==6) {passo=10; goto atual;}
    if(passo==10) {passo=9; goto atual;}
    if(passo==9) passo=5;
    atual:
    output_a(passo);
    passos++;
}

```

```
//dddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddddd
```

```
void diminue(void)
{
    delay_ms(2);
    if(passo==5) {passo=9; goto atua2;}
    if(passo==6) {passo=5; goto atua2;}
    if(passo==10) {passo=6; goto atua2;}
    if(passo==9) passo=10;
    atua2:
    output_a(passo);
    passos--;
}

```

```
//LLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLLL
```

```
void main()
{
    Init_Ssp();
    setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
    setup_adc(ADC_OFF);
    setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_1);
    setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_4);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    ext_int_edge( h_to_1 );
    enable_interrupts(INT_EXT);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    disable_interrupts(INT_TIMER0);

    setup_wdt(WDT_2304MS);
    output_high(PIN_B0); // coloca o pino de rx em nível 1
    output_high(PIN_B1); // coloca o pino de tx em nível 1

    serial=0;
    passos=0;
    passo=1;
    i2c_flag=1;
    ft=0;
    conta=0;
    fim=0;
    escravo1=0;
    escravo2=0;
    tempo=0;
    temperatura1=0;
    temperatura2=0;
    teste=0x00;
    sub_teste=0;
    pctx[0]=0x01;
}

```



```

pctx[1]=0x55;
pctx[2]=0x0D;

PEN=0;RCEN=0;ACKEN=0;SEN=0;
while (true)
{

restart_wdt();
delay_ms(100);

if(pc == 1){
sendpc();
    delay_ms(2000);
    disable_interrupts(GLOBAL);
    output_high(pin_c0); //liga contactor 1
    delay_ms(10);
    pc=2;
    enable_interrupts(GLOBAL);//}
if(pc == 2){delay_ms(2000);
    restart_wdt();
    delay_ms(2000);
    disable_interrupts(GLOBAL);
    output_low(pin_c0); //liga contactor 1
    delay_ms(10);
    pc=1;
    enable_interrupts(GLOBAL);//}

if(pc == 1 && pctx[0] == 0x01){// Checa entrada de dados e endereço
    teste = pctx[4];

    switch(teste){
        case 0x01:
            sub_teste=0x15;
            seta_teste(0x20);
            delay_ms(500);
            k=0;
            seta_teste(0x30);
            k=1;
            if(escravo1 == 0x50 && escravo2==0x10)continuidade();//Usa UR
&& escravo2 == 0x50
            break;
        case 0x02:
            seta_teste(0x20);
            if(escravo1 == 0x50 && escravo2 == 0x50)
            dispositivos();
            break;
        case 0x03:
            seta_teste(0x20);
            if(escravo1 == 0x50) impedancia();
            break;

```

```
    case 0x04:
        seta_teste(0x20);
        if(escravo1 == 0x50) isolacao();
        break;
    case 0x05:
        seta_teste(0x20);
        if(escravo1 == 0x50) tensao();
        break;
    case 0x06:
        seta_teste(0x20);
        if(escravo1 == 0x50) aterramento();
        break;
    case 0x07:
        seta_teste(0x20);
        seta_teste(0x30);
        while(true);
        if(escravo1 == 0x50 && escravo2 == 0x50)
            dr(); // Usa UR
        break;
    }
pc=0;
}

}
reset_cpu();

}
```

ROTINA 232.C

```

#ifndef baud_rate const long int baud_rate = 14400;
#endif
int paridade = 0;
const int tempo_bit_dado = 1000000/ baud_rate - 20; // tempo bit de dado
const int tempo_bit_start = 1500000/ baud_rate; // tempo bit de start
const int tempo_bit_paridade = 1000000/ baud_rate; // tempo bit de dado
Pinos de comunicação

output_high(PIN_B1); // coloca o pino de tx em nível 1
#define dir_rx = 0x86.0 // direção do pino rx
#define dir_tx = 0x86.1 // direção do pino tx

void rs232_inicializa(void)
{
// dir_tx = 0; // pino tx como saída

// dir_rx = 1; // configura o pino de rx como entrada
}

void send(char dado)
{
boolean result;
int conta, paridade;
paridade=0;
//primeiro o bit start
output_low(PIN_B1); //pino_tx = 0;
delay_us(tempo_bit_dado);
conta = 8; // 8 bits
while (conta)
{
// desloca o dado à direita e dependendo do resultado
// seta ou não a saída
if(shift_right ( &dado, 1, 0)){ output_high(PIN_B1); paridade++; }else
output_low(PIN_B1);
delay_us(tempo_bit_dado); // aguarda o tempo do bit de dado
conta--;
}
if(paridade == 1 || paridade == 3 || paridade == 5 || paridade == 7)output_high(PIN_B1); else
output_low(PIN_B1);
delay_us(tempo_bit_paridade); // 1 bit paridade
output_high(PIN_B1);
delay_us(tempo_bit_dado); // 1 bit stop
}

```

```
int recebe(void)
{
int soma,dado;
while(input(PIN_B1==1));
delay_us(118); //156 = 104 + 24 + 28 ciclos Maq para ficar no meio do 1 bit
soma = 8;
dado = 0;
while (soma)
{

    shift_right( &dado, 1, input(pin_b1)); // insere o bit recebido desloca para direita
    delay_us(tempo_bit_dado); // tempo de 1 bit
    soma--;
}
paridade=input(pin_b0);
delay_us(61); // aguarda o tempo de 1 bit 104 - 43 ciclos de maq.
output_low(pin_b1);
delay_us(150); // aguarda o tempo de 1 bit
delay_us(tempo_bit_dado); // aguarda o tempo de 1 bit
return dado;
}
```

ES CRAVO 1.C

```
#include <16F877.h>
#include "crc.c"
#device adc=10
#use delay(clock=20000000)
#fuses XT,WDT,NOPROTECT,NOPUT,NOBROWNOUT
#use i2c(Slave,slow,sda=PIN_C4,scl=PIN_C3,address=0x20,force_hw)
```

```
int32 adc1,adc;
long an_0,an_1,an_2,an_3,an_4,an_5, CRC;
int flag,x,start,teste,recebeu,endereco,d, k,sub_teste;
BYTE leitura[6];
BYTE dadorx[5],tx_i2c[10],rx_i2c[10];
int flag2,conta_i2c,index;
```

```
#locate SSPSTAT = 0x94
#locate SSPCON = 0x14 // In Bank 0
#locate SSPCON2 = 0x91 // In Bank 1
#locate SSPBUF = 0x13 // I2C Buffer
#locate SSPADD = 0x93 // I2C Slave Address register
#locate STATUS = 0x03
#locate PIR1 = 0x03
#locate TRISC = 0x87
```

```
// Bits of SSPSTAT
#bit SMP = 0x94.7
#bit CKE = 0x94.6
#bit D_A = 0x94.5
#bit P = 0x94.4
#bit S = 0x94.3
#bit R_W = 0x94.2
#bit UA = 0x94.1
#bit BF = 0x94.0
```

```
#bit SSPOV = 0x14.6
#bit WCOL = 0x14.7
```

```
// Bits of SSPCON2
#bit GCEN = 0x91.7
#bit ACKSTAT = 0x91.6
#bit ACKDT = 0x91.5
#bit ACKEN = 0x91.4
#bit RCEN = 0x91.3
#bit PEN = 0x91.2
#bit RSEN = 0x91.1
#bit SEN = 0x91.0
```

```

#bit SSPIF = 0x0C.3
#bit CKP = 0x14.4

void SSP_Handler(void);

#int_SSP
void rotina()
{
SSP_Handler();
}

void SSP_Handler(void)
{

if(!D_A && !R_W && BF && S){conta_i2c=0;
    rx_i2c[0]=SSPBUF;
    conta_i2c++;
    index=0;
}

else if(D_A && !R_W && BF){

    rx_i2c[conta_i2c]=SSPBUF;
    conta_i2c++;

}

else if(!D_A && R_W && !BF && S){
    i2c_write(tx_i2c[index]);
    index++;
}

else if(D_A && R_W && !BF){
    i2c_write(tx_i2c[index]);//0 setou
    index++;
}

if(conta_i2c>=3){
    conta_i2c=0;
    teste=rx_i2c[1];
    sub_teste=rx_i2c[2];
    if(start==0)start=1;
    else start=2;
}

```

```

SSPOV=0;

}

void monta()
{
int *ptr;
prt = tx_i2c;
    leitura[0] = an_0 >> 8;
    leitura[1] = an_0 & 0x00FF;
    leitura[2] = an_3 >> 8;
    leitura[3] = an_3 & 0x00FF;
    leitura[4] = an_4-0x96;    //ambiente
    leitura[5] = an_5-0x96;    //0xA0 33 C

tx_i2c[0]=recebeu;
tx_i2c[1]=leitura[0];
tx_i2c[2]=leitura[1];
tx_i2c[3]=leitura[2];
tx_i2c[4]=leitura[3];
tx_i2c[5]=leitura[4];
tx_i2c[6]=leitura[5];
CRC = generate_16bit_crc(ptr, 7, CRC);
tx_i2c[7]=CRC>>8;
tx_i2c[8]=CRC & 0x00FF;
}

void para()
{
    output_high(pin_b3);
    output_high(pin_b4);
    output_high(pin_c0);
    output_high(pin_c1);
    output_high(pin_c2);
    output_high(pin_c5);
    output_high(pin_c6);
    output_high(pin_c7);
    output_low(pin_d0);
    output_low(pin_d1);
    output_low(pin_d2);
    output_low(pin_d3);
    start=0;
    teste=0;
}

void seta(int t)
{
    if(t==1) //teste continuidade
    {

```

```

        output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-20Vac
        output_low(pin_c2); //liga relé mediçao 300 mAac
        output_low(pin_d1); //desliga rele externo B
        output_low(pin_d4); //comuta rele voltimetro externo p/ neutro
    }
    if(t==2) //teste dispositivos - curto circuito
    {
        output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-50Vac
        output_low(pin_c0); //liga relé mediçao 0-20Aac
        if(sub_teste == 0x15){
            output_high(pin_d0); //liga relé externo A
            output_high(pin_d2); //liga relé externo C
        }
    }
    if(t==3) //teste dispositivos - curto térmico
    {
        output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-50Vac
        output_low(pin_c0); //liga relé mediçao 0-20Aac
        output_high(pin_d0); //liga relé externo A
        if(sub_teste ==0x40){
            output_high(pin_d2); //liga relé externo C
            output_high(pin_d3); //liga relé externo D
        }
    }
    if(t==4) // teste isolacao
    (
        output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-1000Vcc
        output_low(pin_c1); //liga relé mediçao 0-10mAcc
        if(sub_teste == 0x15){
            output_high(pin_d0); //liga relé externo A
            output_high(pin_d2); //liga relé externo C
        }
    }

    if(t==5) // tensao aplicada
    output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-1000Vac
    output_low(pin_c1); //liga relé mediçao 0-300mAac
    if(sub_teste == 0x15){
        output_high(pin_d0); //liga relé externo A
        output_high(pin_d2); //liga relé externo C
    }

    if(t==6) // teste aterramento
    {
        output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-50Vac
        output_low(pin_c1); //liga relé mediçao 0-4Aac
        output_high(pin_d0); //liga relé externo A
        output_high(pin_d2); //liga relé externo C
        output_high(pin_d4); //comuta rele voltimetro externo p/ terra
    }
    if(t==7) //teste DR
    {

```



```

        output_low(pin_c5); //liga relé mediçao 0-50Vac
        output_low(pin_c1); //liga relé mediçao 0-4Aac
        output_high(pin_d2); //liga relé externo C
    }
    if(t==0) para();
}

void analogico(int a,int b)
{
    set_adc_channel(a);
    delay_us(10);
    retorna:
    adc1 = read_adc();
    delay_ms(1);
    if(adc1 < 0x200)
    {
        vol:
        adc1 = read_adc();
        delay_ms(1);
        if(adc1 > 0x1F0) flag=1;
        else goto vol;
    }
    else goto retorna;

    if(flag==1)
    {
        flag=0;
        volta:
        adc=adc1;
        delay_ms(1);
        adc1 = read_adc();
        if(adc1<adc)
        {
            an_0 = adc;
            set_adc_channel(b);
            delay_us(10);
            an_3 = read_adc();
            set_adc_channel(4);
            delay_us(10);
            an_4 = read_adc();
            set_adc_channel(5);
            delay_us(10);
            an_5 = read_adc();
            flag=0;
        }
        else goto volta;
    }
}
}

```

```

void main()
{
    setup_adc_ports(ALL_ANALOG);
    setup_adc(ADC_CLOCK_INTERNAL);
    setup_psp(PSP_DISABLED);
    setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_1);
    setup_timer_1(T1_DISABLED);
    setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
    enable_interrupts(INT_SSP);
    enable_interrupts(GLOBAL);
    setup_wdt(WDT_576MS);

    x=0;
    start =0;
    flag=0;
    teste=0;
    recebeu=0;
    flag2=0;
    d=0;
    k=0;
    output_high(pin_b3);
    output_high(pin_b4);
    output_high(pin_c0);
    output_high(pin_c1);
    output_high(pin_c2);
    output_high(pin_c5);
    output_high(pin_c6);
    output_high(pin_c7);
    output_low(pin_d0);
    output_low(pin_d1);
    output_low(pin_d2);
    output_low(pin_d3);

    while(true)
    {
        restart_wdt();
        if(start==1)
        {
            recebeu=0x50;
            teste=rx_i2c[1];
            sub_teste=rx_i2c[2];
            restart_wdt();
            seta(teste);
            start=2;
        }

        if(start==2)
        {
            restart_wdt();
            monta();
            if(teste==0x20)

```

```

        {
            analogico(3,0);
            if(an_0 > 0x3C0) flag2=1;
            if(an_0 < 0x220 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }
if(teste == 0x01 && sub_teste==0x15 || sub_teste == 0x40) // Teste de
Continuidade
        {
            analogico(0,3);
            if(an_0 > 0x2A0) flag2=1;
            if(an_0 < 0x1F9 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }

if(sub_teste==0x20 || sub_teste == 0x30) // Teste de Dispositivos
        {
            analogico(2,0);
            if(an_0 > 0x2F1) flag2=1;
            if(an_0 < 0x1F9 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }
if(teste == 0x03 && sub_teste==0x15 || sub_teste == 0x40) // Teste de Impedância
        {
            analogico(0,1);
            if(an_0 > 0x2F3) flag2=1;
            if(an_0 < 0x1F6 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }

if(teste == 0x04 && sub_teste==0x15 || sub_teste == 0x40) // Teste de Isolação
        {
            analogico(1,0);
            if(an_1 > 0x3F3) flag2=1;
            if(an_1 < 0x1F6 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }

if(teste == 0x05 && sub_teste==0x15 || sub_teste == 0x40) // Teste de Tensão
Aplicada
        {
            analogico(1,0);
            if(an_2 > 0x3F3) flag2=1;
            if(an_2 < 0x1F6 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }

if(teste == 0x06) // Teste de Aterramento
        {
            analogico(0,3);
            if(an_3 > 0x1F2) flag2=1;
            if(an_3 < 0x3D6 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
        }

if(teste == 0x07) // Teste de DR
        {

```

```
        analogico(0,2);
        if(an_1 > 0x1F2) flag2=1;
        if(an_1 < 0x1D3 && flag2==1) { flag2=0; reset_cpu();}para();
    }

    if(teste == 0){para();start=0;}
    }
}
```

ESCRAVO 2.C

```

#include "crc.c"
#device adc=10
#use delay(clock=20000000)
#fuses NOWDT,XT, NOPUT, NOPROTECT, NOBROWNOUT,NOLVP
#use rs232(STREAM=HOST,baud=14400,parity=N,xmit=PIN_b4,rcv=PIN_b1)
#use i2c(Slave,slow,sda=PIN_C4,scl=PIN_C3,address=0x30)

int x,d,teste,sub_teste,start,ler,recebeu,conta,b,setou,seta,volta,n_dados,l,
flag1,flag2,flag3,index;
BYTE tx_i2c[15],rx_i2c[10], tx_232[15], rx_232[15]=0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0,0;
long flag;
int conta_i2c,k, lixo;
#locate SSPSTAT = 0x94
#locate SSPCON = 0x14 // In Bank 0
#locate SSPCON2 = 0x91 // In Bank 1
#locate SSPBUF = 0x13 // I2C Buffer
#locate SSPADD = 0x93 // I2C Slave Address register
#locate STATUS = 0x03
#locate PIR1 = 0x03
#locate TRISC = 0x87

// Bits of SSPSTAT
#bit SMP = 0x94.7
#bit CKE = 0x94.6
#bit D_A = 0x94.5
#bit P = 0x94.4
#bit S = 0x94.3
#bit R_W = 0x94.2
#bit UA = 0x94.1
#bit BF = 0x94.0

#bit SSPOV = 0x14.6
#bit WCOL = 0x14.7

// Bits of SSPCON2
#bit GCEN = 0x91.7
#bit ACKSTAT =0x91.6
#bit ACKDT =0x91.5
#bit ACKEN =0x91.4
#bit RCEN = 0x91.3
#bit PEN = 0x91.2
#bit RSEN = 0x91.1
#bit SEN = 0x91.0

#bit SSPIF = 0x0C.3
#bit CKP = 0x14.4

```

```

void SSP_Handler(void);
void I2CSend(char);
void I2CWait(void);

void serie()
{
l=0;
int *ptr, *ptr_i2;
ptr = rx_232;
ptr_i2 = tx_i2c;

    for(l=0;l<conta;l++){ //recebe dados pelo radio
        rx_232[l]=fgetc(HOST);
    }
CRC = rx[conta-1]<<8;
CRC += rx[conta];

    if(CRC == generate_16bit_crc(ptr, conta, CRC);) // verifica se dados
sao validos
    {

        if(rx_232[3]==0x03){
            tx_i2c[0] = rx_232[11]; //setou
            tx_i2c[1] = rx_232[7]; //VH
            tx_i2c[2] = rx_232[8]; //VL
            tx_i2c[3] = rx_232[9]; //IH
            tx_i2c[4] = rx_232[10]; // IL
            setou= rx_232[11];
        }
        if(rx_232[3]==0x10){
            tx_i2c[0] = rx_232[6]; //setou
            tx_i2c[1] = 0x00; //VH
            tx_i2c[2] = 0x00; //VL
            tx_i2c[3] = 0x00; //IH
            tx_i2c[4] = 0x00; // IL
            setou= rx_232[6];
        }

CRC = generate_16bit_crc(ptr_i2, 6, CRC);
tx_i2c[5]=CRC>>8;
tx_i2c[6]=CRC & 0x00FF;

    }

recebeu=1;
while(input(pin_b0)==1);

}

```

```

#int_SSP
void rotina()
{
  SSP_Handler();
}

void ConfigureI2C(void)
{

  SSPCON2 = 0b00000000; // ensure all state bits are reset
  SSPSTAT = 0b00000000; //
  SSPADD = 0x30; // Address
  SSPCON = 0;
  SSPCON = 0x36; // Slave I2C mode

}

void SSP_Handler(void)
{

if(!D_A && !R_W && BF && S){conta_i2c=0;
    rx_i2c[0]=SSPBUF;
    conta_i2c++;
    index=0;
    }

else if(D_A && !R_W && BF){

    rx_i2c[conta_i2c]=SSPBUF;
    conta_i2c++;

    }

else if(!D_A && R_W && !BF && S){
    i2c_write(tx_i2c[index]);
    index++;

    }

else if(D_A && R_W && !BF){
lixo=1;
i2c_write(tx_i2c[index]);//0 setou
index++;

    }

if(conta_i2c>=3){
    conta_i2c=0;
    teste=rx_i2c[1];
    sub_teste=rx_i2c[2];
    if(start==0)start=1;
}

```

```

        else start=2;
        }
if(index>=6)
    index=0;

SSPOV=0;
}

/*****/
/* Send a char via I2C */
/*****/
void I2CSend( char ch )
{

do{
    WCOL=0;
    SSPBUF = ch;          // Load DATA to send
    }while(WCOL);
CKP=1;
}

/*****/
/* Waits for I2C process to complete */
/*****/
void I2CWait(void)
{
    while ( !SSPIF );    // Wait for Interrupt
    SSPIF = 0;          // Clear Interrupt flag
}

void escreve_remota(int teste, int sub_teste, int operacao) // teste - qual o tipo de teste.
{
int i;
int *ptr;
prt = tx_232;
disable_interrups(INT_EXT);
output_low(pin_b2);
delay_us(500);
    tx_232[0]=0x55;
        tx_232[1]=0x55;
        tx_232[2]=0x04;
        tx_232[3]=operacao;
        tx_232[4]=0x04;
        tx_232[5]=0x02;
        tx_232[6]=teste;
        tx_232[7]=sub_teste;
}

```



```

CRC = generate_16bit_crc(ptr, 8, CRC);
tx_232[8]=CRC>>8;
tx_232[9]=CRC & 0x00FF;

output_high(pin_c1);
output_low(pin_c0);

delay_ms(4);

for(i=0;i<10;i++)
{
    fputc(tx_232[i],HOST);
}
delay_us(500);
output_high(pin_c0);
output_low(pin_c1);

while(input(pin_b0)==1);

delay_us(500);
output_high(pin_b2);

}

void main()
{

setup_adc_ports(NO_ANALOGS);
setup_adc(ADC_OFF);
setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_4);

setup_timer_2(T1_DISABLED,0,1);
setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
ext_int_edge( l_to_h );
enable_interrupts(INT_SSP);
enable_interrupts(GLOBAL);
setup_wdt(WDT_2304MS);
x=0;
output_high(pin_b2);
output_low(pin_c1);
output_high(pin_c0);
output_high(pin_b2);
d=0;
k=0;
teste=0; //
start=0;

```

```

recebeu=0;
conta=8;
flag=0;
ler=0;
seta=0;
setou=0;
volta=0;
conta_i2c=0;

n_dados=0x0A;
flag1=0;
flag2=0;
flag3=0;

    while(true)
    {
restart_wdt();
;

if(start==1 ){    // Define que houve pedido de setar teste

    conta=9;
    escreve_remota(teste,sub_teste,0x10);
    flag=0;
    loop5:
    if(input(pin_b0) == 1){ delay_us(200);
        if(input(pin_b0) == 1){serie(); goto loop6;}
        }
    if(flag < 2000)goto loop5;
    loop6:
    if(setou == 0x50)start=2;
    delay_ms(300);
    }

if(start == 2){conta=14;
    escreve_remota(teste,sub_teste,0x03);
    flag=0;
    loop7:
    if(input(pin_b0) == 1){ delay_us(200);
        if(input(pin_b0) == 1){serie(); goto loop8;}
        }
    if(flag < 2000)goto loop7;
    loop8:
    delay_ms(500);
    }
if(start==2 && teste==0x00){start=0; setou=0;}

    }}

```

ROTINA CRC.C

```

int16 generate_16bit_crc(char* data, int16 length, int16 pattern)
{
    int *current_data;
    int16 crc_Dbyte;
    int16 byte_counter;
    int bit_counter;

    current_data = data + 2;
    crc_Dbyte = make16(data[0], data[1]);

    for(byte_counter=0; byte_counter < (length-2); byte_counter++)
    {
        for(bit_counter=0; bit_counter < 8; bit_counter++)
        {
            if(!bit_test(crc_Dbyte,15))
            {
                crc_Dbyte <<= 1;
                bit_test(*current_data, 7 - bit_counter) ?
                    bit_set(crc_Dbyte,0) : bit_clear(crc_Dbyte,0);
                continue;
            }
            crc_Dbyte <<= 1;
            bit_test(*current_data, 7 - bit_counter) ?
                bit_set(crc_Dbyte,0) : bit_clear(crc_Dbyte,0);
            crc_Dbyte ^= pattern;
        }
        current_data++;
    }

    for(bit_counter=0; bit_counter < 16; bit_counter++)
    {
        if(!bit_test(crc_Dbyte,15))
        {
            crc_Dbyte <<= 1;
            continue;
        }
        crc_Dbyte <<= 1;
        crc_Dbyte ^= pattern;
    }

    return crc_Dbyte;
}

```

ESCRAVO 3.C

```

#include "crc.c"
#include <16F877.h>
#define adc=10
#include delay(clock=20000000)
#include fuses XT,WDT,NOPROTECT,NOPUT,NOBROWNOUT
#include i2c(Slave,slow,sda=PIN_C4,scl=PIN_C3,address=0x20,force_hw)

BYTE rx_232[11], tx_232[15];
long tensao,tensao2,corrente,i_media,leitura1,leitura2,CRC;
int teste,x,flag,recebeu,start,h,setou,operacao,confirma,b,frame_valido;
int32 adc1,adc;
int16 tempo;
#include int_ext
void serie()
{
int soma,dado;
int *ptr;
ptr = rx_232;
b=0;
//delay_us(500);
output_high(pin_b2);

        for(b=0;b<10;b++) //recebe dados pelo radio
            rx_232[b]=fgetc(HOST);

    {
// while(input(pin_c0)==1);
        delay_us(118); //156 = 104 + 24 + 28 ciclos Maq para ficar no meio do 1 bit
soma = 8;
dado = 0;
while (soma)
    {

        shift_right( &dado, 1, input(pin_c0)); // insere o bit recebido desloca para direita
        delay_us(80); // 104 - 33 ciclos de maq.
        soma--;
    }
    delay_us(90);
    rx_232[b]=dado;
    dado=0;
    }

CRC = rx_232[7]<<8;
CRC += rx_232[8];
if(CRC == generate_16bit_crc(ptr, 8, CRC)){
        if(rx_232[2]==0x04) // verifica se dados sao validos
            {

```

```

operacao=rx_232[3];
teste=rx_232[6];
}}

recebeu=1;
while(input(pin_b0)==1);
output_low(pin_b2);
}

#int_timer0
void tempo_mili()
{
    set_timer0(10);
    tempo++;
}

//-----

void transmite(int num)
{
int i;
disable_interrupts(INT_EXT);
    output_high(pin_b4);
    output_low(pin_b1);
    for(i=0;i<num;i++)
    {
        fputc(tx_232[i],HOST);
    }
    delay_us(500);
    output_high(pin_b1);
    output_low(pin_b4);
    enable_interrupts(INT_EXT);
}

//-----

void monta()
{
//0x04 0x10 0xaa 0xbb 0xcc 0x0a 0x0d (pergunta)
//0x04 0x10 0xaa 0xbb 0xcc TST 0x0a 0x0d (resposta)
int *ptr_out;
ptr_out = tx[232];

    if(teste==0x30)
    {
        corrente=0x1C7;
        tx_232[5] = tempo >> 8;
        tx_232[6] = tempo & 0x00FF;
        tx_232[7] = corrente >> 8;
        tx_232[8] = corrente & 0x00FF;
    }
}

```

```

    }
    else
    {
        tx_232[7] = tensao >> 8;
        tx_232[8] = tensao & 0x00FF;
        tx_232[9] = corrente >> 8;
        tx_232[10] = corrente & 0x00FF;
    }
    tx_232[11] = setou;
    CRC = generate_16bit_crc(ptr_out, 12, CRC);
    tx_232[12] = CRC>>8;
    tx_232[13]= CRC & 0x00FF; ;
}

//-----

void analogico(int a, int b)
{
    adc1=0;
    set_adc_channel(a);

    retorna:
    adc1 = read_adc();
    if(adc1 < 0x205)
    {
        vol:
        adc1 = read_adc();
        if(adc1 > 0x1F0)
        flag=1;
        else goto vol;
    }
    else goto retorna;

    if(flag==1)
    {
        volta:
        adc=adc1;
        adc1 = read_adc();
        if(adc1<adc)
        {
            leitura1 = adc;
            set_adc_channel(b);
            if(teste==0x07 || teste==0x30) delay_ms(9);

            leitura2 = read_adc();
            flag=0;
        }
        else goto volta;
    }
}

```

```

//-----
void main()
{
  setup_port_a( ALL_ANALOG );
  setup_adc( ADC_CLOCK_INTERNAL );
  set_adc_channel( 1 ); // Tensão da rede

  setup_timer_2(T2_DISABLED,0,1);
  setup_wdt(WDT_2304MS);
  setup_counters(RTCC_INTERNAL,RTCC_DIV_1);
  setup_timer_0(RTCC_INTERNAL|RTCC_DIV_4);
  enable_interrupts(GLOBAL);
  enable_interrupts(INT_EXT);
  disable_interrupts(INT_TIMER0);
  ext_int_edge( 1_to_h );
  int *ptr_tx
  ptr_tx = tx_232;

  output_high(pin_b1);
  output_low(pin_b4);
  output_low(pin_b2);
  teste=0x66;
  recebeu=0;
  frame_valido=0;
  tensao2=0;
  delay_us(500);
  tempo=0;
  corrente=0;
  tensao=0;
  start=0;
  setou=0;

  while(true)
  {

          restart_wdt();

  if(recebeu==1){ recebeu=0;
                if(rx_232[2]==0x04) // verifica se dados sao validos
                {
                    operacao=rx_232[3];
                    teste=rx_232[6];
                    sub_teste=rx_232[7];
                    frame_valido=1;
                }
            }

  if(frame_valido==1 && operacao==0x10) // 0x04 0x10 0xaa 0xbb 0xcc 0x0a 0x0d
  (pergunta)

```

```

        { frame_valido=0;
          setou=0x50;
          if(teste==0x01 && sub_teste == 0x15)output_high(pin_c4); // Desligar rele para
teste FN
          if(teste==0x01 && sub_teste == 0x40)output_low(pin_c4); // Ligar rele para
teste FT
          if(teste==0x02 && sub_teste == 0x20){output_low(pin_c3);
output_low(pin_c4)};
          if(teste==0x02 && sub_teste == 0x30){output_high(pin_c3);
          if(teste==0x03 && sub_teste == 0x15)output_low(pin_c5); // Desligar rele para
teste FN
          if(teste==0x03 && sub_teste == 0x40)output_high(pin_c5); // Ligar rele para
teste FT
          if(teste==0x07){output_high(pin_c5); output_low(pin_c7); // DR

//envia resposta 0x04 0x10 0xaa 0xbb 0xcc TST 0x0a 0x0d (resposta)

          tx_232[0] = 0x55;
          tx_232[1] = 0x55;
          tx_232[2]=0x04;
          tx_232[3]=0x10;
          tx_232[4]=0x02;
          tx_232[5]=0x04;
          tx_232[6]=setou;
CRC = generate_16bit_crc(ptr_tx, 9, CRC);
          tx_232[7] = CRC>>8;
          tx_232[8]= CRC & 0x00FF; ;

          delay_ms(1);
          transmite(9);
          delay_ms(1);
          start=1;
        }

          if(frame_valido==1 && operacao==0x03)
          {
            frame_valido=0;
            monta();
            delay_ms(1);
            transmite(12);
            delay_ms(1);
            enable_interrupts(INT_EXT);
          }

//-----

          if(teste==0x00){restart_wdt();output_high(pin_c4); setou=0; // Desligar geral
teste=0x00;
          }

```



```

//-----
if(teste==0x07) //teste de DR
{
    restart_wdt();
    i_media=0x1FB+30;
    volta:
    restart_wdt();
    corrente=leitura1;
    tensao=leitura2;
    analogico(0,1);
    if(leitura1 > i_media) goto volta;
if(leitura1 == i_media) tempo();
    monta();
    teste=0;
    reset_cpu();
}

//-----
if(teste==0x20) //Teste Térmico
{
    output_high(pin_c7);
    loop10:
    analogico(0,1);
    if(leitura1 > 0x210) goto loop10;
    output_low(pin_c7);
}

//-----
if(teste==0x30) //teste de curto circuito
{
    restart_wdt();
    i_media = 0x1F5;
    tempo=0;
    corrente=0;
    enable_interrupts(INT_TIMER0);
    set_timer0(10);
    output_high(pin_c7);
    delay_ms(10);
    retorna:
    analogico(0,1);
    if(leitura1>i_media+10 && tempo<4000) goto retorna;
    sai:
    output_low(pin_c7);
    disable_interrupts(INT_TIMER0);
    monta();
//
    teste=0;
    delay_ms(500);
    reset_cpu();
}

```

```

//-----
        if(teste==0x01 || teste==0x15 ) //teste de continuidade FN
        {
output_high(pin_c3);
output_high(pin_d3);
if(start==1 ){

                restart_wdt();

                analogico(1,0);
                delay_ms(50);
monta();
        }
        }
//-----

        if(teste==0x01 || teste==0x40 ) //teste de continuidade FT
        {
output_low(pin_c3);
output_low(pin_d3);
if(start==1 ){

                restart_wdt();
                analogico(1,0);
                delay_ms(50);
monta();
        }
        }
//-----

        if(teste==0x03 || teste==0x15 ) //teste de impedância FN
        {
output_high(pin_c3);
output_high(pin_d3);
if(start==1 ){

                restart_wdt();
                analogico(1,0);
                delay_ms(50);
monta();
        }
        }

        if(teste==0x03 || teste==0x15 ) //teste de impedância FT
        {
output_high(pin_c4);
output_high(pin_d4);
if(start==1 ){

```

```
restart_wdt();  
analogico(2,0);  
delay_ms(50);  
monta();  
    }  
    }  
}
```