

UNIVERSIDADE REGIONAL DE BLUMENAU
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E NATURAIS
CURSO DE CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO
(Bacharelado)

**PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE HARDWARE E
SOFTWARE PARA MONITORAMENTO DA QUALIDADE DA
ENERGIA NA REDE ELÉTRICA**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO À UNIVERSIDADE
REGIONAL DE BLUMENAU PARA A OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA
DISCIPLINA COM NOME EQUIVALENTE NO CURSO DE CIÊNCIAS DA
COMPUTAÇÃO — BACHARELADO

DANIEL BUSNARDO

BLUMENAU, NOVEMBRO/1999

1999/2-07

PROTÓTIPO DE UM SISTEMA DE HARDWARE E SOFTWARE PARA CONTROLE DA QUALIDADE DA ENERGIA NA REDE ELÉTRICA

DANIEL BUSNARDO

ESTE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO, FOI JULGADO ADEQUADO PARA OBTENÇÃO DOS CRÉDITOS NA DISCIPLINA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO OBRIGATÓRIA PARA OBTENÇÃO DO TÍTULO DE:

BACHAREL EM CIÊNCIAS DA COMPUTAÇÃO

Prof. Antonio Carlos Tavares — Orientador na FURB

Prof. José Roque Voltolini da Silva — Coordenador do TCC

BANCA EXAMINADORA

Prof. Antonio Carlos Tavares

Prof. José Roque Voltolini da Silva

Prof. Miguel Wisintainer

SUMÁRIO

LISTA DE ILUSTRAÇÕES	v
LISTA DE TABELAS	vi
LISTA DE QUADROS	vii
RESUMO	viii
ABSTRACT	ix
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 ORIGEM DO TRABALHO	1
1.2 ÁREA	1
1.3 PROBLEMA	1
1.4 JUSTIFICATIVAS	3
1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO	3
1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO	4
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	5
2.1 TENSÃO ALTERNADA	5
2.1.1 FORMAS DE ONDA CA	6
2.1.2 FREQUÊNCIA	7
2.1.3 QUANTIFICAÇÃO DE TENSÕES CA	8
2.1.4 ÂNGULOS EM TENSÕES CA	10
2.2 TRABALHOS CORRELATADOS	12
2.2.1 DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS	12
2.2.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA	12
3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO	14
3.1 OPERABILIDADE DO SISTEMA	14
3.2 HARDWARE UTILIZADO	15
3.2.1 O MICROCONTROLADOR	17
3.2.2 A MEMÓRIA EXTERNA	20
3.2.3 A BATERIA DA MEMÓRIA	21
3.2.4 TESTE DA BATERIA DA MEMÓRIA	23
3.2.4.1 PREPARAÇÃO	23
3.2.4.2 PRIMEIRA ETAPA	23

3.2.4.3	SEGUNDA ETAPA	24
3.2.4.4	CONCLUSÕES DOS TESTES	25
3.2.5	O CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL (ADC)	27
3.2.5.1	SIMULAÇÕES DAS LEITURAS DA REDE ELÉTRICA.....	28
3.2.6	COMUNICAÇÃO SERIAL	34
3.3	SOFTWARE DO COLETOR DE DADOS	35
3.3.1	ESPECIFICAÇÃO	36
3.3.1.1	ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA EM ASSEMBLY	37
3.3.2	NOTA DAS LEITURAS DA REDE ELÉTRICA	38
3.3.3	ORGANIZAÇÃO DA MEMÓRIA EXTERNA	39
3.3.3.1	MEMÓRIA DE <i>LOG</i>	40
3.3.3.2	MEMÓRIA DE SEGUNDO.....	43
3.3.4	CONVERSÃO DO SINAL ANALÓGICO	44
3.3.5	IMPLEMENTAÇÃO.....	45
3.4	SISTEMA DO MICROCOMPUTADOR	46
3.4.1	ESPECIFICAÇÃO	46
3.4.1.1	ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA NO MICROCOMPUTADOR.....	47
3.4.2	IMPLEMENTAÇÃO.....	47
3.4.2.1	TELAS DO SOFTWARE.....	48
4	CONCLUSÕES	53
4.1	EXTENSÕES	55
	ANEXO 1 – FLUXOGRAMAS DO COLETOR DE DADOS	57
	ANEXO 2 – EXEMPLOS DE LEITURA DA REDE ELÉTRICA	70
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	74

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA TENSÃO CA SENOIDAL	5
2 - FORMA DE ONDA QUADRADA	6
3 - FORMA DE ONDA DENTE DE SERRA	6
4 - FORMA DE ONDA SENOIDAL.....	7
5 - CICLOS DE UMA ONDA SENOIDAL	7
6 - EXEMPLO TENSÃO MÉDIA	8
7 - VALORES DA TENSÃO EM ONDA SENOIDAL	9
8 - EXEMPLO DE UM CICLO DE TENSÃO ALTERNADA.....	11
9 - DIGRAMA DE BLOCO DO HARDWARE	16
10 - MICROCONTROLADOR 89C51	19
11 - LIGAÇÃO DA BATERIA DA MEMÓRIA.....	22
12 - GRÁFICO DE VARIAÇÃO DE TENSÃO DA BATERIA.....	25
13 - GRÁFICO COM LEITURA DE 4,32 GRAUS E MÁXIMA RESOLUÇÃO.....	31
14 - SIMULAÇÃO COM LEITURA DE 4,32 GRAUS EM 8 BITS DE RESOLUÇÃO	31
15 - GRÁFICO COM LEITURA DE 1 GRAU E MÁXIMA RESOLUÇÃO.....	33
16 - GRÁFICO COM LEITURA DE 1 GRAU EM 8 BITS DE RESOLUÇÃO	33
17 - MAX232	35
18 - DIVISÕES DO SOFTWARE DO COLETOR	36
19 - ESTRUTURA LÓGICA DA MEMÓRIA EXTERNA	40
20 - ESTRUTURA LÓGICA DO REGISTRO DE LOG	41
21 - ESTRUTURA DO SISTEMA DO MICROCOMPUTADOR.....	46
22 - TELA PRINCIPAL.....	49
23 - TELA DE ERRO DE COMUNICAÇÃO	50
24 - TELA DE ENTRADA DE DADOS	51
25 - TELA DE ANDAMENTO DA RECEPÇÃO	52
26 - OSCILAÇÃO NO BIT MENOS SIGNIFICATIVO DO ADC	54
27 - DISTORÇÃO DA FORMA DE ONDA DURANTE A PARTIDA DE UM MOTOR ...	70
28 - EXEMPLO DE LEITURA DA REDE ELÉTRICA	71

29 - DISTORÇÃO DA FORMA DE ONDA GERADA PELA MAGNETIZAÇÃO DE UMA BOBINA.....	72
30 - DISTORÇÃO NO TOPO DA FORMA DE ONDA.....	73

LISTA DE TABELAS

1 - CONVERSÃO DE VALORES PARA ONDAS SENOIDAIS.....	10
2 - LEITURAS DA TENSÃO DA BATERIA	24
3 - SIMULAÇÃO DAS TENSÕES A CADA 4,32 GRAUS	30
4 - SIMULAÇÃO DAS TENSÕES A CADA 1 GRAU.....	32
5 - VALORES SUGERIDOS PARA OUTRAS CONFIGURAÇÕES DE ADC.....	42

LISTA DE QUADROS

1 - EQUAÇÃO RMS	10
2 - EQUAÇÃO DA TENSÃO EM FUNÇÃO DO ÂNGULO	11
3 - PROGRAMA LE.ASM	27
4 - PROGRAMA GRAVA.ASM.....	26
5 - EQUAÇÃO DO DESVIO MÉDIO.....	39

RESUMO

O trabalho relata o desenvolvimento de um protótipo de um aparelho composto por um hardware microcontrolado e um software de gerenciamento deste hardware. Também é relatado o desenvolvimento de um software em ambiente de programação Delphi para executar em um microcomputador do tipo PC. O aparelho desenvolvido é capaz de coletar informações sobre variações de tensão e frequência na energia da rede elétrica e armazenar algumas formas de onda da tensão que sofreram maior distorção durante o período de verificação. Após a coleta, estas informações são enviadas para um microcomputador, onde estes dados são tratados para gerar gráficos sobre as variações sofridas pela tensão da energia elétrica. Pode ser realizado assim um controle da qualidade da energia verificada, objetivando-se a tomada de medidas necessárias para a correção de algum problema, caso contate-se.

ABSTRACT

The work here related has developed a prototype of an equipment made by a microcontrolled hardware and a software to manage it. This work has also developed a software in Delphi programming environment to work in a PC microcomputer. This equipment can take information about variation in tension and frequency in the electric energy and keep some wave form of the tension that has been more distorted in the verified period. After the collection, those informations are sent to a microcomputer where these datas are treated to generate graphs about the tension variations of the electric energy. It gives, so, a control of the verified energy quality, and in the case of a evidenced problem, the necessary actions can be taken to correct it.

1 INTRODUÇÃO

1.1 ORIGEM DO TRABALHO

Este trabalho relata o desenvolvimento de um equipamento para controle de qualidade da energia da rede elétrica. Um aparelho composto de hardware e software foi desenvolvido para coletar dados sobre a energia na rede elétrica. Também foi desenvolvido um software em ambiente Delphi para receber os dados coletados através da porta serial de um microcomputador e fazer o tratamento destes dados, e então gerar algumas informações referentes à qualidade da energia na rede elétrica verificada.

1.2 ÁREA

Neste trabalho foi realizado um estudo para desenvolver-se uma técnica de medição de energia na rede elétrica. Com o equipamento desenvolvido, pode-se fazer algumas medições diversas da rede elétrica para se determinar a qualidade e se avaliar a necessidade de melhorias nas instalações elétricas. Assim, este trabalho se encaixa na área de medição da energia elétrica, ou mais especificamente na utilização de equipamentos computacionais para o monitoramento da qualidade da energia elétrica. Além disto, pode-se vir a utilizar das informações descritas no trabalho para serem feitas alterações no equipamento para que este seja utilizado em outras aplicações além da medição, como por exemplo, acionar algum mecanismo de segurança quando houver oscilações de energia na rede elétrica, ou desenvolver um medidor digital de consumo de energia elétrica.

1.3 PROBLEMA

Os problemas com a qualidade da energia elétrica podem causar sérios prejuízos para as indústrias, como danificação dos equipamentos eletrônicos e desperdício de tempo para a retomada da produção. Nos EUA o The Wall Street Journal e a Newsweek Magazine estimam um prejuízo anual na ordem de 20 bilhões de dólares por problemas com a qualidade da energia elétrica. No Brasil estes prejuízos são estimados em US\$ 2 bilhões de dólares [ABR99].

Um estudo foi realizado pelo Instituto de Eletrotécnica e Energia da Universidade de São Paulo - IEE/USP no ano de 1998 em São Paulo, Rio de Janeiro, Salvador e Belo Horizonte, comparando a tensão da energia na rede elétrica durante o decorrer do dia nestas cidades. Como resultado das medições feitas, foi constatado que existe uma grande variação da tensão, principalmente em São Paulo. Em muitos casos a tensão mínima ou máxima extrapolou os limites de variação constantes determinados pela portaria nº 4/1989, do DNAEE – Departamento Nacional de Águas e Energia Elétrica [AFF99].

Como cada vez mais são utilizados equipamentos de precisão, e portanto mais sensíveis, nas indústrias, a necessidade de um controle da qualidade de energia se torna cada vez mais evidente [ABR99].

Este trabalho também pode trazer subsídios para o desenvolvimento de um medidor de consumo de energia eletrônico. Para isto deve ser acrescentado ao sistema a capacidade de medir a corrente da energia elétrica. Estes equipamentos de medição eletrônicos já existem hoje no mercado, mas são pouco utilizados pelas concessionárias para a medição do consumo dos usuários de energia elétrica.

Outro estudo feito pelo IEE/USP em 1993 utilizando um medidor de energia eletrônico em comparação com os medidores eletro-mecânicos hoje utilizados, mostrou que os medidores eletro-mecânicos podem chegar a registrar um consumo até 20% inferior em situações onde ocorram oscilações de energia. Neste estudo foi constatado que em apenas uma indústria consumidora, a concessionária estava tendo um prejuízo anual por energia elétrica não faturada de R\$105.110,26 [FAG99].

Com a privatização das concessionárias de fornecimento de energia este mercado irá tornar-se cada vez mais competitivo, o que significa que cada concessionária terá que se proteger contra perdas na medição de energia para não ficar no prejuízo. Desta forma, nos próximos anos há possibilidade de que os medidores de energia eletrônicos venham a ser utilizados com maior frequência, fazendo com que se torne interessante os estudos sobre medições eletrônicas de energia.

1.4 JUSTIFICATIVAS

Dois itens fundamentais justificam o desenvolvimento deste trabalho. Estes dois itens são, a necessidade de equipamentos para controle da qualidade da energia, como citado no item anterior, e a experiência adquirida no desenvolvimento deste trabalho na construção de equipamentos, compostos por hardware e software, voltados para automação industrial.

A automação industrial compreende uma área de trabalho que vem crescendo intensamente nos últimos anos. Isto acontece pelo fato das grandes vantagens que ela traz para a indústria. Entre elas, segundo [NIS80], pode-se citar:

- a) maior qualidade: o processo controlado automaticamente é menos sujeito a erros do que o controlado por homens;
- b) aumento da produção: diminui-se o desperdício e ainda a máquina pode trabalhar mais tempo por dia do que o homem, além dela ser mais rápida;
- c) aumento de segurança: garantia de maior estabilidade e uniformidade em todos os processos.

Por essas e outras vantagens, a automação industrial vem tendo uma grande aceitação. Além do que, estes equipamentos estão tornando-se cada vez mais populares, aparecendo no cotidiano de todas as pessoas, como por exemplo, em semáforos com foto-sensores, em caixas de supermercados e em eletrodomésticos inteligentes.

Sendo assim, um profissional da computação que tenha conhecimentos de desenvolvimento do software para estes equipamentos de automação, teria um grande leque de possibilidades de aplicações.

Desta forma, este trabalho buscou um estudo sobre uma área de grande interesse para a computação, que é a programação de baixo nível integrada com um hardware que não um microcomputador.

1.5 OBJETIVOS DO TRABALHO

Os objetivos principais do trabalho foram:

- a) desenvolver um equipamento microcontrolado;
- b) estudar a integração entre hardware e software;

c) desenvolver uma técnica de medição e controle de qualidade de energia.

1.6 ESTRUTURA DO TRABALHO

No capítulo 2 é feito um estudo sobre o funcionamento da energia elétrica utilizada na rede pública e é dada uma visão geral sobre trabalhos já existentes na área de medição de energia.

Após isto, no capítulo 3 é inicialmente ilustrado o funcionamento geral do sistema a nível de operador, e então é descrito o hardware utilizado para desenvolver esta aplicação, onde também é descrito a razão que levou a escolha de determinados componentes. Depois é detalhada a especificação e implementação do software utilizado no coletor de dados seguida da especificação e implementação do sistema desenvolvido para o computador em ambiente Delphi.

As conclusões tiradas com base no trabalho e as extensões sugerida para dar continuidade a este trabalho são em seguida apresentadas.

Por fim seguem os anexos 1 e 2 que trazem os fluxogramas utilizados para especificar o software do coletor de dados e alguns exemplos de verificações da rede elétrica executadas pelo sistema.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

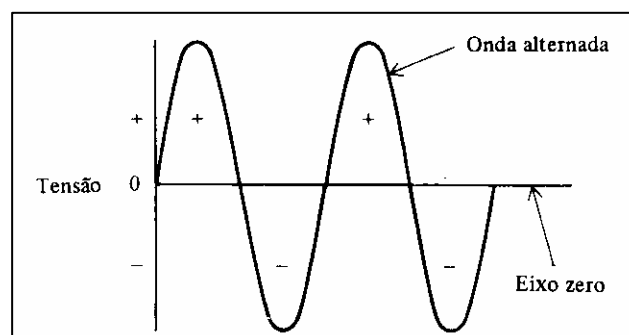
Neste item são levantados alguns dados sobre conceitos básicos do funcionamento da energia elétrica. Também são relatados alguns trabalhos existentes que se enquadram na área de monitoramento da qualidade da energia elétrica.

2.1 TENSÃO ALTERNADA

A tensão alternada pode ser chamada também de tensão CA e é aquela que inverte o sentido (ou polaridade) de um modo periódico e altera a amplitude contínua e periodicamente [FOW92].

Graficamente representada, as alterações de amplitude na onda da tensão CA mostram as variações do módulo no eixo horizontal. Assim, as tensões acima do eixo horizontal são as que possuem polaridade positiva (+), enquanto as tensões abaixo do eixo horizontal têm polaridade negativa (-). O eixo horizontal demonstra a variação do tempo (fig. 1) [GUS85]. Desta forma, um gráfico que representa uma onda de tensão CA mostra a variação de amplitude da tensão em relação ao tempo. À esta representação gráfica é dado o nome de forma de onda da tensão.

FIGURA 1 - REPRESENTAÇÃO GRÁFICA DE UMA TENSÃO CA SENOIDAL



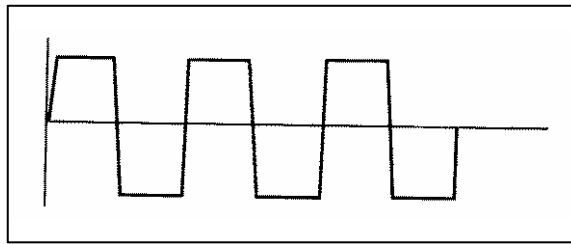
Fonte: [GUS85].

Diferente da tensão CA, a tensão contínua é aquela que sempre mantém a mesma polaridade, ou seja, em um gráfico a tensão contínua sempre está acima do eixo horizontal ou sempre está abaixo deste eixo.

2.1.1 FORMAS DE ONDA CA

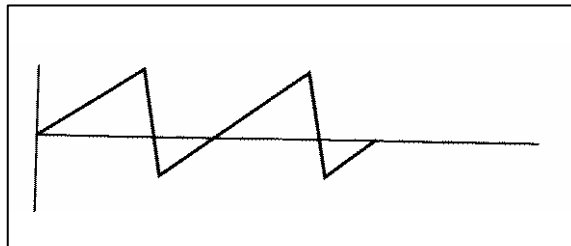
As formas de onda mais comuns de se encontrar são: a forma de onda quadrada, a forma de onda dente de serra e a forma de onda senoidal. A forma de onda quadrada (fig. 2) é mais comum de ser encontrada em *no-breaks* para computadores. A forma de onda dente de serra (fig.3) é utilizada normalmente em receptores de televisão, receptores de radar. A forma de onda utilizada na grande maioria das aplicações é a forma de onda senoidal, mostrada na fig. 4. Esta é a forma de onda utilizada na rede pública de distribuição de energia e na maioria dos motores elétricos encontrados nas indústrias [FOW92].

FIGURA 2 - FORMA DE ONDA QUADRADA



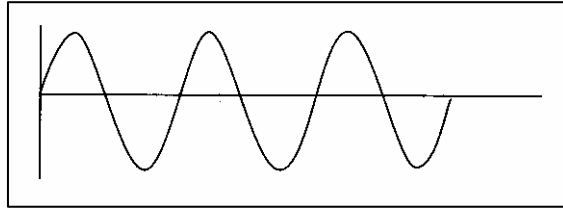
Fonte: [FOW92]

FIGURA 3 - FORMA DE ONDA DENTE DE SERRA



Fonte: [FOW92]

FIGURA 4 - FORMA DE ONDA SENOIDAL

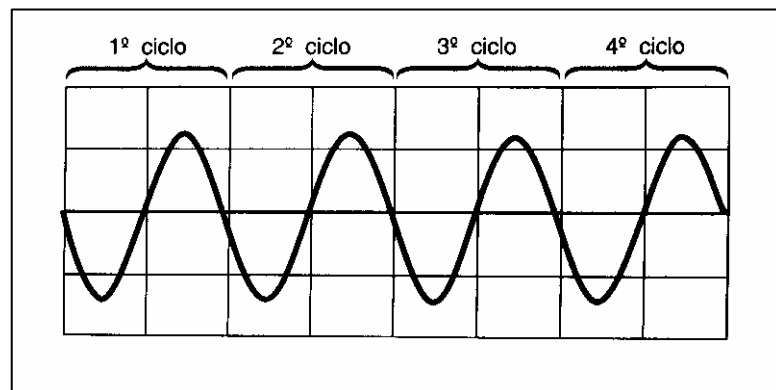


Fonte: [FOW92]

2.1.2 FREQUÊNCIA

O ciclo de uma onda alternada representa a parte da forma da onda que passa pelo quadrante negativo e pelo positivo sem se repetir, ou seja, um ciclo é sempre a repetição de outro ciclo (fig. 5).

FIGURA 5 - CICLOS DE UMA ONDA SENOIDAL



Fonte : [FOW92]

Um semi-ciclo é a metade de um ciclo, assim ele pode ser um semi-ciclo positivo ou um semi-ciclo negativo. Durante um ciclo, ocorrem um semi-ciclo positivo e um semi-ciclo negativo.

A frequência representa o número de ciclos que ocorrem durante um segundo e é dada em Hertz. Por exemplo, na rede elétrica pública do Brasil ocorrem 60 ciclos de onda por segundo, significando que a frequência da energia distribuída pela rede elétrica pública é de 60 Hertz [FOW92].

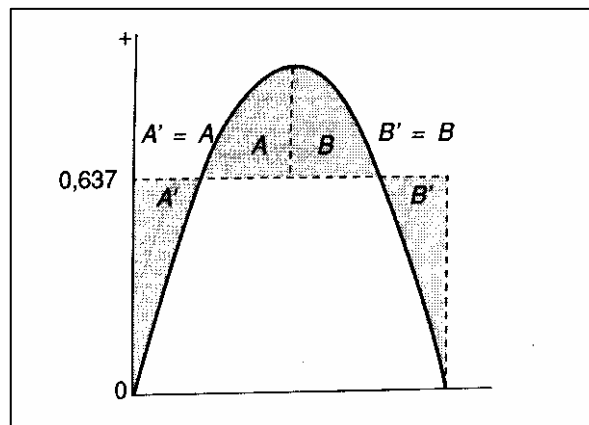
2.1.3 QUANTIFICAÇÃO DE TENSÕES CA

Para se quantificar o valor da tensão de uma corrente alternada, utiliza-se normalmente duas medidas, que são: o valor da tensão média e o valor da tensão eficaz, ou valor da tensão RMS. Na grande maioria dos casos, utiliza-se o valor eficaz para se referir à tensão [MAR73].

A tensão de pico de uma onda senoidal é o valor de tensão máximo (positivo ou negativo) alcançado pela forma de onda em um determinado instante. O valor pico-a-pico é a diferença entre o valor máximo positivo e o valor máximo negativo alcançado pela senóide (fig. 7) [GUS85].

O valor médio da tensão é conseguido através do cálculo da área que a forma de onda gera (fig. 6). Em uma onda senoidal simétrica esta área pode ser calculada através da trigonometria. Este cálculo mostra que a tensão média neste caso é aproximadamente a tensão de pico multiplicada por 0,637 (fig. 7). Em ondas não simétricas o cálculo da tensão média pode ser feita através da soma da tensão em vários intervalos durante um semi-ciclo, então este valor das somas deve ser dividido pelo número de intervalos utilizados. Quanto maior o número de intervalos, maior a precisão do cálculo do valor médio da tensão [FOW92].

FIGURA 6 - EXEMPLO TENSÃO MÉDIA

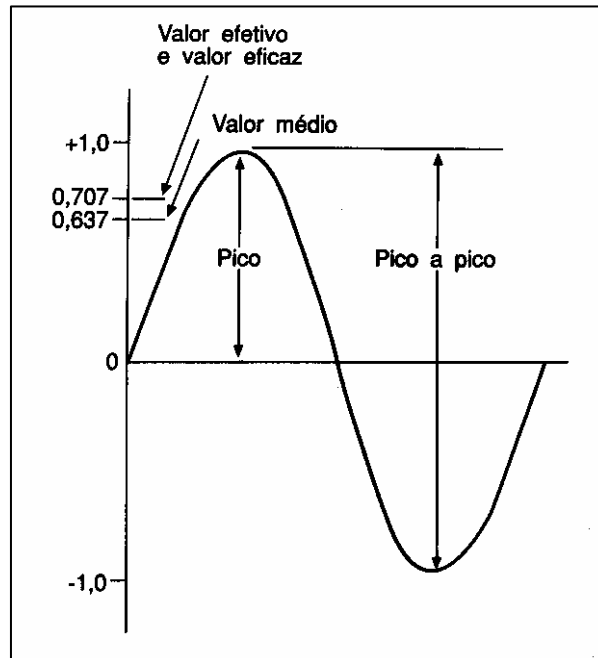


Fonte : [FOW92]

O valor eficaz da tensão CA é o valor de tensão CC que produziria a mesma quantidade de calor quando esta tensão fosse aplicada sobre um circuito resistivo.

Em uma onda senoidal o valor eficaz da tensão é o valor de pico multiplicado por 0,707 (fig. 7).

FIGURA 7 - VALORES DA TENSÃO EM ONDA SENOIDAL



Fonte : [FOW92]

Para se calcular a tensão eficaz pode-se utilizar de um processo matemático chamado valor médio quadrático (*root-mean-square* - RMS). Este processo consiste em dividir um semi-ciclo da onda em vários intervalos e elevar ao quadrado o valor de tensão encontrado em cada intervalo. Então, deve-se somar todos estes valores ao quadrado e dividir-se pela quantidade de intervalos utilizados, como mostrado no QUADRO 1. Após isto deve-se calcular a raiz quadrada desta divisão [FOW92].

QUADRO 1 - EQUAÇÃO RMS

$$T = \sqrt{\frac{\sum t^2}{n}}$$

Onde
 T = Tensão RMS
 t = Valor da tensão da leitura
 n = número de leituras

Fonte : [FOW92]

Algumas das várias conversões possíveis de valores de uma onda senoidal estão representadas na TABELA 1.

TABELA 1 -CONVERSÃO DE VALORES PARA ONDAS SENOIDAIS

Multiplique o valor de	Por	Para obter o valor de
Pico	2	Pico a Pico
Pico a Pico	0,5	Pico
Pico	0,637	Médio
Médio	1,570	Pico
Pico	0,707	RMS (eficaz)
RMS (eficaz)	1,414	Pico
Médio	1,110	RMS (eficaz)
RMS (eficaz)	0,901	Médio

Fonte : [GUS85]

2.1.4 ÂNGULOS EM TENSÕES CA

Para fazer referência a um determinado momento em uma onda senoidal, pode-se fazer uso dos ângulos em graus da onda. Desta forma não importando a frequência em que a onda está operando, pode-se descobrir a amplitude da tensão [FOW92].

O valor instantâneo da tensão em qualquer ponto da onda senoidal é dado pela equação mostrada no QUADRO 2.

QUADRO 2 - EQUAÇÃO DA TENSÃO EM FUNÇÃO DO ÂNGULO

$$v = V_m \text{ sen}\theta$$

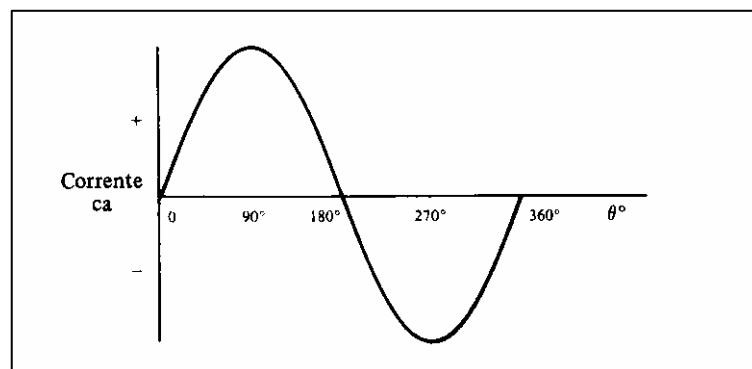
onde

v = valor instantâneo da tensão
 V_m = valor máximo da tensão (tensão de pico)
 θ = ângulo da onda

Fonte : [GUS85]

Um ciclo completo tem 360° (fig. 8), sendo assim cada semi-ciclo termina com 180° . As tensões de pico positiva e negativo ocorrem aos 90° e aos 270° .

FIGURA 8 - EXEMPLO DE UM CICLO DE TENSÃO ALTERNADA



Fonte [GUS85]

Este item além de mostrar os principais conceitos do funcionamento da energia elétrica com tensão CA, também procurou mostrar as maneiras de se quantificar a tensão.

Assim, foi com base nestas informações que foi desenvolvido o aparelho responsável pela coleta de dados da energia elétrica.

2.2 TRABALHOS CORRELATADOS

Neste item são apresentados alguns equipamentos encontrados no mercado, ou que foram utilizados em experimentos, que se encaixam na área de monitoramento da qualidade de energia. Após a descrição do funcionamento destes aparelhos é feita uma comparação entre os equipamentos já existentes e o equipamento que foi desenvolvido no trabalho aqui relatado.

2.2.1 DESCRIÇÃO DOS TRABALHOS

Em 1993 foi desenvolvido um hardware pelo IEE/USP chamado RCC 2.0 para fazer medições do gasto de energia por um consumidor [FAG99]. Este aparelho tinha apenas a função de medir a energia gasta e não de monitorar a qualidade da energia elétrica.

A USP também desenvolveu em 1998 um equipamento chamado SAGA 1000 para fazer medições do nível de tensão da energia da rede elétrica. Este equipamento fazia apenas uma medição periódica do nível de tensão e registrava esta informação [AFF99]. No exemplo encontrado em que este aparelho foi utilizado, o equipamento fazia uma leitura a cada 5 minutos.

A empresa CCK Automação Ltda lançou este ano um medidor eletrônico de consumo de energia elétrica (CCK 4500) capaz de armazenar informações sobre a qualidade de energia. Este aparelho registra a tensão máxima e mínima atingida e também armazena a forma da onda da energia elétrica durante um determinado tempo, fazendo leituras da tensão com intervalos constantes.

2.2.2 AVALIAÇÃO COMPARATIVA

O equipamento desenvolvido e aqui relatado é capaz de avaliar a distorção sofrida pela forma de onda, armazenando assim, apenas as informações mais relevantes, enquanto que o CCK 4500 armazena a forma de onda durante intervalos de tempo pré-determinados, sem levar em consideração se a onda está distorcida ou não. Além disto o equipamento

desenvolvido também engloba a função de registrar o nível da tensão da energia elétrica quando há alteração neste nível de tensão. O CCK 4500 não faz esta função e o SAGA 1000 faz, mas também com intervalos de tempo pré-determinados não importando se houve ou não variação da tensão. Desta forma, foi desenvolvido um equipamento que executa as funções de medição da qualidade de energia, englobando as funções feitas pelos aparelhos CCK 4500 e SAGA 1000, com a vantagem de analisar as informações antes de armazená-las, o que faz com que o aparelho utilize a memória apenas para o necessário, aumentando a capacidade de armazenamento.

3 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

3.1 OPERABILIDADE DO SISTEMA

O sistema desenvolvido é composto por um aparelho chamado de coletor de dados e por um software para ser executado em um microcomputador.

O coletor de dados é um hardware desenvolvido para fazer a verificação da rede elétrica. Após este equipamento ter ficado durante algum período verificando as oscilações na rede elétrica, ele é ligado através da porta serial a um computador para onde serão transmitidas as informações sobre a rede elétrica verificada.

Para se iniciar uma verificação da rede elétrica basta que se conecte o aparelho coletor de dados em uma tomada na rede elétrica. Neste momento o coletor de dados irá acender o *led* verde indicando que está tudo pronto para iniciar a verificação da rede elétrica. Quando for apertado o botão “Início/Fim” o aparelho irá acender o *led* vermelho e irá começar a fazer a verificação da energia elétrica. Basta então que deixe-se o aparelho coletar informações durante o período desejado, e então deve-se apertar o botão “Início/Fim” que o aparelho para com a verificação da energia. Após isto, leva-se o coletor de dados até o microcomputador e ligá-o através de uma cabo na porta serial. Após, liga-se o coletor de dado em uma tomada e aciona-se o botão “Transferir Dados” no sistema no microcomputador. Após, o sistema irá checar se o coletor de dados está ligado corretamente. Se algum erro ocorrer, será indicado na tela que o coletor não está presente. Caso tudo esteja certo o sistema irá solicitar a data e a hora em que foi iniciada a coleta de dados da rede elétrica. Basta então informar estes dados para que a transferência dos dados coletados inicie.

Após o final da transmissão dos dados será mostrado na tela algumas informações sobre as leituras realizadas da rede elétrica, como exemplo: tensão máxima alcançada, tensão mínima alcançada e tensão média.

Acionando o botão “Gerar gráficos das oscilações” apresentará na tela um gráfico que demonstra a variação da tensão média e da frequência em relação ao tempo de verificação.

Acionando-se o botão “Gerar gráficos dos segundos”, um gráfico será apresentado, o qual demonstra a forma de onda da energia durante um segundo. Uma barra de rolagem na parte superior da tela serve para ser realizada a seleção para que seja apresentado o gráfico referente a outros segundos. Esta seleção permite que seja escolhido o gráfico de um dos 50 segundos que sofreram maior distorção na forma de onda da energia.

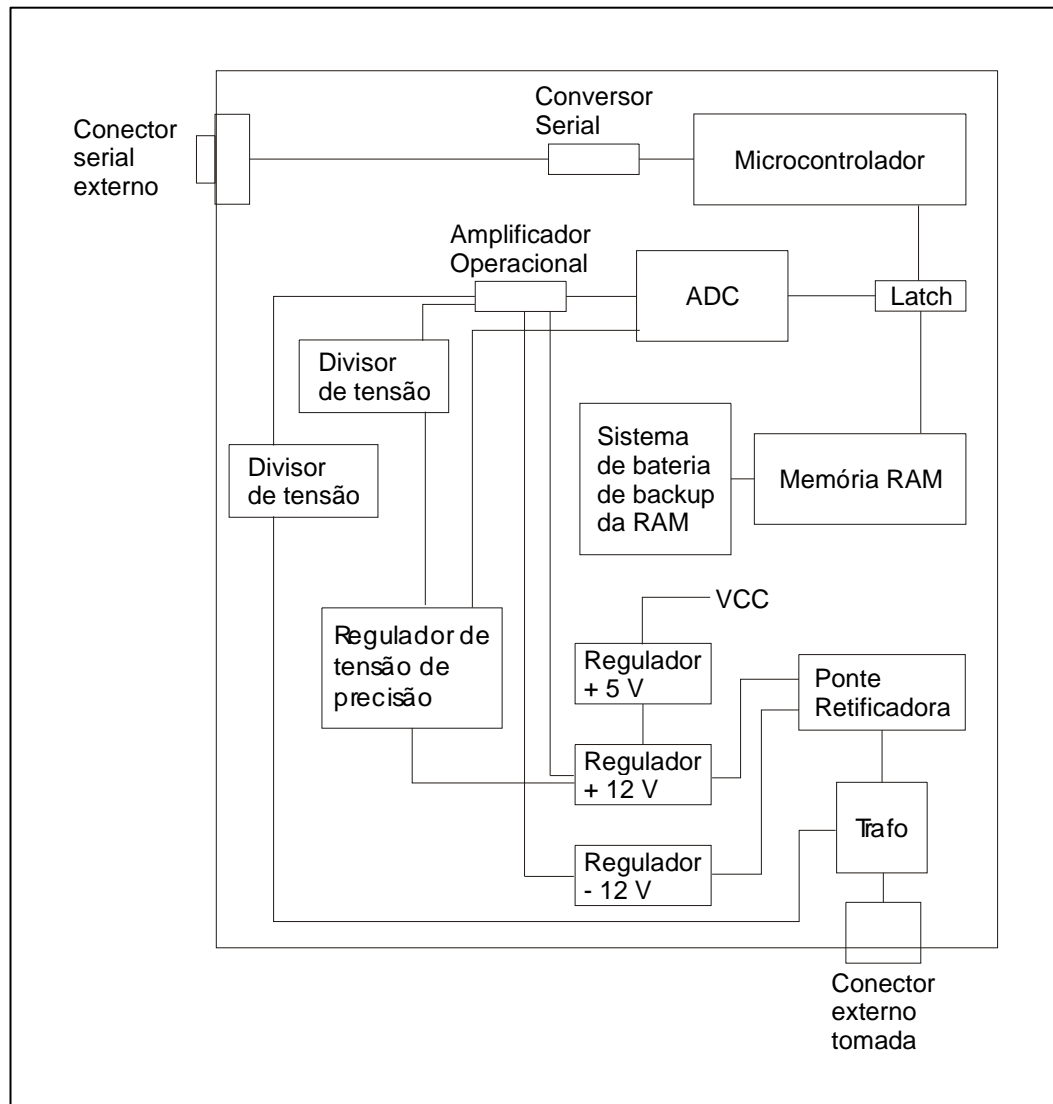
3.2 HARDWARE UTILIZADO

O hardware utilizado no coletor de dados basicamente é composto por:

- a) um microcontrolador para gerenciar o sistema;
- b) uma memória externa ao microcontrolador para armazenar as informações coletadas da energia elétrica;
- c) um conversor analógico-digital - ADC para fazer as leituras de tensão da energia elétrica;
- d) um sistema para compatibilizar a comunicação serial do microcontrolador com o computador.

A FIGURA 9 ilustra um diagrama de bloco de como foi realizada a ligação destes componentes do hardware.

FIGURA 9 - DIGRAMA DE BLOCO DO HARDWARE



Para o regulador de tensão de +12V foi utilizado o LM7812 e para o regulador de -12V foi utilizado o LM7912. Para regular a tensão em +5V e alimentar o VCC dos integrados foi utilizado o LM7805.

Como regulador de tensão de precisão foi utilizado o LM336 da National Semiconductors. Este integrado gera uma tensão de saída de 5.0V ajustável por um trimpot, e tem variação de tensão mínima em função da variação de temperatura.

Um dos dois divisores de tensões colocados na entrada do amplificador operacional tem a função de fornecer uma tensão de referência de 2,5 V. O outro tem a função de reduzir a

tensão CA vinda do trafo que será utilizada como entrada analógica do ADC. Estes divisores de tensão foram montados com trimpot de 10 K Ω .

Como amplificador de tensão foi utilizado o LM324 que também é fabricado pela National Semiconductors. Este integrado é alimentado com tensão positiva e negativa de 12 V. A sua função é de elevar a tensão CA e fazer que o valor de tensão de 0 Volts de saída do trafo seja amplificado para 2,5V. Desta forma, a intenção é que o meio da onda CA seja o 2,5V e que esta onda varie nos limites máximos de 0V a 5V, que são os valores de tensão que o ADC tem capacidade de medir.

Assim, o sistema todo ficou com 3 pontos de ajustes. Um dos pontos gera a tensão de referência de +5V para o ADC. O outro ponto de ajuste pega esta tensão de +5V e divide ao meio para 2,5V, para ser utilizada como referência pelo amplificador operacional. O terceiro ajuste tem a função de dimensionar a tensão CA para que fique com os valores desejados para a conversão do sinal analógico para digital.

Este terceiro ponto deve ser ajustado para que uma tensão de +512V na rede elétrica gere uma tensão de +2,5V após o ajuste e uma tensão de -512V gere -2,5V. Com estes valores de tensões o amplificador operacional irá gerar na sua saída uma tensão de +5V para +512V na rede elétrica e uma saída de 0V para -512V na rede elétrica. A razão para que sejam utilizados estes valores são explicadas no item “3.3.4 *CONVERSÃO DO SINAL ANALÓGICO*”.

3.2.1 O MICROCONTROLADOR

O microcontrolador escolhido para ser utilizado no coletor de dados foi o AT89C51-24PC fabricado pela Atmel (fig. 10). As principais razões que levaram à escolha deste microcontrolador foram:

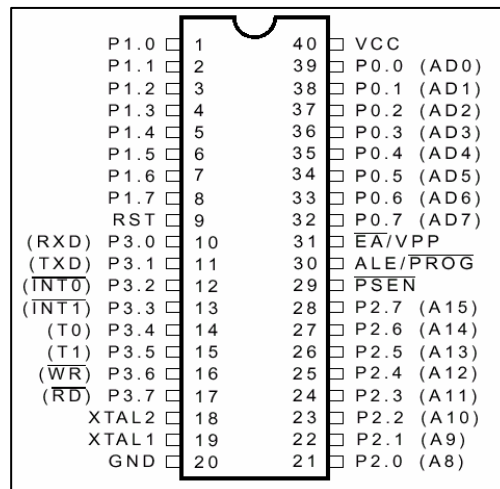
- a) o 8951 pertence a família do 8051 da Intel, que é um dos microcontroladores mais comuns de se encontrar no mercado e conta com uma grande bibliografia sobre seu funcionamento e sua estrutura, além do seu custo ser reduzido;
- b) por ter uma grande quantidade de pinos de entradas e saídas e já possuir um sistema de multiplexação do barramento de endereços e do barramento de dados o que facilitou a ligação da memória externa e do ADC;

- c) conta com um canal serial que pode ser facilmente adaptado para funcionar com o padrão RS-232 utilizado pelo microcomputador;
- d) o software fica armazenado em uma memória *FLASH* interna no *chip*, o que dispensa o uso de uma EPROM externa para este software,. Assim esta memória de programa pode ser rapidamente apagada e regravada a nova versão do software, o que facilita o desenvolvimento e os testes do software;
- e) pode trabalhar com até 24 Mhz, fato importante visto que este projeto requer uma grande velocidade do microcontrolador.

As principais características do microcontrolador AT89C51 são:

- a) tem baixo consumo de energia;
- b) possui 4 Kb de memória de programa de Memória Flash Somente de Leitura Programável e Apagável – Flash Programmable and Erasable Read Only Memory (PEROM);
- c) trabalha com até 24 Mhz;
- d) tem 3 níveis de segurança para a memória de programa;
- e) 128 *bytes* de RAM interna para uso geral;
- f) 32 pinos de entrada e saída, sendo 16 utilizados como barramento de dados e endereços;
- g) 2 contadores de 16 bits;
- h) 6 fontes de interrupções – 2 interrupções dos temporizadores, 2 interrupções externas e 2 interrupções da comunicação serial (transmissão e recepção).
- i) 1 canal serial full-duplex.

FIGURA 10 - MICROCONTROLADOR 89C51



Fonte : [ATM97]

Os pinos de entrada e saída do microcontrolador foram ligados da seguinte forma:

- P0.0 (AD0) ... P0.7 (AD7): barramento de dados e endereço baixo, ligado com a RAM e com o ADC;
- P2.0 (A16) ... P2.2 (A18): endereçamento extra, ligado com a RAM;
- P2.3 .. P2.7: não conectado;
- P2.6 (A14): ligado ao *chip select* do ADC;
- P2.7 (A15): ligado ao *chip select* da RAM;
- P1.0 (A8) ... P1.7 (A15): ligado ao endereçamento alto da RAM;
- P3.0 (RXD) e P3.1 (TXD): foram ligados ao circuito MAX232 para ser feita a comunicação serial com o microcontrolador;
- P3.2 (INT0): botão Inicia/Para;
- P3.3 (INT1): não conectado;
- P3.4 (T0) e P3.5 (T1): *leds*;
- P3.6 (WR): ligado ao WR da RAM e do ADC;
- P3.7 (RD): ligado ao RD da RAM e do ADC.

Os pinos P2.6 e P2.7 foram ligados aos pinos *chip select* (CS) da RAM e do ADC respectivamente, para que possa ser feita a seleção do *chip* em um determinado momento. Assim quando se deseja fazer uma leitura ou escrita na RAM, deve-se endereçar o pino P2.7 e

deixar o P2.6 desligado, e quando se desejar fazer um acesso ao ADC deve-se setar o P2.6 e limpar o P2.7. Isto é feito através das instruções de acesso a dados externos, pois estes pinos são multiplexados.

Os pinos P2.0 até P2.2 são ligados ao endereços mais altos da RAM, pois como a memória utilizada tem 512 Kb necessita de 19 bits de endereçamento. Como no barramento de endereços estão ligados apenas 8 pinos e mais 8 pinos no “porto” 1, foi necessário utilizar 3 pinos extras para se endereçar toda a RAM. Assim quando vai ser feito um acesso a RAM, primeiro deve-se preparar os 8 bits do porto 1 e então executar o comando de escrita ou leitura. O algoritmo utilizado para endereçar a memória RAM pode ser visto no ANEXO 1 no fluxograma da rotina EndRAM.

Foi utilizado um cristal oscilador de 22.118.400 Hz como clock do microcontrolador. Este cristal possibilita a sincronização da comunicação serial entre o microcontrolador e o microcomputador em uma velocidade de 115.200 bps.

3.2.2 A MEMÓRIA EXTERNA

A memória externa do microcontrolador precisava ser de um tamanho razoavelmente grande para armazenar todas as informações sobre as oscilações da rede elétrica, pois o tamanho da memória externa é que indica por quanto tempo o coletor pode ficar verificando a rede elétrica, visto que quando a memória esgota-se, o coletor pára de fazer as amostragens da rede.

Esta memória é do tipo não volátil, pois após o coletor ter ficado verificando a rede elétrica durante um determinado período, ele é desligado e levado até um microcomputador para os dados serem transferidos.

Assim, havia duas opções de memórias não voláteis que pudessem ser constantemente atualizadas: a memória EEPROM e a FLASH.

Foi constatado que a memória EEPROM é extremamente lenta para ser gravada, além de ser difícil de ser encontrada no mercado em um tamanho maior do que 128 Kb.

A memória FLASH toda vez que vai ser gravada deve ser primeiro apagada. Mesmo nos modelos mais novos não é possível alterar apenas um *byte*, e deve-se apagar um bloco todo (normalmente um bloco é igual a 64 Kb) antes de escrever nele. Este fator faz com que a

velocidade fique prejudicada, além de causar uma grande mão de obra em deslocar os dados de um lado para o outro.

Assim, foi decidido utilizar uma memória RAM como memória externa de dados. Esta memória normalmente é de menor custo em relação às outras duas anteriormente citadas e tem um excelente desempenho de velocidade. O problema deste tipo de memória é que ela não retém os dados quando há falta de energia. Para solucionar este problema, foi montado um sistema com bateria para que a memória seja mantida energizada quando o aparelho é desligado. Maiores detalhes são descritos no item 3.2.3 *A BATERIA DA MEMÓRIA*.

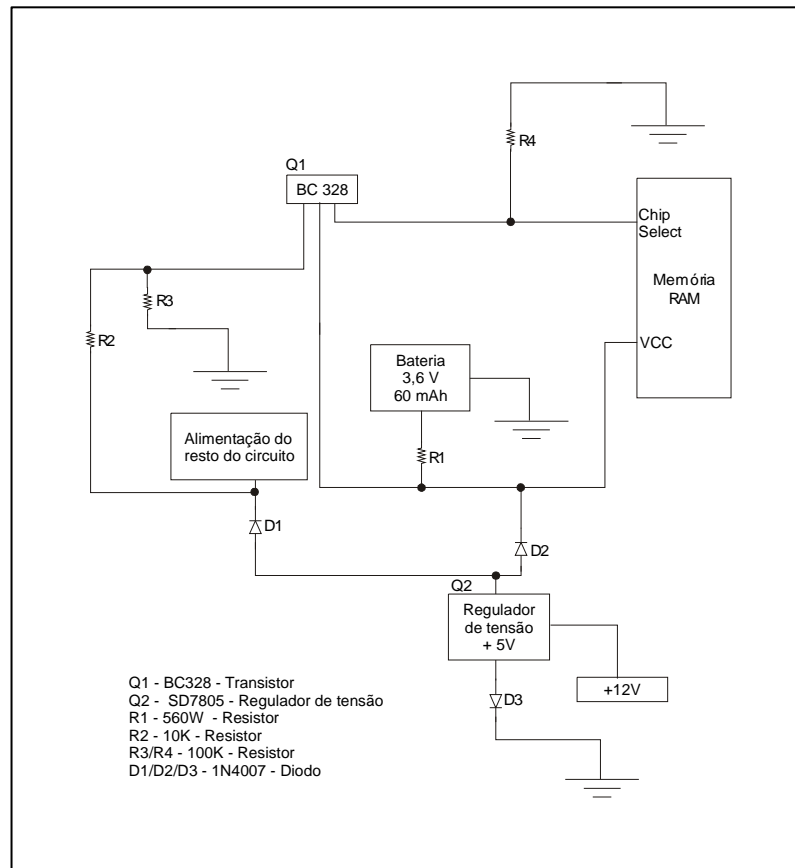
A memória escolhida foi a KM684000LP-7 fabricada pela SamSung. Esta memória tem o funcionamento básico idêntico a maioria das memórias RAM encontradas no mercado. Suas características especiais são o fato de ela ter uma grande capacidade de armazenamento (512 Kb) em relação às outras encontradas no mercado e por ela trabalhar com baixo consumo de energia, o que possibilita o uso do sistema de bateria de *backup*.

3.2.3 A BATERIA DA MEMÓRIA

Para que a memória externa de dados não perdesse os dados quando o coletor fosse desligado, foi montado um sistema de bateria de *backup* para que a memória permanecesse energizada e assim ela mantivesse os dados até que a bateria de *backup* esgote-se. Quando a bateria estivesse com carga total ela teria capacidade de segurar a memória com energia suficiente para manter os dados durante mais ou menos 9 dias, como foi constatado em um teste feito descrito no item 3.2.4 *TESTE DA BATERIA DA MEMÓRIA*.

A ligação elétrica deste sistema de bateria é ilustrada na FIGURA 11.

FIGURA 11 - LIGAÇÃO DA BATERIA DA MEMÓRIA



O diodo D2 (fig.11) tem a função de manter a energia fornecida pela bateria apenas para a memória, pois se não houvesse este diodo, esta energia iria alimentar todo o sistema.

O diodo D3 tem a função de elevar a tensão de saída do regulador de tensão (Q2) para mais ou menos 5,6V. Isto é feito para compensar a perda de tensão do diodo D2.

O diodo D1 tem apenas a função de reduzir a tensão novamente para 5,0 V.

O resistor R1 tem a função de limitar a corrente de carga da bateria.

O transistor Q1 é acionado quando há falta de energia. antes do diodo D2. Isto faz com que o pino *Chip Select* da memória seja setado, fazendo assim com que ela entre em *Stand-By* e reduza o seu consumo de corrente elétrica de 10 mA para no máximo 100 μ A e reduzir a sua necessidade de tensão de 5.0V para 2.0V.

3.2.4 TESTE DA BATERIA DA MEMÓRIA

Esta experiência foi realizada com a intenção de testar se a bateria de *backup*, que mantém a memória RAM externa energizada quando o equipamento é desligado, estava funcionando corretamente e também testar por quanto tempo a bateria forneceria energia suficiente para manter os dados intactos na memória.

3.2.4.1 PREPARAÇÃO

Para fazer este experimento foram preparados dois programas de teste. Um programa foi gravado no arquivo “GRAVA.ASM” e tem a função de gravar o valor hexadecimal “0F” em todos os endereços da RAM. O outro software, chamado “LE.ASM”, lê todos os endereços e testa se está gravado o valor “0F”. Caso for lido em algum endereço um valor diferente de “0F”, então o microcontrolador manda apagar os *leds* de indicação, caso contrário os *leds* irão ficar piscando intermitentemente. Estes dois programas estão nos QUADROS 3 e 4.

Antes de se iniciar os testes o equipamento ficou ligado na energia durante 48 horas para que a bateria atingisse carga total.

3.2.4.2 PRIMEIRA ETAPA

Para se iniciar o teste, foi gravado no microcontrolador o programa “GRAVA.ASM”. Após o programa ter sido executado, o equipamento foi desligado da rede elétrica e foi trocado o microcontrolador por um com o programa “LE.ASM”. Quando o equipamento foi religado, os *leds* começaram a piscar, indicando que, apesar do equipamento ter ficado desligado da tomada por mais ou menos 3 minutos, os dados ainda se mantinham intactos na memória. Isto provava que o sistema de bateria de *backup* da RAM funcionou adequadamente.

3.2.4.3 SEGUNDA ETAPA

Na segunda etapa dos testes, foram feitas medições periódicas da tensão da bateria com o equipamento desligado. Isso foi feito para se descobrir por quanto tempo a bateria seria capaz de fornecer energia suficiente para manter os dados na RAM.

Nesta etapa o equipamento era ligado à rede elétrica uma vez por dia durante 15 segundos, para se testar se os dados ainda estavam na memória.

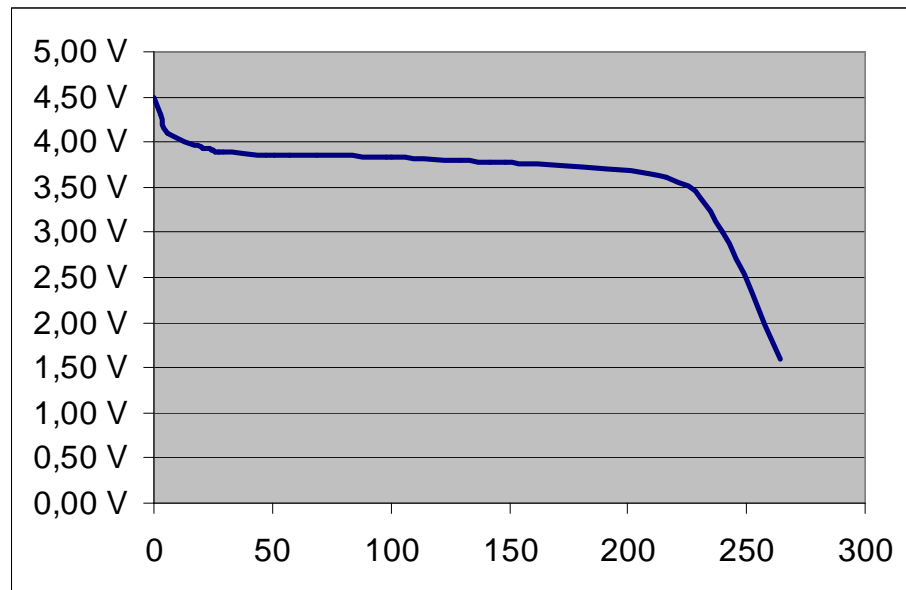
As medições da tensão da bateria estão na TABELA 2. O campo “tempo” da tabela indica o tempo decorrido em horas desde o momento em que o equipamento foi desligado da rede elétrica.

TABELA 2 -LEITURAS DA TENSÃO DA BATERIA

Tempo (Horas)	Tensão		Tempo (Horas)	Tensão
0	4,50 V		47	3,86 V
3	4,30 V		51	3,86 V
6	4,10 V		57	3,86 V
20	3,94 V		69	3,85 V
21	3,93 V		98	3,83 V
23	3,92 V		100	3,83 V
24	3,91 V		129	3,80 V
25	3,91 V		142	3,78 V
26	3,90 V		148	3,77 V
27	3,90 V		216	3,60 V
28	3,89 V		240	3,00 V
29	3,89 V		264	1,60 V

Os dados não foram corretamente lidos da memória somente depois de decorridas 260 horas após o equipamento ter sido desligado da rede elétrica. Analisando-se o gráfico da FIGURA 12, percebe-se que a partir deste momento a tensão havia caído abaixo de 2 Volts, que é a tensão mínima indicada pelo fabricante da memória para se manter os dados íntegros.

FIGURA 12 - GRÁFICO DE VARIAÇÃO DE TENSÃO DA BATERIA



3.2.4.4 CONCLUSÕES DOS TESTES

Desta forma ficou provado que a bateria de *backup* da memória RAM funcionou bem durante um período muito maior do que o necessário para esta aplicação, já que neste caso a bateria deve manter a memória energizada somente durante o tempo necessário para que depois das leituras da rede elétrica o coletor de dados seja desligado e levado para um microcomputador, para serem transferidos os dados.

Alguns testes com a bateria de *backup* no sentido de verificar se oscilações na rede elétrica poderiam causar algum dano aos dados na memória foram feitos. Para se fazer estes testes, o equipamento foi ligado e desligado da tomada várias vezes consecutivas rapidamente. Mesmo desta forma, os dados foram mantidos intactos na memória.

QUADRO 3 - PROGRAMA LE.ASM

<pre> prgLeRam: mov DPL,varEndL mov P1,varEndH mov A,varEndX orl A,#B'10000000 mov DPH,A movx A,@DPTR mov varRam,A ret ;Nome.....: Le.ASM ;Autor.....: Daniel Busnardo ;Criado.....: 16/08/99 ;Atualizado.: 16/08/99 ;Descricao.: ;-Le todos os enderecos da memoria (512 Kb) e checa se todos são H'0F ;-Se todos são iguais, pisca os dois led's ;-Se não apaga um led e acende o outro. ;pepara para ler o primeiro endereco da memoria mov varEndL,#0 mov varEndH,#0 mov varEndX,#0 ; loop de leitura para comparar os dados loopComp: ; chama a rotina de leitura da memoria acall prgLeRam mov A,varRam ; se byte lido for diferente de H'0F vai para o erro cjne A,#H'0F,Erro ; senao incrementa o endereco para nova leitura mov A,varEndL ; testa se o end. baixo vai gerar overflow cjne A,#H'FF,loopComp1 ; se gerar overflow entao zera end. baixo e testa o end. do meio mov varEndL,#0 mov A,varEndH cjne A,#H'FF,loopComp2 ; se gerar overflow entao zera end. do meio e testa se é o fim mov varEndH,#0 mov A,varEndX cjne A,#H'7,loopComp3 ; se é o fim da memoria entao vai para o loop ajmp Loop ajmp loopComp loopComp1: ; se não incrementa o endereco baixo inc varEndL ajmp loopComp </pre>	<pre> loopComp3: ; senao incrementa o endereco alto inc varEndX ajmp loopComp loopComp2: ; senao incrementa o endereco do meio inc varEndH ; fica piscando os led's Loop: setb P3.4 clr P3.5 acall Espera clr P3.4 setb P3.5 acall Espera ajmp Loop ; apaga um led e acende o outro Erro: setb P3.4 ajmp Erro ; espera por + ou - 66000 ciclos Espera: mov R0,#H'FF Esp: mov R1,#H'FF Esp1: djnz R1,Esp1 djnz R0,Esp ret ; move para varRam o byte lido no endereco varEndL, varEndH, varEndX da ; memoria prgLeRam: mov DPL,varEndL mov P1,varEndH mov A,varEndX orl A,#B'10000000 mov DPH,A movx A,@DPTR mov varRam,A ret </pre>
--	--

QUADRO 4 - PROGRAMA GRAVA.ASM

<pre> ;Nome.....: Grava.ASM ;Autor.....: Daniel Busnardo ;Criado.....: 16/08/99 ;Atualizado.: 16/08/99 ;Descricao.: ;-Grava o valor H'0F em toda a memoria (512 Kb) ;-Le todos os enderecos e checka se gravou todo certo ;-Se gravou tudo certo, pisca os dois led's ;-Se não gravou corretamente apaga um led e acende o outro. ; Variaveis utilizadas para enderecar a memoria .equ varEndL,H'30 .equ varEndH,H'31 .equ varEndX,H'32 ; Variavel com o byte a ser escrito, ou que foi lido da memoria .equ varRam,H'33 ; Apaga os dois led's clr P3.4 clr P3.5 ; Prepara o byte para ser escrito mov varRam,#H'0F ; Prepara o endereco do primeiro byte da memoria mov varEndL,#0 mov varEndH,#0 mov varEndX,#0 ; loop para gravar em todos os enderecos da memoria loopInc: ; chama a rotina de gravacao da memoria acall prgGravaRam </pre>	<pre> ; testa se o byte do endereco baixo vai gerar overflow mov A,varEndL cjne A,#H'FF,loopInc1 ; se gerar overflow entao zera end. baixo e testa o end. do meio mov varEndL,#0 mov A,varEndH cjne A,#H'FF,loopInc2 ; se gerar overflo entao zera end. do meio e testa se já e o fim mov varEndH,#0 mov A,varEndX cjne A,#H'7,loopInc3 ; se for o fim da memoria vai para a leitura ajmp le loopInc3: ; se não incrementa endereco alto inc varEndX ajmp loopInc loopInc2: ; senao incrementa endereco do meio inc varEndH ajmp loopInc loopInc1: ; senao incrementa endereco baixo inc varEndL ajmp loopInc ; grava o byte varRam nos enderecos varEndL, varEndH, varEndX da memoria prgGravaRam: mov DPL,varEndL mov P1,varEndH mov A,varEndX orl A,#B'10000000 mov DPH,A mov A,varRam movx @DPTR,A ret </pre>
---	--

3.2.5 O CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL (ADC)

Foi utilizado como conversor analógico – digital o ADC0808 produzido pela National Semiconductors. Este ADC trabalha com 8 bits facilmente encontrado no mercado com um custo reduzido em comparação com outros conversores de maior resolução.

Os conversores encontrados normalmente hoje no mercado são os de 8, 10, 12, 14 ou 16 bits. O uso de um conversor com maior resolução no coletor de dados geraria uma maior definição da forma da onda lida da rede elétrica.

Como é visto no item 3.3.4 *CONVERSÃO DO SINAL ANALÓGICO*, o ADC utilizado no coletor faz com que cada incremento do sinal digital, até 255 no máximo, corresponda a 4 Volts de alteração na rede elétrica. Ou seja, se o ADC faz uma leitura igual a 128, isto indica que a tensão na rede elétrica é 0 Volts, quando o ADC fizer uma leitura de 129, isto indica que a tensão é 4 Volts. Assim caso a tensão na rede varie 2 Volts, por exemplo, pode acontecer do coletor não perceber esta oscilação. Por isso, apesar de ter sido utilizado um

ADC de 8 bits, deve-se levar em consideração a possibilidade de se trocar o ADC caso seja necessário.

A principal dificuldade da utilização de um ADC de maior resolução é o custo que aumenta significativamente.

Outro fator importante nas características de funcionamento do ADC, que deve ser levada em consideração, é a velocidade de conversão do sinal analógico. O ADC utilizado no coletor faz a conversão em até 100 μ s. Como é feita uma verificação a cada 200 μ s, este conversor pode ser utilizado sem problemas. Caso houvesse um pico de tensão no intervalo das leituras do ADC, esta oscilação não seria percebida. Assim, caso seja necessário trabalhar com um intervalo de leitura menor para se poder perceber oscilações extremamente rápidas, faz-se necessário trocar o ADC para um com maior velocidade de conversão.

3.2.5.1 SIMULAÇÕES DAS LEITURAS DA REDE ELÉTRICA

Para fazer a escolha do ADC a ser utilizado, primeiramente foram montados os gráficos das FIGURAS 13 a 16 e as TABELAS 3 e 4, mostradas adiante. Com os dados gerados por estas tabelas foi possível verificar a viabilidade de fazer as leituras da rede elétrica com medições em intervalos de tempo pré-determinados.

A TABELA 3 foi calculada considerando-se que seria feita uma leitura da tensão da rede elétrica a cada 200 μ s. Desta forma, como a energia distribuída no Brasil trabalha 60 Hertz, isto significa que cada ciclo de onda ocorre a cada 16,666 milissegundos. Assim verificou-se que iriam ocorrer mais ou menos 83 verificações em cada ciclo de onda. Como cada ciclo corresponde a 360 graus, cada verificação iria ocorrer aproximadamente a cada 4,32 graus.

A coluna seno da TABELA 3 indica o resultado do cálculo do seno do ângulo de cada leitura. Em uma onda senoidal com tensão eficaz de 220 Volts a tensão de pico é de 311 Volts. Assim, multiplicando-se a coluna seno pela tensão de pico de 311 Volts tem-se a tensão da onda no momento de cada leitura, representada pela coluna tensão real. Na coluna “tensão medida” é o valor de tensão que seria lido por um conversor analógico-digital de 8 bits de resolução.

O gráfico da FIGURA 13 foi montado com a coluna “tensão real” da TABELA 3. Este gráfico mostra qual a melhor possibilidade de leitura da rede trabalhando com um intervalo de leitura de 200 μ s. O gráfico da FIGURA 14 mostra os valores da coluna tensão medida, e representa como seriam as mesmas leituras feitas pelo gráfico da FIGURA 13, mas trabalhando-se com o limite de um conversor de 8 bits.

Analisando-se os dois gráficos (FIGURAS 13 e 14) pode-se notar que apesar de haver diferenças entre o desenho dos dois, estas diferenças são relativamente pequenas em relação às dimensões do gráfico. Isto significa que apesar do conversor de 8 bits limitar as leituras para cada 4 Volts (veja item 3.3.4. *CONVERSÃO DO SINAL ANALÓGICO*), isto não faz com que as leituras sofram muita alteração.

Como nos gráficos das FIGURAS 13 e 14 é possível notar o aparecimento de “degraus”, foi montada a TABELA 4 e os gráficos das FIGURAS 15 e 16 com o intervalo de leitura a cada 1 grau da forma da onda. Isto faz com que seja feita uma leitura a cada 46 μ s. As colunas da TABELA 4 foram calculadas de forma semelhante aos campos da TABELA 3.

O gráfico da FIGURA 15 mostra a coluna tensão real da TABELA 4, que é a melhor possibilidade de leitura neste intervalo de tempo. E o gráfico da FIGURA 16 mostra a coluna tensão medida da TABELA 4, que representa as leituras que seriam feitas por um conversor de 8 bits.

Nos gráficos das FIGURAS 15 e 16 também é possível notar-se que há alterações no formato do desenho, mas mais uma vez esta alteração é muito pequena em relação ao tamanho total do desenho.

TABELA 3 -SIMULAÇÃO DAS TENSÕES A CADA 4,32 GRAUS

Angulo	Seno	Tensão Real	Tensão Medida	Angulo	Seno	Tensão Real	Tensão Medida
0,00	0,00000	0,00	0,00	181,44	-0,02513	-7,82	-8,00
4,32	0,07533	23,43	20,00	185,76	-0,10036	-31,21	-32,00
8,64	0,15023	46,72	44,00	190,08	-0,17502	-54,43	-56,00
12,96	0,22427	69,75	68,00	194,40	-0,24869	-77,34	-80,00
17,28	0,29704	92,38	92,00	198,72	-0,32094	-99,81	-100,00
21,60	0,36812	114,49	112,00	203,04	-0,39137	-121,72	-124,00
25,92	0,43712	135,94	132,00	207,36	-0,45958	-142,93	-144,00
30,24	0,50362	156,63	156,00	211,68	-0,52517	-163,33	-164,00
34,56	0,56727	176,42	176,00	216,00	-0,58779	-182,80	-184,00
38,88	0,62769	195,21	192,00	220,32	-0,64706	-201,23	-204,00
43,20	0,68455	212,89	212,00	224,64	-0,70265	-218,52	-220,00
47,52	0,73751	229,37	228,00	228,96	-0,75425	-234,57	-236,00
51,84	0,78629	244,54	244,00	233,28	-0,80157	-249,29	-252,00
56,16	0,83060	258,32	256,00	237,60	-0,84433	-262,59	-264,00
60,48	0,87018	270,63	268,00	241,92	-0,88229	-274,39	-276,00
64,80	0,90483	281,40	280,00	246,24	-0,91524	-284,64	-288,00
69,12	0,93433	290,58	288,00	250,56	-0,94299	-293,27	-296,00
73,44	0,95852	298,10	296,00	254,88	-0,96538	-300,23	-304,00
77,76	0,97727	303,93	300,00	259,20	-0,98229	-305,49	-308,00
82,08	0,99046	308,03	308,00	263,52	-0,99361	-309,01	-312,00
86,40	0,99803	310,39	308,00	267,84	-0,99929	-310,78	-312,00
90,72	0,99992	310,98	308,00	272,16	-0,99929	-310,78	-312,00
95,04	0,99613	309,80	308,00	276,48	-0,99361	-309,01	-312,00
99,36	0,98669	306,86	304,00	280,80	-0,98229	-305,49	-308,00
103,68	0,97163	302,18	300,00	285,12	-0,96538	-300,23	-304,00
108,00	0,95106	295,78	292,00	289,44	-0,94299	-293,27	-296,00
112,32	0,92508	287,70	284,00	293,76	-0,91524	-284,64	-288,00
116,64	0,89384	277,98	276,00	298,08	-0,88229	-274,39	-276,00
120,96	0,85753	266,69	264,00	302,40	-0,84433	-262,59	-264,00
125,28	0,81634	253,88	252,00	306,72	-0,80157	-249,29	-252,00
129,60	0,77051	239,63	236,00	311,04	-0,75425	-234,57	-236,00
133,92	0,72031	224,02	224,00	315,36	-0,70265	-218,52	-220,00
138,24	0,66601	207,13	204,00	319,68	-0,64706	-201,23	-204,00
142,56	0,60793	189,07	188,00	324,00	-0,58779	-182,80	-184,00
146,88	0,54639	169,93	168,00	328,32	-0,52517	-163,33	-164,00
151,20	0,48175	149,83	148,00	332,64	-0,45958	-142,93	-144,00
155,52	0,41438	128,87	128,00	336,96	-0,39137	-121,72	-124,00
159,84	0,34464	107,18	104,00	341,28	-0,32094	-99,81	-100,00
164,16	0,27295	84,89	84,00	345,60	-0,24869	-77,34	-80,00
168,48	0,19971	62,11	60,00	349,92	-0,17502	-54,43	-56,00
172,80	0,12533	38,98	36,00	354,24	-0,10036	-31,21	-32,00
177,12	0,05024	15,63	12,00	358,56	-0,02513	-7,82	-8,00

FIGURA 13 - GRÁFICO COM LEITURA DE 4,32 GRAUS E MÁXIMA RESOLUÇÃO

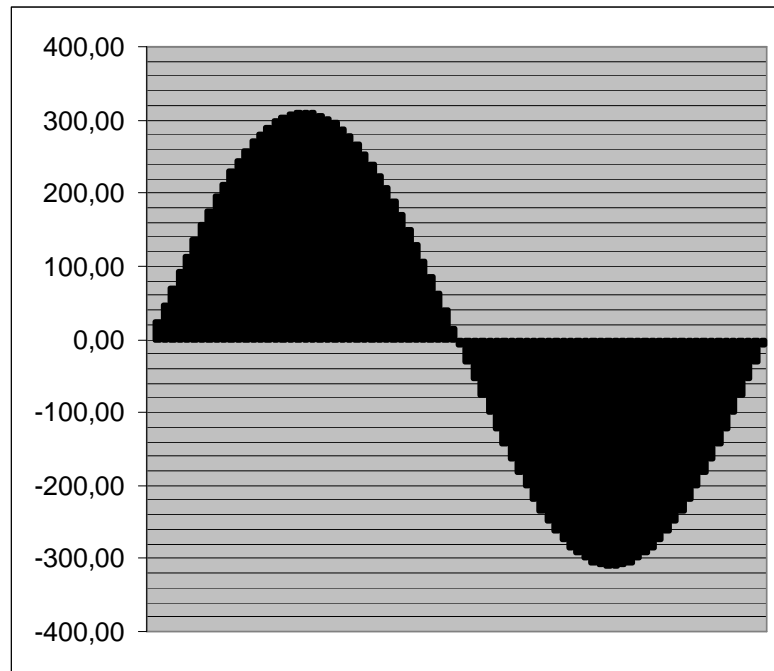


FIGURA 14 - SIMULAÇÃO COM LEITURA DE 4,32 GRAUS EM 8 BITS DE RESOLUÇÃO

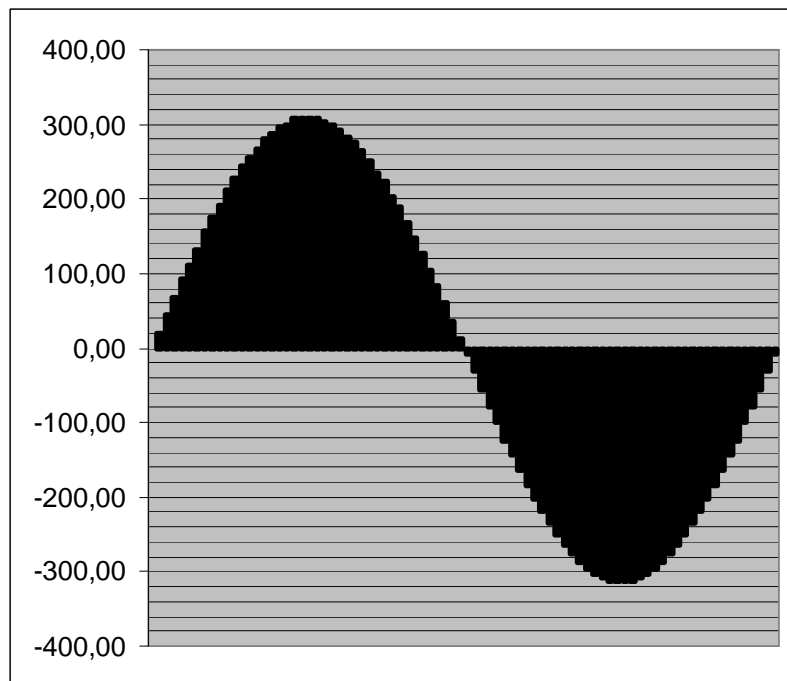


TABELA 4 -SIMULAÇÃO DAS TENSÕES A CADA 1 GRAU

Angulo	Seno	Tensão Real	Tensão Medida	Angulo	Seno	Tensão Real	Tensão Medida
0,00	0,00000	0,00	0,00	90,00	1,00000	311,00	308,00
1,00	0,01745	5,43	4,00	91,00	0,99985	310,95	308,00
2,00	0,03490	10,85	8,00	92,00	0,99939	310,81	308,00
3,00	0,05234	16,28	16,00	93,00	0,99863	310,57	308,00
4,00	0,06976	21,69	20,00	94,00	0,99756	310,24	308,00
5,00	0,08716	27,11	24,00	95,00	0,99619	309,82	308,00
6,00	0,10453	32,51	32,00	96,00	0,99452	309,30	308,00
7,00	0,12187	37,90	36,00	97,00	0,99255	308,68	308,00
8,00	0,13917	43,28	40,00	98,00	0,99027	307,97	304,00
9,00	0,15643	48,65	48,00	99,00	0,98769	307,17	304,00
10,00	0,17365	54,00	52,00	100,00	0,98481	306,28	304,00
11,00	0,19081	59,34	56,00	101,00	0,98163	305,29	304,00
12,00	0,20791	64,66	64,00	102,00	0,97815	304,20	304,00
13,00	0,22495	69,96	68,00	103,00	0,97437	303,03	300,00
14,00	0,24192	75,24	72,00	104,00	0,97030	301,76	300,00
15,00	0,25882	80,49	80,00	105,00	0,96593	300,40	300,00
16,00	0,27564	85,72	84,00	106,00	0,96126	298,95	296,00
17,00	0,29237	90,93	88,00	107,00	0,95630	297,41	296,00
18,00	0,30902	96,10	96,00	108,00	0,95106	295,78	292,00
19,00	0,32557	101,25	100,00	109,00	0,94552	294,06	292,00
20,00	0,34202	106,37	104,00	110,00	0,93969	292,24	292,00
21,00	0,35837	111,45	108,00	111,00	0,93358	290,34	288,00
22,00	0,37461	116,50	116,00	112,00	0,92718	288,35	288,00
23,00	0,39073	121,52	120,00	113,00	0,92050	286,28	284,00
24,00	0,40674	126,50	124,00	114,00	0,91355	284,11	284,00
25,00	0,42262	131,43	128,00	115,00	0,90631	281,86	280,00
26,00	0,43837	136,33	136,00	116,00	0,89879	279,52	276,00
27,00	0,45399	141,19	140,00	117,00	0,89101	277,10	276,00
28,00	0,46947	146,01	144,00	118,00	0,88295	274,60	272,00
29,00	0,48481	150,78	148,00	119,00	0,87462	272,01	272,00
30,00	0,50000	155,50	152,00	120,00	0,86603	269,33	268,00
31,00	0,51504	160,18	160,00	121,00	0,85717	266,58	264,00
32,00	0,52992	164,80	164,00	122,00	0,84805	263,74	260,00
33,00	0,54464	169,38	168,00	123,00	0,83867	260,83	260,00
34,00	0,55919	173,91	172,00	124,00	0,82904	257,83	256,00
35,00	0,57358	178,38	176,00	125,00	0,81915	254,76	252,00
36,00	0,58779	182,80	180,00	126,00	0,80902	251,60	248,00
37,00	0,60182	187,16	184,00	127,00	0,79864	248,38	248,00
38,00	0,61566	191,47	188,00	128,00	0,78801	245,07	244,00
39,00	0,62932	195,72	192,00	129,00	0,77715	241,69	240,00
40,00	0,64279	199,91	196,00	130,00	0,76604	238,24	236,00
41,00	0,65606	204,03	204,00	131,00	0,75471	234,71	232,00
42,00	0,66913	208,10	208,00	132,00	0,74314	231,12	228,00
43,00	0,68200	212,10	212,00	133,00	0,73135	227,45	224,00
44,00	0,69466	216,04	216,00	134,00	0,71934	223,71	220,00
45,00	0,70711	219,91	216,00	135,00	0,70711	219,91	216,00
46,00	0,71934	223,71	220,00	136,00	0,69466	216,04	216,00
47,00	0,73135	227,45	224,00	137,00	0,68200	212,10	212,00
48,00	0,74314	231,12	228,00	138,00	0,66913	208,10	208,00
49,00	0,75471	234,71	232,00	139,00	0,65606	204,03	204,00
50,00	0,76604	238,24	236,00	140,00	0,64279	199,91	196,00
51,00	0,77715	241,69	240,00	141,00	0,62932	195,72	192,00
52,00	0,78801	245,07	244,00	142,00	0,61566	191,47	188,00
53,00	0,79864	248,38	248,00	143,00	0,60182	187,16	184,00
54,00	0,80902	251,60	248,00	144,00	0,58779	182,80	180,00
55,00	0,81915	254,76	252,00	145,00	0,57358	178,38	176,00
56,00	0,82904	257,83	256,00	146,00	0,55919	173,91	172,00
57,00	0,83867	260,83	260,00	147,00	0,54464	169,38	168,00
58,00	0,84805	263,74	260,00	148,00	0,52992	164,80	164,00
59,00	0,85717	266,58	264,00	149,00	0,51504	160,18	160,00
60,00	0,86603	269,33	268,00	150,00	0,50000	155,50	152,00
61,00	0,87462	272,01	272,00	151,00	0,48481	150,78	148,00
62,00	0,88295	274,60	272,00	152,00	0,46947	146,01	144,00
63,00	0,89101	277,10	276,00	153,00	0,45399	141,19	140,00
64,00	0,89879	279,52	276,00	154,00	0,43837	136,33	136,00
65,00	0,90631	281,86	280,00	155,00	0,42262	131,43	128,00
66,00	0,91355	284,11	284,00	156,00	0,40674	126,50	124,00
67,00	0,92050	286,28	284,00	157,00	0,39073	121,52	120,00
68,00	0,92718	288,35	288,00	158,00	0,37461	116,50	116,00
69,00	0,93358	290,34	288,00	159,00	0,35837	111,45	108,00
70,00	0,93969	292,24	292,00	160,00	0,34202	106,37	104,00
71,00	0,94552	294,06	292,00	161,00	0,32557	101,25	100,00
72,00	0,95106	295,78	292,00	162,00	0,30902	96,10	96,00
73,00	0,95630	297,41	296,00	163,00	0,29237	90,93	88,00
74,00	0,96126	298,95	296,00	164,00	0,27564	85,72	84,00
75,00	0,96593	300,40	300,00	165,00	0,25882	80,49	80,00
76,00	0,97030	301,76	300,00	166,00	0,24192	75,24	72,00
77,00	0,97437	303,03	300,00	167,00	0,22495	69,96	68,00
78,00	0,97815	304,20	304,00	168,00	0,20791	64,66	64,00
79,00	0,98163	305,29	304,00	169,00	0,19081	59,34	56,00
80,00	0,98481	306,28	304,00	170,00	0,17365	54,00	52,00
81,00	0,98769	307,17	304,00	171,00	0,15643	48,65	48,00
82,00	0,99027	307,97	304,00	172,00	0,13917	43,28	40,00
83,00	0,99255	308,68	308,00	173,00	0,12187	37,90	36,00
84,00	0,99452	309,30	308,00	174,00	0,10453	32,51	32,00
85,00	0,99619	309,82	308,00	175,00	0,08716	27,11	24,00
86,00	0,99756	310,24	308,00	176,00	0,06976	21,69	20,00
87,00	0,99863	310,57	308,00	177,00	0,05234	16,28	16,00
88,00	0,99939	310,81	308,00	178,00	0,03490	10,85	8,00
89,00	0,99985	310,95	308,00	179,00	0,01745	5,43	4,00

FIGURA 15 - GRÁFICO COM LEITURA DE 1 GRAU E MÁXIMA RESOLUÇÃO

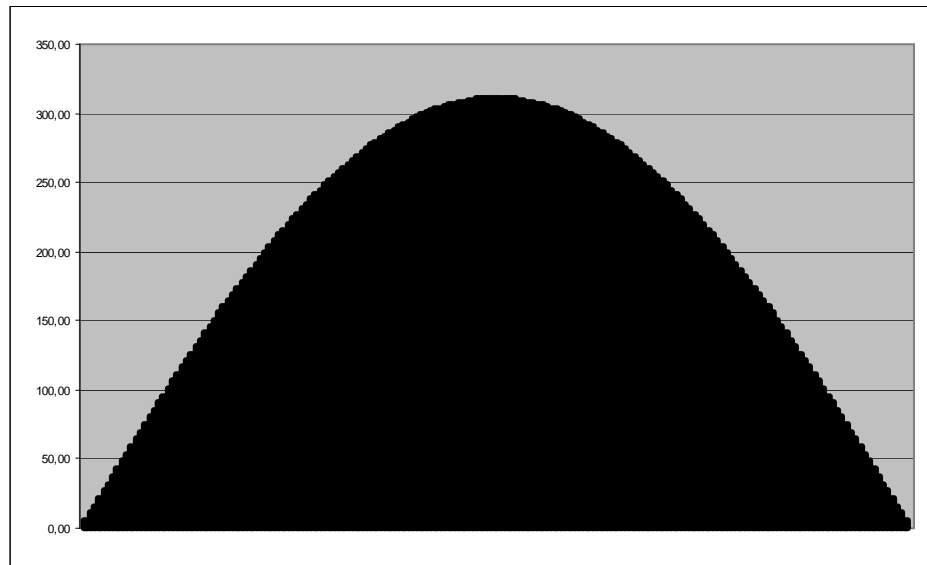
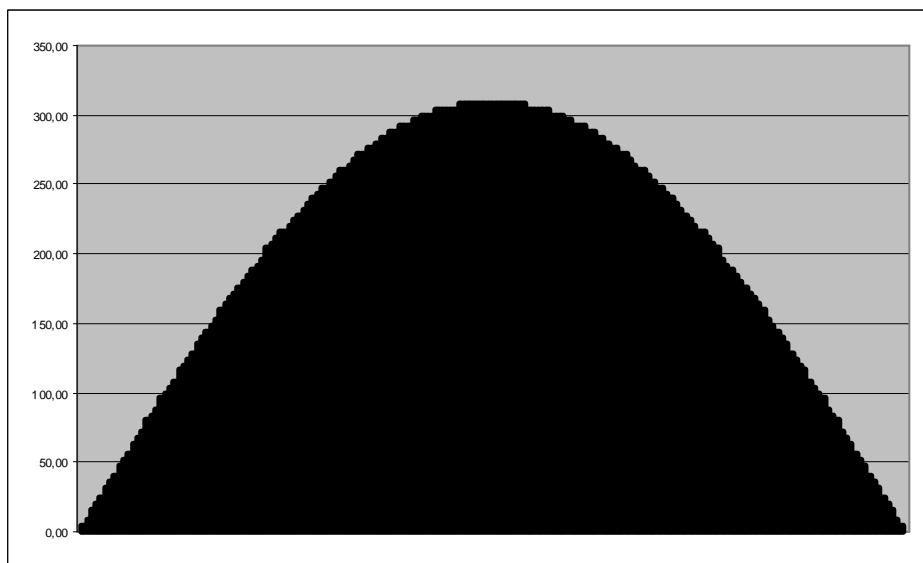


FIGURA 16 - GRÁFICO COM LEITURA DE 1 GRAU EM 8 BITS DE RESOLUÇÃO



Fazendo o cálculo da tensão média utilizando os dados da TABELA 3 obtém-se um resultado de 198,65 V, enquanto que com os dados da TABELA 4 obtém-se a tensão média de 198,02 V. A tensão média real desta forma de onda é calculada multiplicando-se a tensão de pico por 0,637 como visto no item “2.1.3 QUANTIFICAÇÃO DE TENSÕES CA”. Como

neste caso a tensão de pico é igual a 311 V, a tensão média é 198,10 V. Assim foi verificado que mesmo utilizando os dados da TABELA 3, que são os mais imprecisos, pode-se constatar que a diferença do cálculo da tensão média foi de apenas 0,55 V, o que significa um erro no cálculo de apenas 0,27 %.

Analisando-se as diferenças entre os quatro gráficos, é possível notar que a qualidade da leitura da rede elétrica esta intimamente relacionada com o intervalo de medição, visto que os gráficos das FIGURAS 15 e 16 que trabalham com um intervalo menor de tempo ficaram com o “degrau” da forma de onda bem menor do que nos gráficos das FIGURAS 13 e 14. Apesar disto, por questões de custo e de mercado, como mostrado anteriormente, foi decidido que seria utilizado no equipamento de coleta de dado um conversor de 8 bits com intervalo de leitura a cada 200 μ s.

Além dos itens custo e mercado, o que também levou a escolha destes valores foi o fato de que quanto maior a resolução e quanto menor o intervalo de leitura, maior seria o trabalho para o microcontrolador, e então seria exigido um maior esforço computacional do microcontrolador, tornando necessário fazer uma avaliação se o microcontrolador selecionado teria capacidade de suportar este aumento de tarefas dentro do espaço de tempo disponível.

Ainda, outra questão que foi levada em consideração é que esta aplicação não foi desenvolvida para se captar pequenas oscilações de energia, mas sim para captar oscilações de uma grandeza mínima que pudessem vir a comprometer o funcionamento dos equipamentos elétricos que estivessem trabalhando.

3.2.6 COMUNICAÇÃO SERIAL

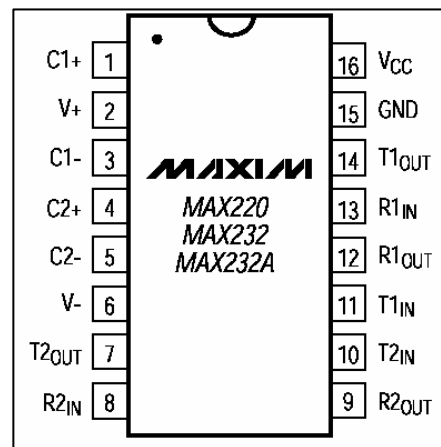
Para se fazer a comunicação serial entre um microcomputador e um microcontrolador compatível com a família MCS-51 é necessário fazer algumas adaptações para que o microcontrolador trabalhe com o padrão RS-232 utilizado pelo microcomputador.

Basicamente as alterações necessárias no sinal gerado pelo canal serial do microcontrolador são: a inversão do sinal lógico e a ampliação das tensões deste sinal.

Para fazer estas alterações foi utilizado o circuito integrado MAX232 fabricado pela Maxim (fig. 17). Este circuito foi escolhido por ser de baixo custo e por exigir apenas uma

fonte de alimentação de +5 Volts. Este circuito utiliza-se de alguns capacitores externos para fazer a elevação da tensão do sinal; assim o sinal sai do microcontrolador com +5 Volts e após passar pelo MAX232 este sinal é invertido e amplificado ficando com -10 Volts. O sinal que sai do microcontrolador com 0 Volts é transformado em +10 Volts. Quando o sinal vem do microcomputador para o microcontrolador o circuito faz o inverso, transformando um sinal na entrada de -10 Volts em uma saída para o microcontrolador de +5 Volts [MAX97].

FIGURA 17 - MAX232



Fonte : [MAX97]

O cabo de conexão entre o microcomputador e o microcontrolador foi montado fazendo a ligação em curto circuito nos pinos 6 e 20 no lado que vai ligado ao computador. Isto é feito para que o computador esteja sempre com permissão para transmitir, pois em outro caso seria necessário fazer o controle da comunicação com mais pinos do microcontrolador para fazer o *hand shaking*. Assim, o controle da comunicação serial foi realizada utilizando-se do software. Primeiro o microcomputador envia uma seqüência de *bytes* e se o microcontrolador responder significa que está tudo certo, caso o microcontrolador não responda em um determinado tempo isto significa que há algo errado na comunicação.

3.3 SOFTWARE DO COLETOR DE DADOS

Neste item é descrita a especificação e a implementação do software utilizado no aparelho coletor de dados.

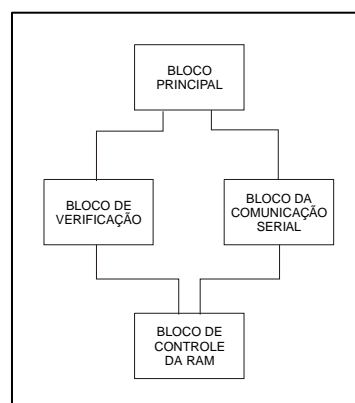
3.3.1 ESPECIFICAÇÃO

Para ser realizada a especificação do software do coletor de dados foram adotadas algumas técnicas de modelagem de sistemas, como:

- a) descrição textual das operações do sistema que serviu como uma análise de requisitos (“3.3.1.1 ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA EM ASSEMBLY”);
- b) definição do cálculo utilizado para quantificar a distorção sofrida pela forma de onda (“3.3.2 NOTA DAS LEITURAS DA REDE ELÉTRICA”);
- c) definição da organização lógica da memória externa (“3.3.3 ORGANIZAÇÃO DA MEMÓRIA EXTERNA”);
- d) definição do cálculo para conversão dos dados lidos do ADC para se obter o valor da tensão na rede elétrica;
- e) confecção dos fluxogramas descrevendo o funcionamento de cada rotina do sistema. Estes fluxogramas estão no ANEXO 1.

A organização geral do sistema ficou dividida basicamente em 4 blocos (fig. 18). O bloco principal fica em *loop* esperando que o computador inicie a comunicação serial ou que seja apertado o botão de início da verificação. O bloco da comunicação serial faz o gerenciamento e execução da transmissão dos dados para o computador. O bloco da verificação faz um controle da verificação e do armazenamento dos dados coletados. Além destes 3 blocos, existe um quarto bloco com as funções de controle de endereçamento, de leitura e de escrita na memória RAM.

FIGURA 18 - DIVISÕES DO SOFTWARE DO COLETOR



3.3.1.1 ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA EM ASSEMBLY

O sistema do coletor de dados quando for ligado deve inicializar todas as variáveis e *flags* do sistema, preparar o canal serial para receber dados e então ficar em *loop* até que seja recebida alguma informação pelo canal serial, ou até que seja apertado o botão de início da verificação.

Caso seja recebido algum dado pelo canal serial o sistema deve entrar em uma rotina de comunicação serial, que irá testar os dados recebidos. Esta rotina espera para que sejam recebidos os *bytes* #80 e #51 indicando que o computador está tentando fazer a conexão. Após receber estes *bytes* o sistema irá enviar os *bytes* com valor ASCII igual a “P” e “C”, indicando para o computador que o coletor de dados está presente. Neste momento a conexão do canal serial foi estabelecida, e o computador irá transmitir o comando desejado. Neste momento somente será implementado o comando #0 que indica para o coletor de dados iniciar a transmissão dos dados da memória. Após receber o comando #0 o coletor de dados deve enviar para o computador em 3 *bytes* o número total de *bytes* que serão transmitidos, e então o coletor inicia a transmissão dos dados da memória. Caso alguma etapa da transmissão serial falhe, o coletor de dados deve voltar ao estado inicial de *loop* esperando pela transmissão serial ou pelo botão de início da verificação.

Caso seja apertado o botão de início da verificação da energia elétrica, o coletor de dados irá limpar a memória para remover os dados da última verificação executada. Então o coletor entra em uma rotina de verificação da energia. Esta rotina de verificação irá preparar o *timer* para gerar uma interrupção a cada 200 μ s. Quando ocorrer esta verificação o ADC irá fazer uma leitura da rede elétrica e será preparado para a próxima leitura. Neste momento os dados lidos serão tratados para separar o sinal da tensão do seu valor em duas variáveis distintas. Enquanto a interrupção do *timer* para a verificação não acontece, a rotina de verificação irá estar em *loop* testando se o botão de fim da verificação foi apertado. Quando tiver ocorrido uma leitura da energia, o valor lido será registrado e será testado se já foi completado 1 segundo de verificação. Caso tenha sido completado um segundo, irá ser procurado qual o segundo com menos oscilação que esta registrado na memória, então os apontadores para os endereços de gravação do próximo segundo serão preparados para apontar para este segundo na memória com menor oscilação.

Após uma leitura da energia, também é verificado se houve alteração do sinal da tensão de negativo para positivo, indicando assim o fim de um ciclo de onda. Se houve esta alteração então o sistema irá calcular a tensão média e a frequência deste ciclo, caso tenha havido alguma alteração em relação ao ciclo anterior, então o sistema irá gerar um registro de *log* na memória indicando quantas leituras da rede elétrica foram feitas desde o último registro de *log* (para saber o tempo decorrido), o novo valor de tensão da energia e o novo valor do número de leituras feitas durante este ciclo (este dado indica o tempo do ciclo, o que significa a frequência do ciclo). Caso seja fim do ciclo mas não tenha havido variação e a variável que controla o tempo entre um *log* e outro já esteja cheia, então será gerado um registro de *log* para que esta variável possa ser zerada. Da mesma forma, caso não ocorra o fim do ciclo, mas a variável que controla a duração do ciclo esteja cheia, é gerado o fim do ciclo e o valor da tensão e frequência do ciclo é calculada normalmente como se houvesse ocorrido o fim do ciclo. Por esta razão o valor máximo que a variável que controla a duração do ciclo pode armazenar irá indicar qual a frequência mínima que o coletor poderá medir.

3.3.2 NOTA DAS LEITURAS DA REDE ELÉTRICA

As leituras realizadas na rede elétrica pelo coletor de dados recebem uma nota para avaliação da distorção sofrida pela forma de onda. Isto é realizado pelo próprio coletor de dados para que apenas as formas de ondas que sofreram maior distorção fiquem armazenadas, pois seria inviável armazenar toda a forma de onda do período verificado por causa da falta de memória.

A nota dada para estas distorções é dada baseada no princípio do desvio médio. A equação para o cálculo do desvio médio é mostrada no QUADRO 5.

QUADRO 5 - EQUAÇÃO DO DESVIO MÉDIO

$$dm = \frac{\sum |d|}{n}$$

onde:

dm = desvio médio
|d| = desvio absoluto
n = número de elementos

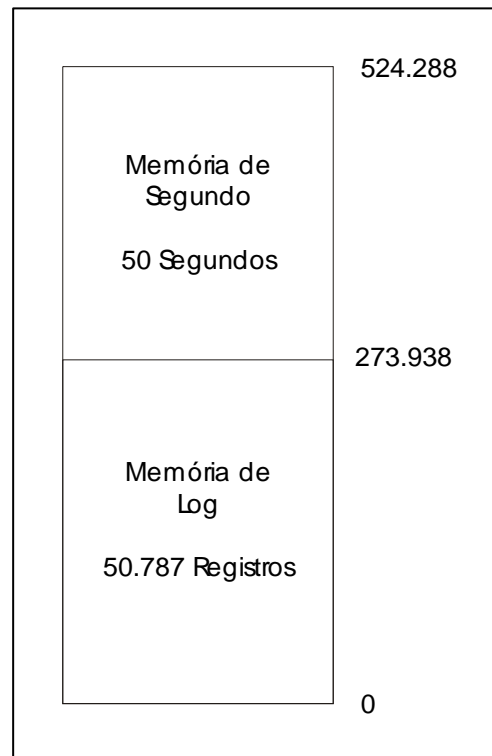
FONTE : [NAZ97]

Para se realizar o cálculo o coletor de dados diminui a leitura realizada na rede elétrica de uma forma de onda fundamental utilizada como exemplo que fica armazenada em uma tabela no programa. Esta forma de onda esta gravada no coletor de dados para ele utilizar como base do que seria uma forma de onda ideal. Após verificar a diferença entre o onda ideal e a leitura feita, o coletor de dados utiliza o resultado como sendo o desvio absoluto e então faz o cálculo do desvio médio como a equação do QUADRO 5 mostra.

3.3.3 ORGANIZAÇÃO DA MEMÓRIA EXTERNA

A memória externa do microcontrolador instalada no coletor é de 512 Kb. Esta memória será logicamente dividida em 2 partes, sendo a primeira metade para a memória de *log* e a segunda metade para a memória de segundo, conforme FIGURA 19.

FIGURA 19 - ESTRUTURA LÓGICA DA MEMÓRIA EXTERNA



3.3.3.1 MEMÓRIA DE LOG

A memória de *log* representa os primeiros 273.938 *bytes* da memória externa, destinados a fazer um *log* das alterações de tensão e frequência da rede elétrica durante o período de medição.

Os dois primeiros *bytes* da memória de *log* indicam a quantidade de registros de *log* que estão armazenados na memória. O restante da memória de *log* armazena os registros de *log*, sendo que cada registro ocupa 5 *bytes* e o total de registros de *log* pode chegar ao máximo de 50.787 registros.

A cada ciclo de onda da rede elétrica são calculados o tempo de duração deste ciclo (frequência) e a amplitude do ciclo (tensão). Se houver alteração da duração ou amplitude da onda, é gravado um *log* indicando o tempo decorrido desde o último *log* e quais os novos valores de frequência e tensão.

Assim, um *log* representa um ciclo de onda, mas enquanto não ocorrer outro *log*, entende-se que todos os ciclos seguintes tiveram o mesmo valor deste último *log* registrado.

A estrutura lógica do registro de *log* utilizado no coletor está representada na FIGURA 20.

FIGURA 20 - ESTRUTURA LÓGICA DO REGISTRO DE *LOG*

1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	1 byte	= 5 bytes
16 bits		16 bits		8 bits	= 40 bits
Campo Tempo		Campo Tensão		Campo Frequência	

No campo “tempo” fica registrado o tempo decorrido entre um *log* e outro, que é indicado pelo número de verificações na rede elétrica feitas pelo coletor. Uma verificação ocorre a cada 200 μ s. Desta forma, se o valor do tempo registrado em um *log* for por exemplo 10.000, isto indica que ocorreram 10.000 verificações com um intervalo de 200 μ s cada, desde o último *log*. Multiplicando 10.000 por 200 temos que o tempo decorrido foi de 2.000.000 μ s, ou 2 segundos.

Da mesma forma é feita a indicação da duração ou frequência do ciclo da onda (campo frequência do *log*), ou seja, fica registrado no *log* quantas verificações o coletor executou na rede elétrica durante este ciclo. Assim se um *log* indicar a duração do ciclo igual a 100, basta multiplicar 100 pelo tempo da verificação (200 μ s) para se ter o tempo do ciclo, neste caso 20.000 μ s, ou 0,02 segundo.

Dividindo 1 por 0,02 descobre-se quantos ciclos com esta duração ocorrem durante um segundo e assim se tem a frequência do ciclo, neste caso 50 Hz.

Para se calcular a tensão média do ciclo (campo “tensão” no *log*), fica registrado no *log* a soma de todas as verificações feitas durante o ciclo. Basta dividir este valor pelo número de verificações feitas no ciclos (campo “frequência”) para se ter a média de tensão do ciclo.

O resultado deste cálculo ainda deve ser convertido para o valor de tensão em Volts, pois até agora estes valores são as representações digitais do ADC (conversor analógico-digital) para os valores analógico de entrada. No item “3.3.4 CONVERSÃO DO SINAL ANALÓGICO” é indicado como fazer esta conversão de acordo com o ADC que esta sendo utilizado para as verificações.

Como cada *log* deve ter um tamanho fixo e conhecido para poder ser feita a sua leitura e interpretação, a TABELA 5 mostra os valores sugeridos para serem utilizados dependendo da resolução do ADC que vai ser utilizado.

TABELA 5 - VALORES SUGERIDOS PARA OUTRAS CONFIGURAÇÕES DE ADC.

Resolução do ADC	Tamanho do campo frequência	FMC frequência mínima do ciclo	Tamanho do campo tensão	Tamanho do campo tempo	TML tempo máximo entre cada log	Tamanho de cada log
8 bit	8 bit	20 Hz	16 bit	16 bit	13 seg.	5 bytes
	10 bit	5 Hz	18 bit	20 bit	3,5 min.	6 bytes
10 bit	8 bit	20 Hz	18 bit	22 bit	14 min.	6 bytes
	10 bit	5 Hz	20 bit	18 bit	52 seg.	6 bytes
12 bit	8 bit	20 Hz	20 bit	20 bit	3,5 min.	6 bytes
	10 bit	5 Hz	22 bit	16 bit	13 seg.	6 bytes

A TABELA 5 foi calculada para que cada *log* trabalhe com um número inteiro de *bytes*, o que facilita muito a manipulação dos dados. Além do que ela procura economizar o máximo possível a memória de *log*, pois é esta memória que indica qual o tempo máximo que o aparelho poderá ficar medindo a rede elétrica . Por exemplo, trabalhando com um *log* de 5 *bytes* e 256 Kb de memória de *log* o coletor poderá gerar 52428 registros de *log*. Como cada *log*, neste caso, pode ter um intervalo máximo de tempo de 13 segundos, isto significa que o coletor registrará no máximo por 7,8 dias, caso não ocorra nenhuma alteração de tensão

ou frequência, pois quando há alguma alteração o *log* é gerado no momento desta alteração, o que diminuí a capacidade de tempo de medição do coletor, ou seja, quanto mais oscilação, menos tempo o coletor pode ficar medindo.

O *log* utilizado nesta aplicação foi o com ADC e frequência de 8 bits, como é explicado no item “3.2.5 O CONVERSOR ANALÓGICO-DIGITAL (ADC)”. A tabela foi montada com mais opções de frequência e ADC para que facilite as alterações quando se fizer necessário trabalhar com outras configurações.

Para cada tipo de ADC (8 bits, 10 bits ou 12 bits) foi calculado duas opções de tamanho do campo de frequência (8 bits e 10 bits).

O cálculo da frequência mínima do ciclo (FMC) indica o valor mínimo de frequência que o coletor pode fazer a verificação, e caso a frequência do ciclo atinja um valor menor do que o calculado pelo campo FMC, será registrado no *log* o valor de FMC.

O cálculo do tamanho do campo de “tensão” é feito apenas somando a resolução do ADC com o tamanho do campo da “frequência”, pois no campo de “tensão” é registrado a soma dos valores lidos pelo ADC e o número de leituras feitas é indicado no campo de “frequência”.

O cálculo do tamanho do campo “tempo” foi feito levando em consideração o número de bits utilizado pelos outros campos e a necessidade de fazer o *log* com o tamanho igual a um valor inteiro de *bytes*.

Com os dados da memória de *log* no computador é possível gerar um gráfico que indica a variação de tensão e frequência durante todo o período de verificação.

3.3.3.2 MEMÓRIA DE SEGUNDO

A memória de segundo representa 250.350 *bytes* da memória externa do microcontrolador no coletor.

Cada segundo armazenado ocupam 5.007 *bytes*, onde são registrados o estado deste segundo (1 *byte*), o momento em que ocorreu este segundo (3 *bytes*), a nota dada para este

segundo (3 *bytes*) e o resultado das 5.000 leituras feitas pelo ADC durante este segundo (5.000 *bytes*).

Desta forma na memória de segundo serão armazenados 50 segundos. Os segundos que serão guardados são os que tiverem recebido as piores notas durante a verificação (“3.3.2 *NOTA DAS LEITURAS DA REDE ELÉTRICA*”).

O *byte* indicando o estado do segundo é iniciado com zero. Isto significa que este segundo ainda não foi gravado e quando houver algo neste espaço de memória então o estado do segundo será mudado para um.

Caso seja mudado a resolução do ADC deve-se também mudar a estrutura lógica da memória de segundo. Para um ADC de 10 bits cada segundo ocupará 6.257 *bytes* e será possível gravar 40 segundos nos mesmos 250.280 *bytes* de memória de segundo. Para um ADC com resolução de 12 bits cada segundo ocupará 7.507 *bytes* e será possível gravar 34 segundos em 255.238 *bytes* de memória de segundo.

Com os dados da memória de segundo no computador é possível gerar um gráfico que representa exatamente a forma de onda durante os períodos que sofreram maiores oscilações na rede elétrica.

3.3.4 CONVERSÃO DO SINAL ANALÓGICO

Neste item é mostrado como é feito o cálculo do sinal lido do ADC para o valor de tensão da rede elétrica.

Para ser feita a medição do valor da tensão da rede elétrica em um determinado instante foi colocado um ADC com 8 bits de resolução. Da forma como foi feita a ligação, se a tensão entrada for zero, o ADC irá fornecer como saída digital o *byte* com valor decimal igual a 128. Se a tensão de entrada for +512 Volts o ADC irá fornecer 256 na saída e para tensão de entrada igual a -512 Volts a saída é igual a zero.

Desta forma, é possível criar uma equação para se calcular a tensão da rede com base no valor digital de saída do ADC. Diminuindo 128 do valor da saída do ADC e multiplicando o resultado por 4, tem-se o valor da tensão da rede elétrica. Por exemplo, se o valor gerado

pelo ADC foi igual a 100, faz-se 100 menos 128 e o resultado obtido é -28 , então basta multiplicar -28 por 4 para ter-se o resultado de -112 , que representa o valor da tensão da rede elétrica.

Para se aplicar este cálculo de conversão de valores no software do coletor de dados, foram separados o valor e o sinal em duas variáveis distintas. Este processo foi feito comparando o valor lido do ADC com 128. Se o valor lido for igual a 128, então a tensão é zero. Se o valor lido for maior que 128, então sabe-se que a tensão é positiva, caso contrário a tensão é negativa. Se a tensão for positiva faz-se o valor lido menos 128, caso contrário faz-se 128 menos o valor lido. Após isto basta multiplicar o resultado da conta anterior por 4 para conseguir o valor da tensão neste instante. No software o sinal da tensão lida é armazenado na variável `snlADC` e o valor da tensão na variável `varADC`. O fluxograma que mostra o funcionamento desta conversão de valores está no ANEXO 1 com o nome de “rotina ADC”.

3.3.5 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do sistema do coletor de dados foi feita utilizando o assembly da família MCS-51.

Por se tratar de um sistema um tanto quanto extenso e que apresentava a integração com o novo hardware desenvolvido, o sistema foi desenvolvido em etapas e cada uma foi testada separadamente.

No primeiro passo foi desenvolvido as funções de leitura e escrita na memória RAM. No desenvolvimento da comunicação serial entre o coletor de dados e o computador, foi feito um programa simples no computador que apenas envia os *bytes* de controle da comunicação serial para o coletor de dados quando era acionado um determinado botão. Para o coletor de dados foi desenvolvido no sistema apenas as rotinas que faziam a inicialização e a comunicação serial. Para testar a comunicação foi colocado na memória RAM alguns dados pré-determinados para checar se o microcomputador receberia estes dados corretamente.

Após isto, foi testada as rotinas de leitura da tensão e conversão dos valores analógicos para digitais. Este teste foi realizado fazendo com que o coletor de dados armazenasse na memória todas as leituras feitas da energia. Após isto, estes dados foram transmitidos para o

computador para checar se os dados lidos estavam de acordo com os valores de tensão daquele momento.

Finalmente foi desenvolvido o resto do sistema do coletor de dados em paralelo com o desenvolvimento do sistema em ambiente Delphi para o computador.

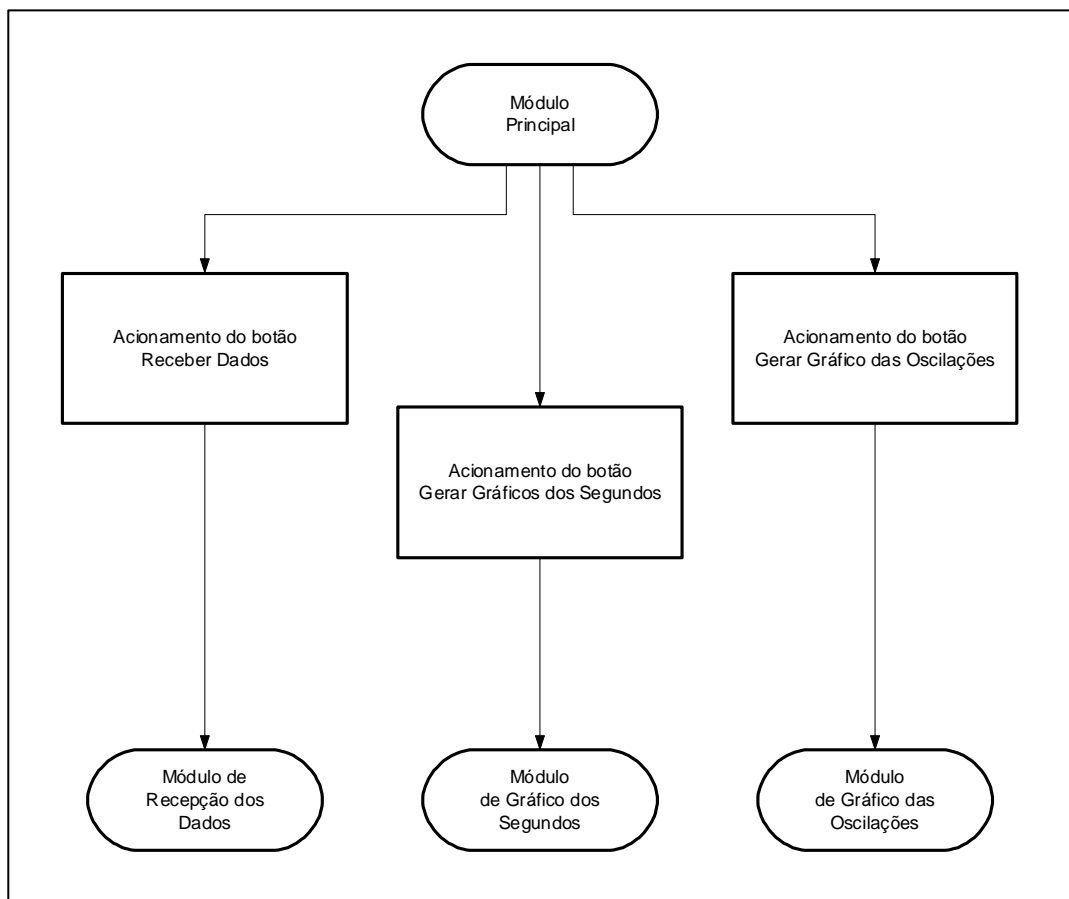
3.4 SISTEMA DO MICROCOMPUTADOR

3.4.1 ESPECIFICAÇÃO

Para ser feita a especificação do sistema desenvolvido em ambiente de programação Delphi foi feita uma análise de requisitos mostrada no item “3.4.1.1 ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA EM DELPHI”. Após isto foram definidas as telas do sistema que estão demonstradas no item “3.4.2.1 TELAS DO SOFTWARE”.

A estrutura geral do sistema para o microcomputador é demonstrada na FIGURA 21.

FIGURA 21 - ESTRUTURA DO SISTEMA DO MICROCOMPUTADOR



3.4.1.1 ANÁLISE DE REQUISITOS DO SISTEMA NO MICROCOMPUTADOR

O sistema para o computador deve contar com uma tela principal onde serão mostradas informações sobre os últimos dados recebidos do coletor, como por exemplo, duração da verificação, tensão máxima alcançada e tensão mínima alcançada. Nesta tela deve haver botões para serem apresentados os gráficos com a representação das formas de onda dos segundos que foram registrados e o gráfico com demonstração da variação de tensão e frequência durante o decorrer do tempo de verificação. Na tela principal também deve haver um botão para que sejam transmitidos os dados de uma nova verificação do coletor de dados.

Na tela que apresenta o gráfico da forma de onda dos segundos registrados deve haver uma opção para escolher qual dos segundos deve ser apresentado no gráfico.

A tela que apresenta o gráfico de variação de tensão e frequência simplesmente mostra o gráfico.

Quando for acionado o botão para a transferência dos dados do coletor o sistema deverá verificar se o coletor está presente ou não. Caso o coletor não responda ao comando enviado deve ser apresentada uma mensagem que o coletor de dados não está presente. Caso o coletor responda normalmente deve ser enviado o comando #0 que indica que deve ser iniciada a transmissão dos dados. Os primeiros 3 *bytes* enviados pelo coletor indicam a quantidade total de *bytes* que serão enviados. Com isto, deve ser apresentada uma barra indicando o andamento da transmissão serial. Caso alguma etapa da transmissão serial falhe, deve ser apresentada uma mensagem de erro da transmissão e o sistema deve voltar para a tela principal.

3.4.2 IMPLEMENTAÇÃO

A implementação do sistema para o computador foi desenvolvida em ambiente de programação Delphi 3.0. A escolha do Delphi foi feita em função da experiência anterior do autor com este ambiente e em função das facilidades oferecidas pelo ambiente para a geração dos gráficos utilizados para fazer a representação da forma de onda da tensão.

Por se tratar de um sistema que deveria ser testada a integração entre o hardware e o software, esta implementação foi feita em partes conforme era desenvolvido o software para o coletor de dados, pois os dois sistemas dependiam um do outro para serem feitos os testes.

Como metodologia de implementação foi utilizada a técnica de programação *down-up* começando o desenvolvimento através dos itens onde havia integração com o hardware desenvolvido, pois em um primeiro momento era necessário testar este hardware. Desta forma, primeiro foi desenvolvida e testada a comunicação serial entre o computador e o coletor de dados. Após isto foi desenvolvida a parte do sistema de geração dos gráficos de representação da forma de onda durante cada segundo. Finalmente foi feita a parte de geração do gráfico de variação de tensão e frequência baseado nos registros de *log* do coletor de dados.

3.4.2.1 TELAS DO SOFTWARE

A tela principal foi definida como mostra a FIGURA 22. Esta tela ilustra algumas informações sobre a última verificação da rede elétrica que foi transferida do coletor de dados para o microcomputador. Esta tela conta com três botões que tem a finalidade de:

- a) receber os dados do coletor;
- b) gerar o gráfico que mostra como foi a forma de onda nos segundos que ganharam as piores notas;
- c) gerar o gráfico que mostra como foi a variação de tensão média durante todo o período de verificação da rede elétrica.

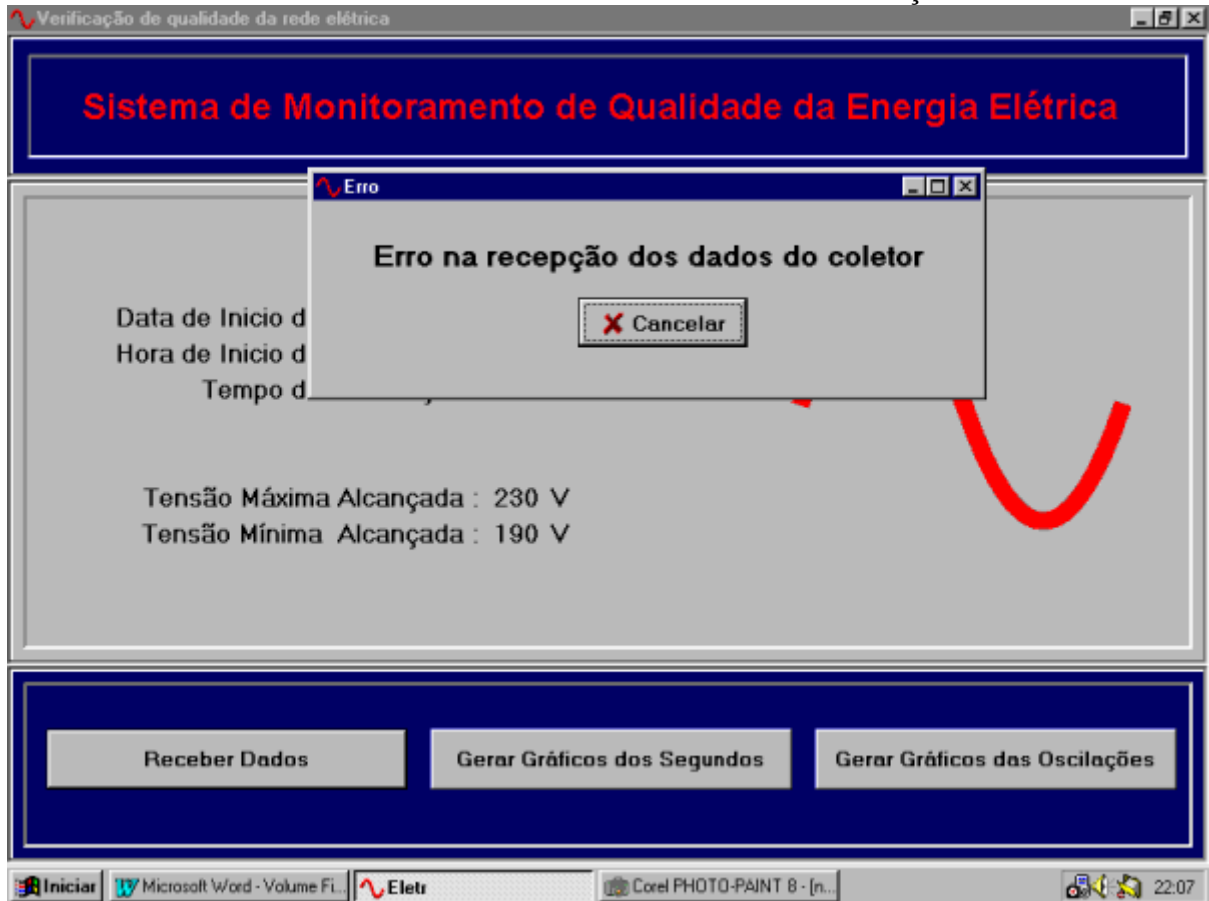
FIGURA 22 - TELA PRINCIPAL



Quando o botão <RECEBER DADOS> é ativado, o sistema irá tentar fazer a conexão através da comunicação serial com o coletor de dados. Caso não for possível fazer a conexão, então será apresentada a tela com o erro de comunicação mostrada pela FIGURA 23. Caso a conexão seja realizada com sucesso, então será apresentada a tela mostrada pela FIGURA 24, onde são pedidos a data e a hora de início da verificação da rede elétrica. Após serem informados estes dados o sistema começa a fazer a transferência das informações coletadas, como visto na FIGURA 25.

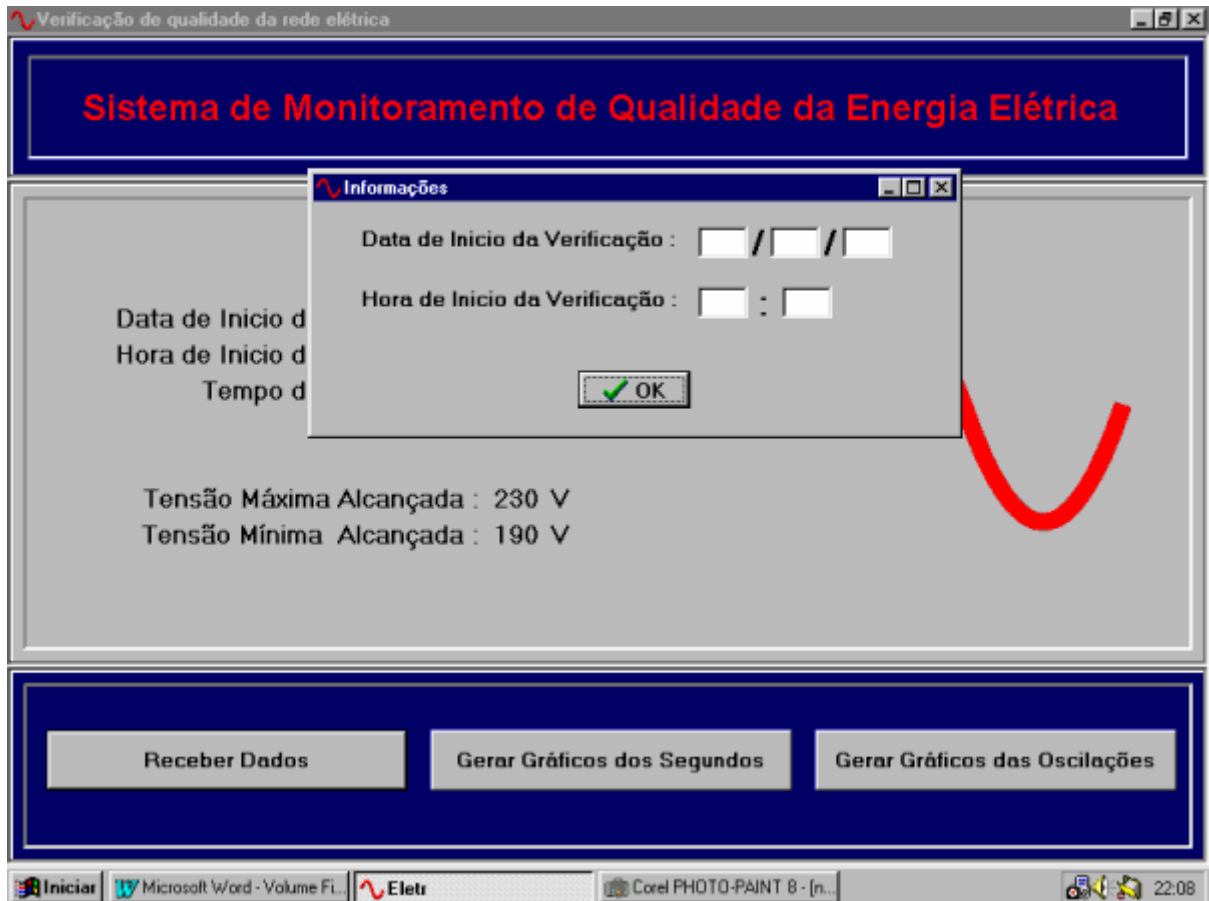
A FIGURA 23 ilustra a mensagem apresentada caso haja algum erro na comunicação serial entre o coletor de dados e o microcomputador, seja este erro no início da transmissão ou no meio desta.

FIGURA 23 - TELA DE ERRO DE COMUNICAÇÃO



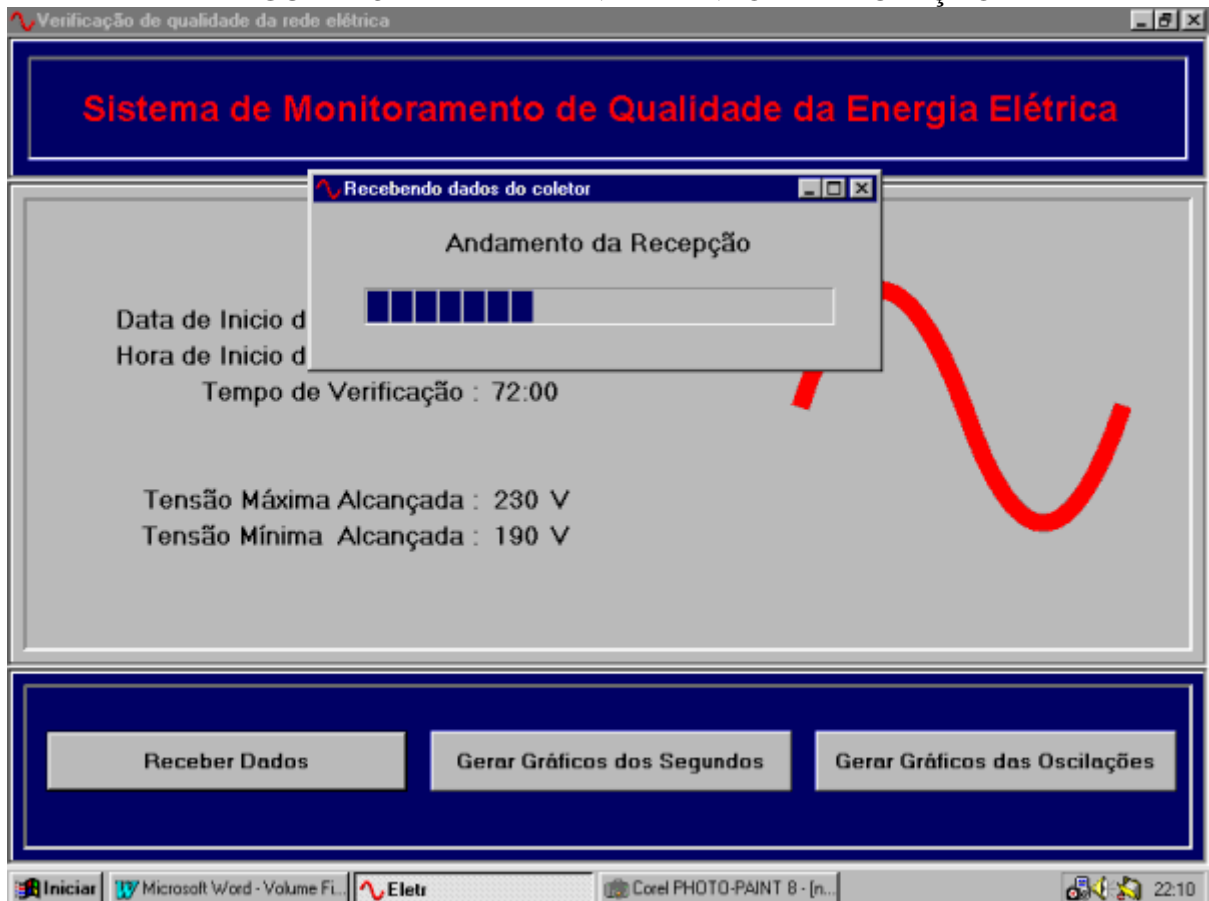
A FIGURA 24 ilustra a tela de entrada de dados onde o usuário informa a data e a hora em que foi iniciada a verificação da rede elétrica que vai ser recebida pelo microcomputador.

FIGURA 24 - TELA DE ENTRADA DE DADOS



A FIGURA 25 ilustra a barra da andamento da recepção dos dados que indica em que ponto está em um determinado momento a comunicação do coletor de dados com o microcomputador.

FIGURA 25 - TELA DE ANDAMENTO DA RECEPÇÃO



4 CONCLUSÕES

Os resultados finais dos testes realizados no equipamento, mostraram-se bastante positivos, sendo que o equipamento funcionou quase que 100% dentro do que se esperava quando este foi modelado.

Um dos principais problemas detectados na prática foi no ADC de 8 bits, onde foi constatado que há uma variação constante no bit menos significativo dos dados coletados. Desta forma, mesmo que não haja oscilação de tensão na rede elétrica, o coletor de dados fica medindo uma pequena oscilação de 4 Volts positivo e negativo, como visto na FIGURA 26. Esta oscilação poderia ser evitada se o último bit dos dados coletados fosse ignorado, mas nesse caso iria ser utilizado apenas 7 bits, o que é muito pouco para esta aplicação. Desta forma é apresentado como uma das extensões deste trabalho a sugestão de se adaptar um ADC com maior resolução. Outra razão que poderia levar a esta variação é uma possível oscilação na tensão de referência, mas para se constatar isto seria necessário uma ferramenta com maior precisão, pois no osciloscópio utilizado para medir a tensão de referência não apareceu nenhum problema.

Entre as dificuldades encontradas no desenvolvimento do trabalho deve ser destacada a de se encontrar uma metodologia para desenvolvimento do hardware integrado com o software. Talvez isto se deva ao fato de que esta não seja a área de especialidade do curso de Ciências da Computação da FURB, mas mesmo assim, não foi encontrada nenhuma bibliografia que pudesse ajudar na metodologia de desenvolvimento do aparelho.

Entretanto, apesar das dificuldades encontradas, a técnica utilizada para a medição da tensão, os cálculos de conversão dos sinais analógicos para digitais e os cálculos das notas utilizadas para quantificar as distorções da forma de onda se mostraram bastante eficientes.

FIGURA 26 - OSCILAÇÃO NO BIT MENOS SIGNIFICATIVO DO ADC



Algumas alterações para melhoria a serem feitas no equipamento são apresentadas no item “4.1 EXTENSÕES”. Mesmo sem estas melhorias, o equipamento já se encontra em um nível que pode ser considerado bom para o monitoramento da qualidade da energia elétrica.

A necessidade de qualidade na energia elétrica é cada vez maior para todos os consumidores, mas principalmente para as indústrias que utilizam mais e mais tecnologia para controle dos processos. Além disto, a privatização das concessionárias de fornecimento de energia elétrica faz com que o consumidor preocupe-se com a energia fornecida e faz com que a concessionária necessite de um controle dos gastos dos consumidores com maior precisão para não ter prejuízos na cobrança.

Por causa destes e de outros fatores devem surgir nos próximos anos cada vez mais investimento no controle da qualidade da energia elétrica. Abrindo assim para os profissionais da tecnologia da informação este mercado em crescimento.

Em vista disto, este trabalho procurou colaborar com o desenvolvimento de técnicas para a medição da energia elétrica e especificamente para a medição da qualidade desta energia.

Além da questão da qualidade da energia elétrica, este trabalho demonstrou as dificuldades encontradas em se desenvolver um equipamento composto de um hardware e software desenvolvidos especificamente para uma aplicação. Como por exemplo buscar entre várias alternativas qual o circuito integrado que melhor se encaixa para determinada função, sem elevar o custo do hardware. Estas dificuldades podem ser colocadas como uma constante no desenvolvimento de aplicações para automação industrial, que na maioria dos casos exige um hardware específico.

O mercado de trabalho para profissionais capacitados para desenvolver equipamentos de automação industrial vem crescendo ano após ano e pode tornar-se uma boa alternativa para o profissionais formados pelo curso de Ciências da Computação, desde que estas pessoas aprendam a trabalhar em equipe com profissionais da área de desenvolvimento de hardware, pois neste caso não basta saber desenvolver programas, mas deve-se conhecer o funcionamento básico dos componentes utilizados e os limites impostos por um hardware que deve ter as menores sobras de recursos possíveis para se evitar o aumento dos custos de montagem.

4.1 EXTENSÕES

Como extensão deste trabalho podem ser adicionadas ferramentas e cálculos no programa feito para o microcomputador, ou preparar os dados para serem exportados para outros sistemas já existentes de tratamento de informações sobre a rede elétrica. Para serem feitas melhorias, pode ser utilizado como base alguns softwares já existentes que fazem o tratamento de informações da energia da rede elétrica. Por exemplo, o Teho Output Processor (TOP) desenvolvido pela Electrotek Concepts.

Este programa aceita uma variedade de formatos para importação de dados e é escrito na linguagem C++, utilizando programação orientada a objetos [GRE99].

O TOP faz cálculos de distorção da harmônica e fornece informações sobre probabilidades, além de alguns cálculos específicos para engenheiros elétricos [GRE99].

Além disto, para melhorar a qualidade da medição da energia pode ser adaptado ao hardware um conversor analógico-digital com maior precisão.

O cálculo da tensão neste trabalho foi feito com base na tensão média da energia elétrica. Este valor pode ser alterado para trabalhar com tensão RMS que é o valor utilizado na maioria das aplicações. O que implicaria em trabalhar com raiz quadrada no microcontrolador.

Neste trabalho foi utilizado o cálculo de desvio padrão para se verificar a grandeza da distorção do forma de onda. Assim, pode-se estudar qual a melhor maneira de quantificar a oscilação de tensão da energia elétrica para constatar se o método atual é realmente o mais adequado.

Pode ser adicionado ao coletor de dados um integrado para controle do tempo, para que não seja necessário informar a data e a hora de início da verificação da energia na rede elétrica. Os integrados capazes de fazer este controle do tempo são conhecidos com Real Time Clock (RTC).

Outra sugestão é que este trabalho pode ser utilizado como base para desenvolver um medidor eletrônico de consumo de energia, ou outros aparelhos de medição da energia elétrica.

Deve se adaptar ao sistema uma bateria externa para que mesmo na falta de energia, ou em baixa energia o coletor possa continuar a medir a tensão. Esta bateria também poderia ser utilizada para que o sistema sempre trabalhasse com a sua fonte de alimentação desconectada da energia elétrica que estivesse sendo medida, pois no caso de haver uma oscilação de tensão muito grande, esta oscilação pode vir a alterar a tensão de referência do ADC, o que faria com que as medições fossem feitas incorretamente.

ANEXO 1

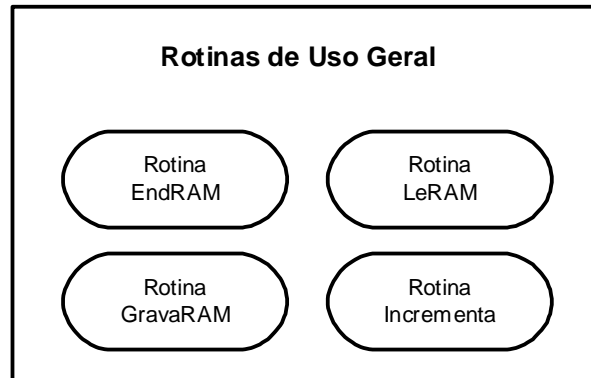
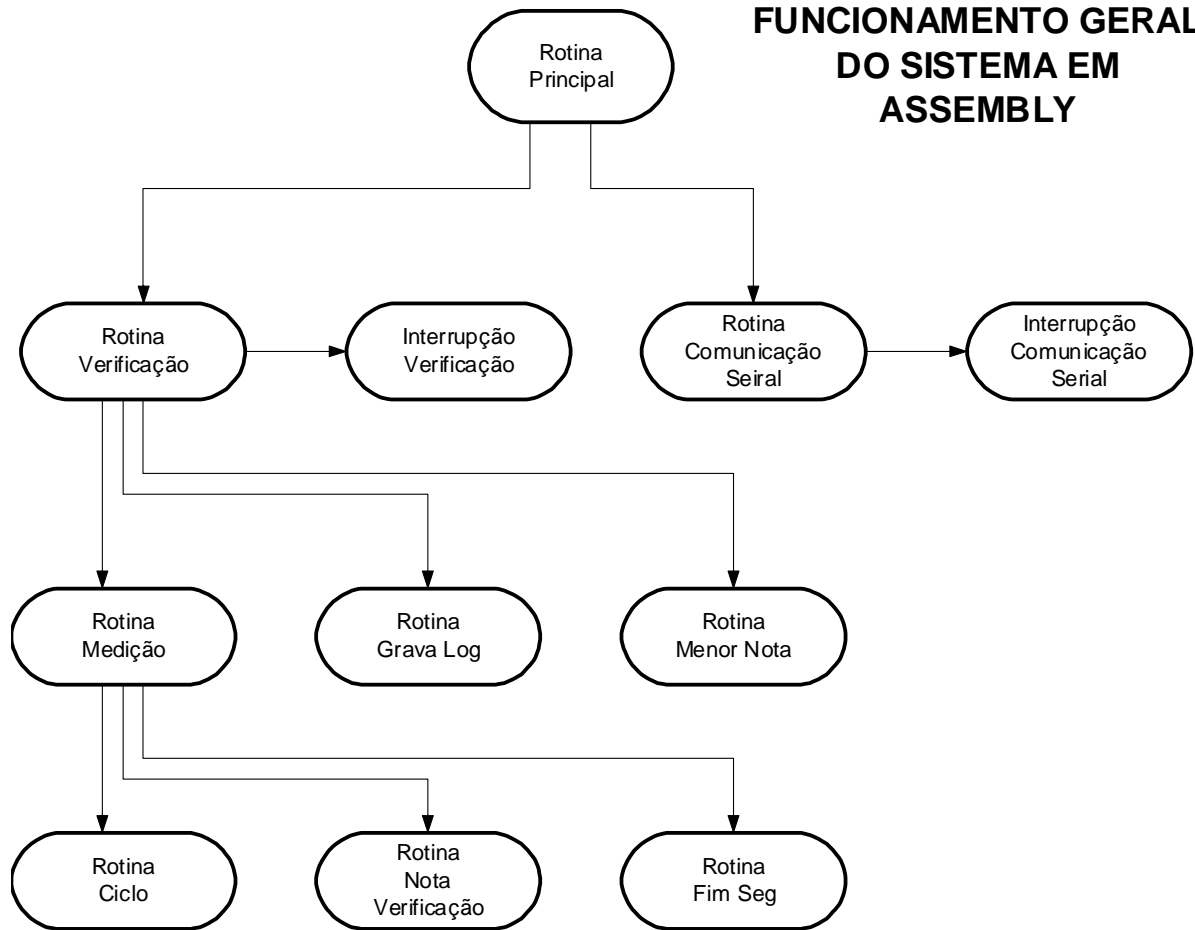
FLUXOGRAMAS DO COLETOR DE DADOS

Aqui são apresentados os fluxogramas utilizados para o desenvolvimento do software do coletor de dados. Primeiramente é ilustrada uma tabela com o nome, o tamanho e a descrição das variáveis utilizadas nos fluxogramas. Após isto é mostrado um fluxograma geral que demonstra a ligação entre cada rotina e a seguir é mostrado um fluxograma para cada rotina utilizada.

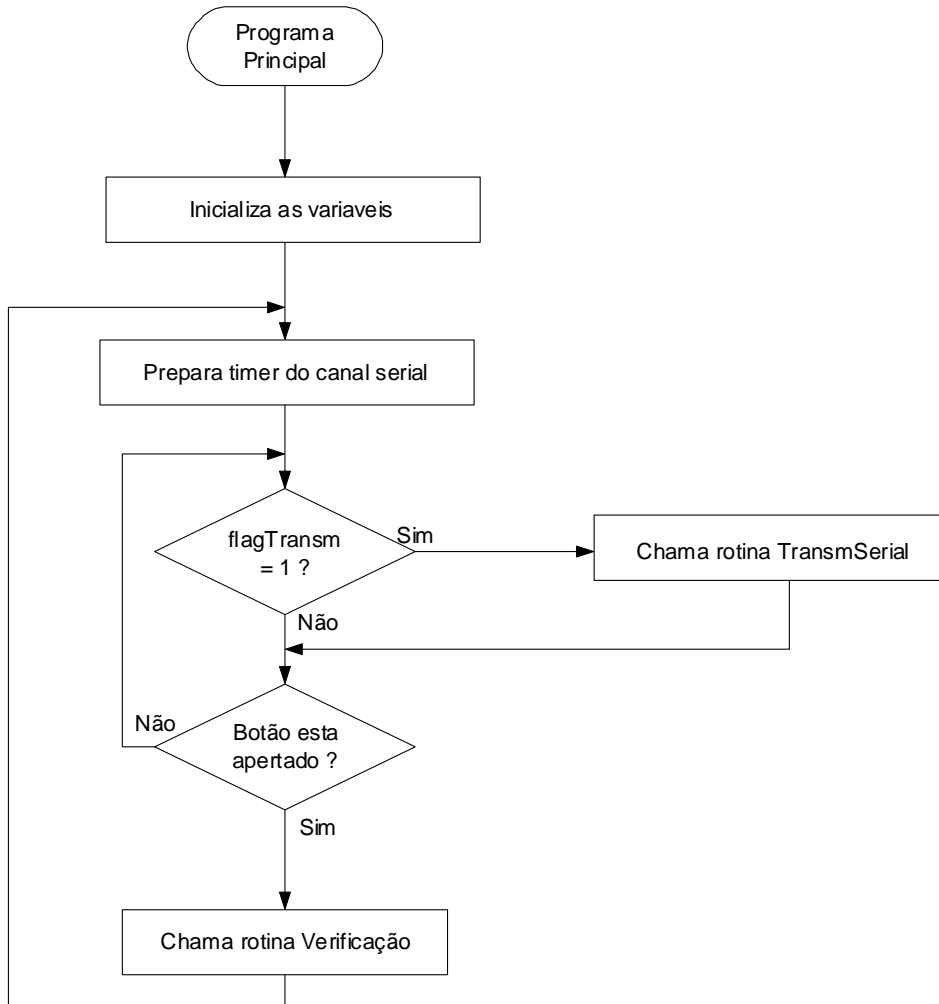
Variáveis do Sistema		
Tam	Nome	Descrição
rotina <Incrementa>		
1	auxContInc	número de <i>bytes</i> da variável a ser incrementada
1	auxVarInc	endereço da variável a ser incrementada
1	auxIndiceInc	valor pelo qual a variável será incrementada
rotina <GravaRAM>		
1	auxContGrava	número de <i>bytes</i> da variável a ser gravada na RAM
1	auxVarGrava	endereço da variável a ser gravada na RAM
rotina <EndRAM>		
1	auxRAM	<i>byte</i> lido da memória
rotina <LeRAM>		
3	auxEnd L/H/X	endereço da memória RAM
rotina <MenorNota>		
3	auxEndMenorSeg L/H/X	auxiliar de endereço utilizado pela rotina
3	auxMenorNota L/H/X	auxiliar de comparação utilizado pela rotina
3	varEndMenorSeg L/H/X	endereço do segundo encontrado com menor nota
3	varMenorNota L/H/X	valor da menor nota encontrada
1	auxContMenorNota	contador do número de segundos verificados
1	flagMenorNota	indica se a rotina deve ser executada
Interrupção do Timer de Verificação		
1	varADC	valor da tensão lido no ADC
1	auxADC	valor da leitura anterior do ADC
1	varSinal	indica o sinal da onda lido no ADC
1	flagADC	indica se foi feita leitura pelo ADC
rotina <GravaLog>		
3	varEndLog L/H/X	endereço do próximo registro de <i>log</i>
2	varNumLog L/H	número de registros de <i>log</i> na memória
1	auxFreq	número de verificações feitas durante o ciclo a ser gravado
2	auxTensao L/H	soma das leituras do ADC durante o ciclo a ser gravado
2	auxTempoLog L/H	número de verificações feitas desde o último <i>log</i> gravado

rotina <Verificação>		
1	flagFim	indica o fim da rotina
rotina <FimSeg>		
1	varEstadoSeg	indica se o segundo atual está ou não gravado certo na memória
3	varNotaSeg L/H/X	nota dada para o segundo atual
3	varTempo L/H/X	número de segundos ocorridos desde o início da verificação
3	varEndSegAtual L/H/X	endereço do segundo atual
rotina <Medição>		
2	varTempoSeg L/H	número de verificações feitas no segundo atual
1	flagLog	indica se deve ser gerado um registro de <i>log</i>
3	varPontSeg L/H/X	ponteiro do endereço de gravação da próxima leitura no segundo atual
rotina <Ciclo>		
1	auxSinal	guarda o sinal da tensão da última medição
1	auxFreq	número de verificações feitas no ciclo anterior
2	auxTensao L/H	soma das leituras feitas pelo ADC no ciclo anterior
2	auxTempoLog L/H	número de verificação feitas no ciclo anterior
1	varFreq	número de verificações feitas no ciclo atual
2	varTensao L/H	soma das leituras feitas pelo ADC no ciclo atual
2	varTempoLog L/H	número de verificação feitas desde o último registro de <i>log</i>
Interrupção do Canal Serial		
1	flagTransm	indica se foi recebido algum dado pelo canal serial
1	varRecebe	valor do <i>byte</i> recebido pelo canal serial
rotina <TransmSerial>		
1	varEspSerial	tempo de espera para recepção do próximo <i>byte</i> pelo canal serial
1	flagMenuSerial	indica em que posição do menu a comunicação serial se encontra
rotina <Nota Verificação>		
3	auxNotaSeg L/H/X	auxiliar utilizado no cálculo da nota
1	pontTabNota	ponteiro para a tabela da forma de onda fundamental
1	auxADCNota	tensão lida pelo ADC convertida para positivo

FUNCIONAMENTO GERAL DO SISTEMA EM ASSEMBLY

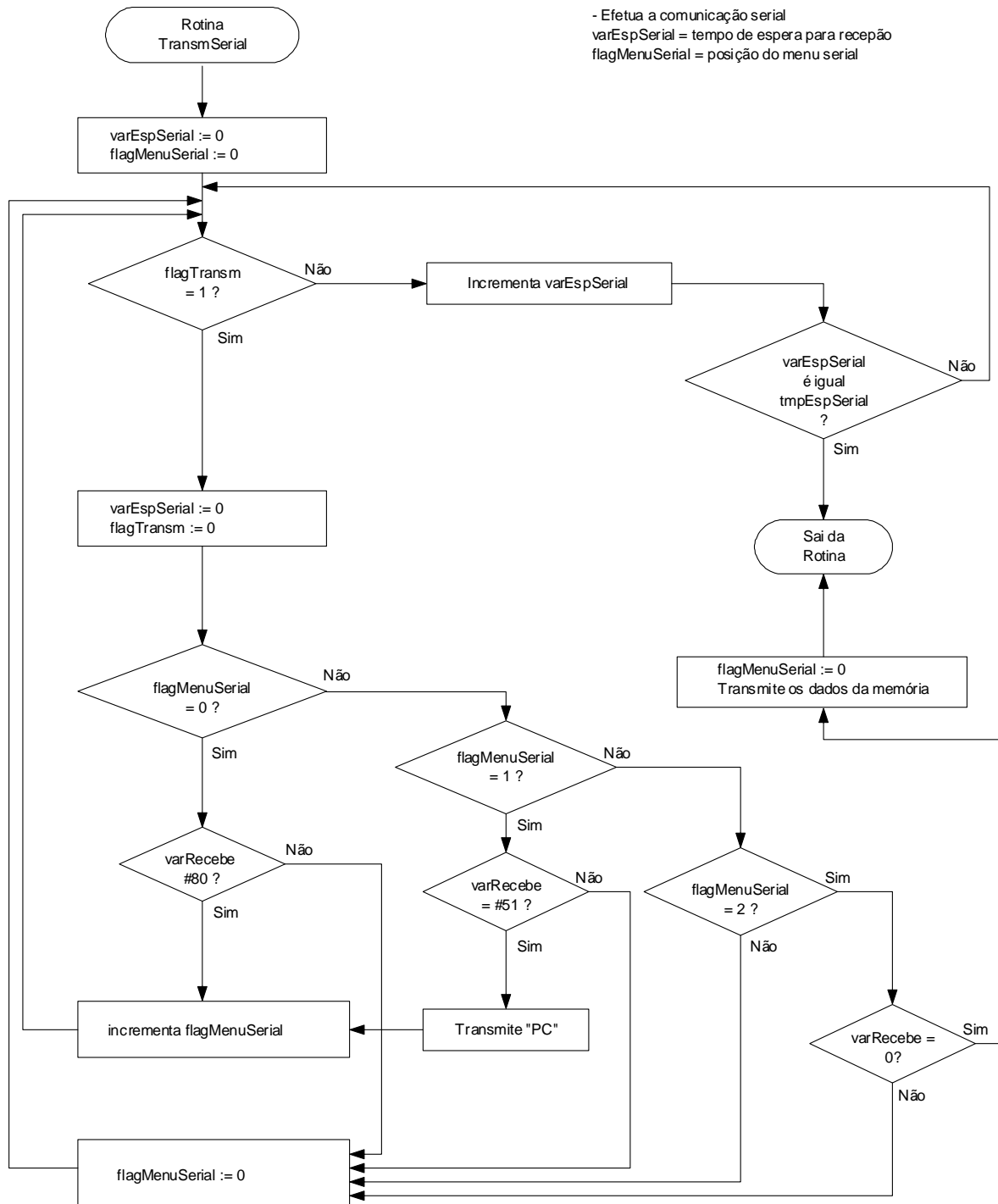


Programa Principal



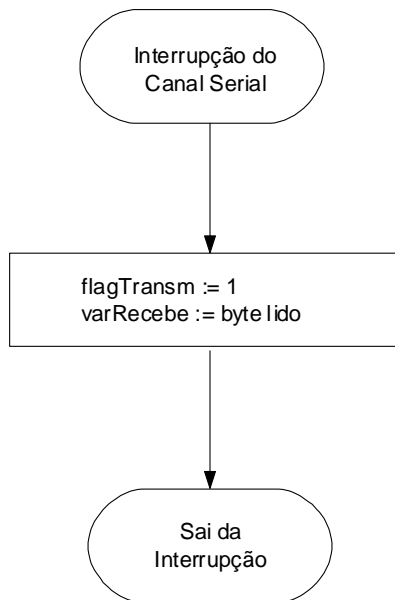
Rotina Transm. Serial

- Efetua a comunicação serial
 varEspSerial = tempo de espera para recepção
 flagMenuSerial = posição do menu serial



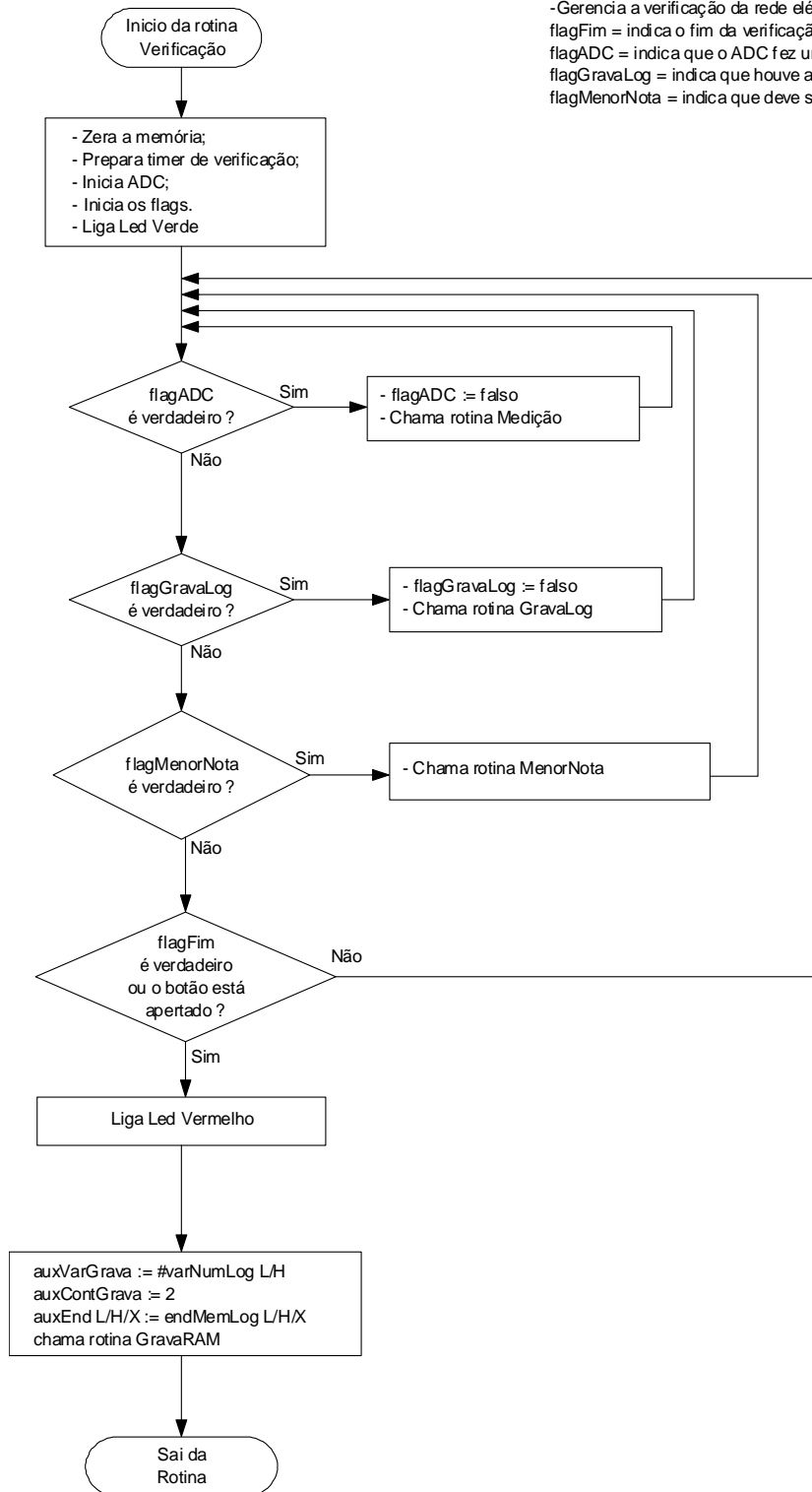
Interrupção do Canal Serial

- Recebe um byte pelo canal serial
flagTransm = indica que foi recebido um byte
varRecebe = contém o byte recebido



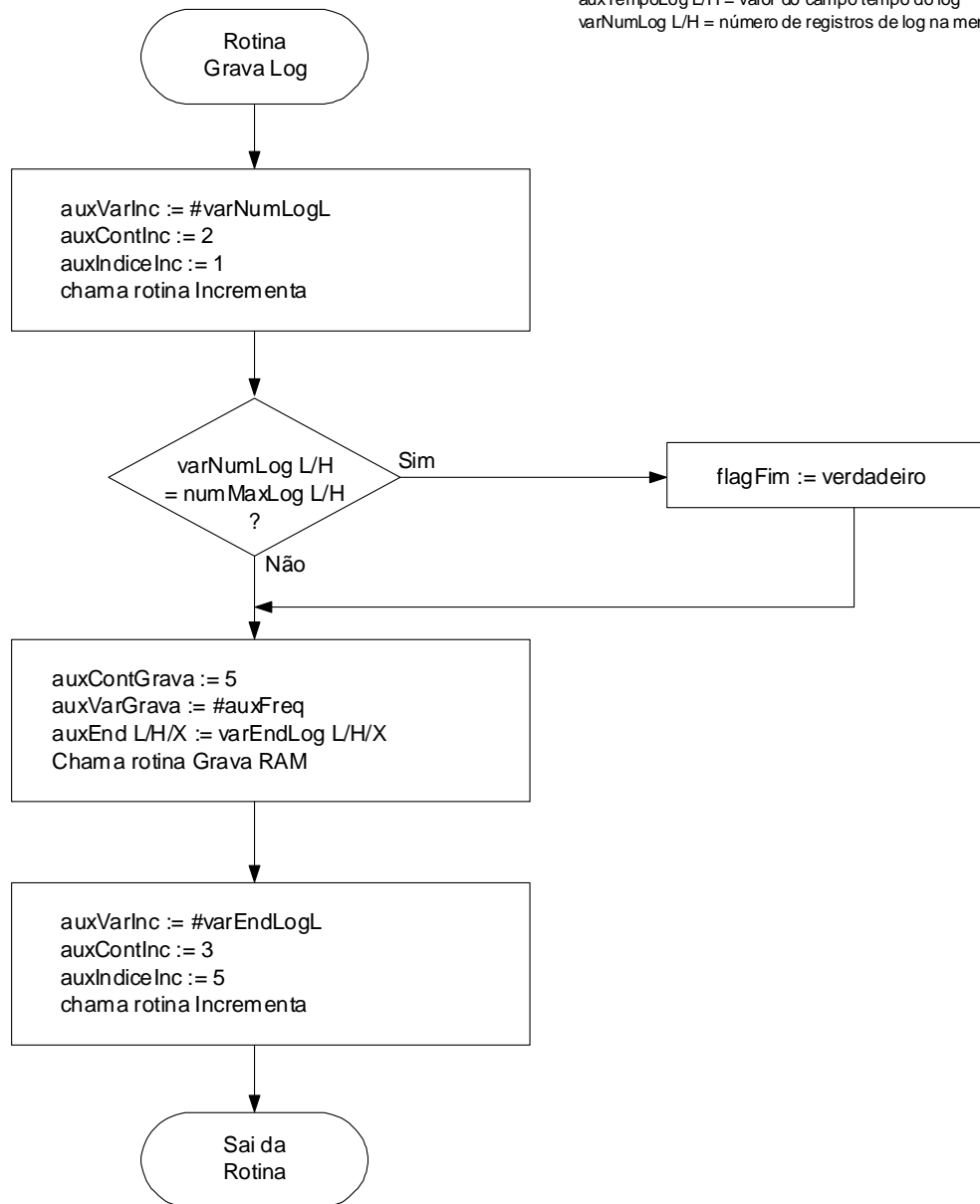
Rotina Verificação

-Gerencia a verificação da rede elétrica
 flagFim = indica o fim da verificação
 flagADC = indica que o ADC fez uma leitura
 flagGravaLog = indica que houve alteração de tensão ou freq.
 flagMenorNota = indica que deve ser executada a rotina MenorNota



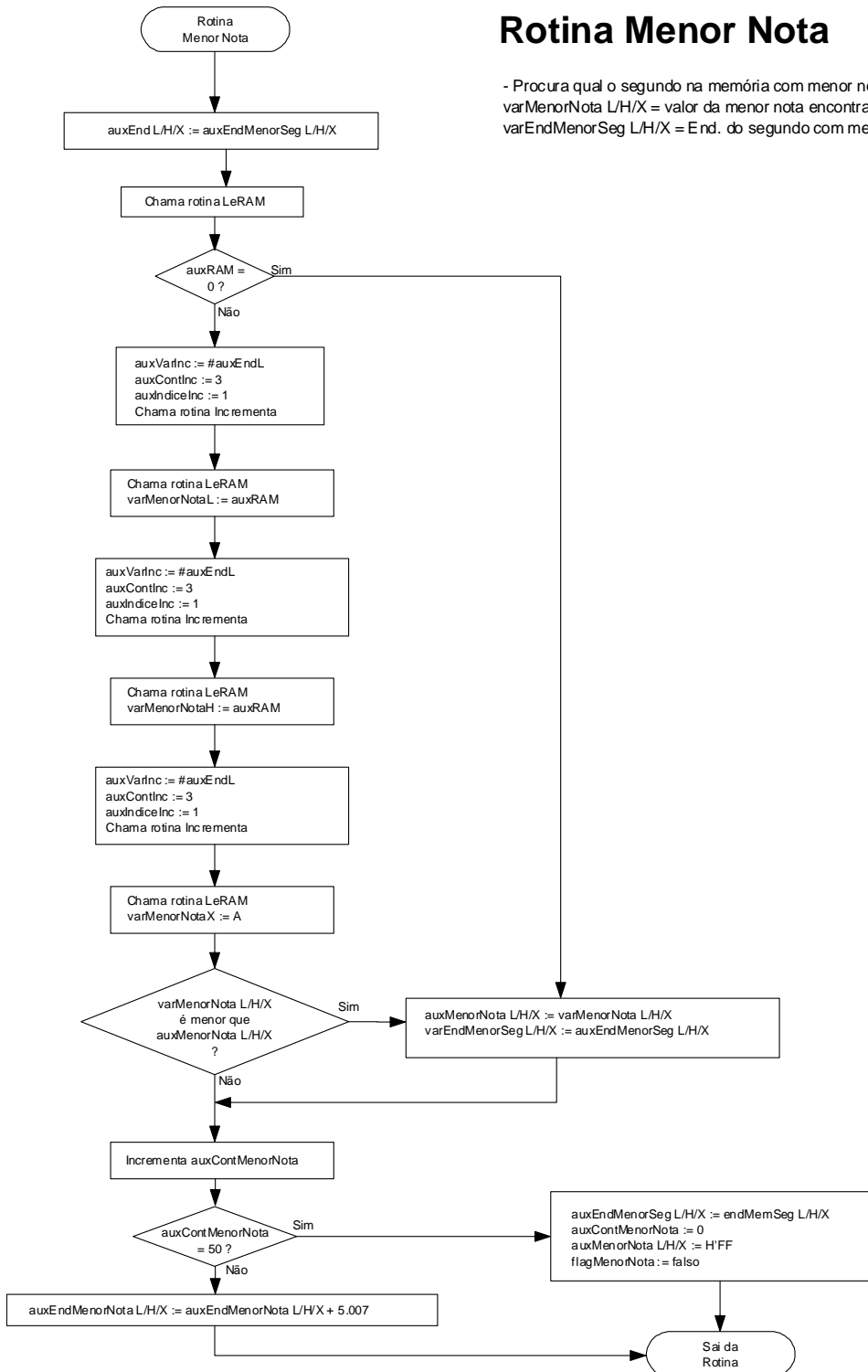
Rotina Grava Log

- Grava um registro de log na memória
 varEndLog L/H/X = end. do próximo log
 auxFreq = valor do campo frequência do log
 auxTensao L/H = valor do campo tensão do log
 auxTempoLog L/H = valor do campo tempo do log
 varNumLog L/H = número de registros de log na memória



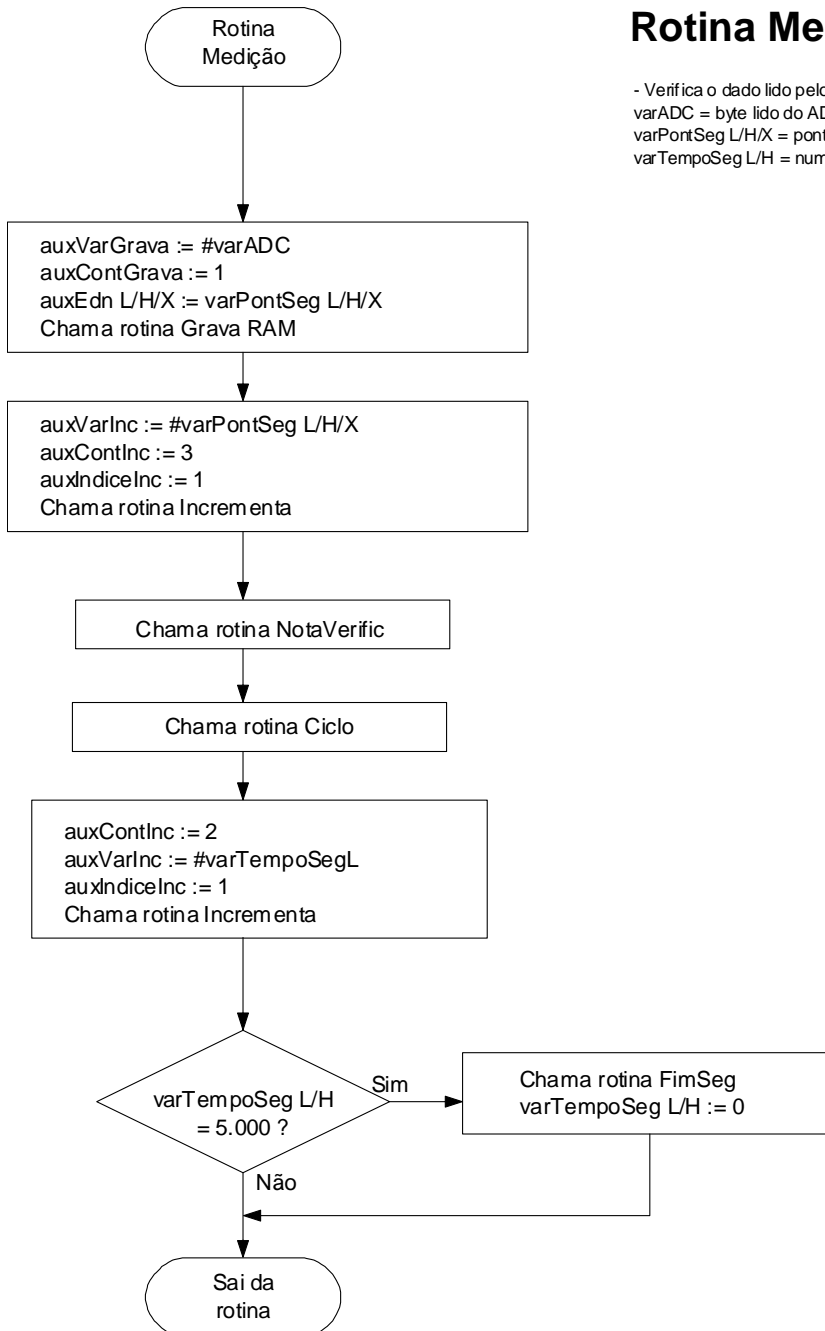
Rotina Menor Nota

- Procura qual o segundo na memória com menor nota
 varMenorNota L/H/X = valor da menor nota encontrada
 varEndMenorSeg L/H/X = End. do segundo com menor nota



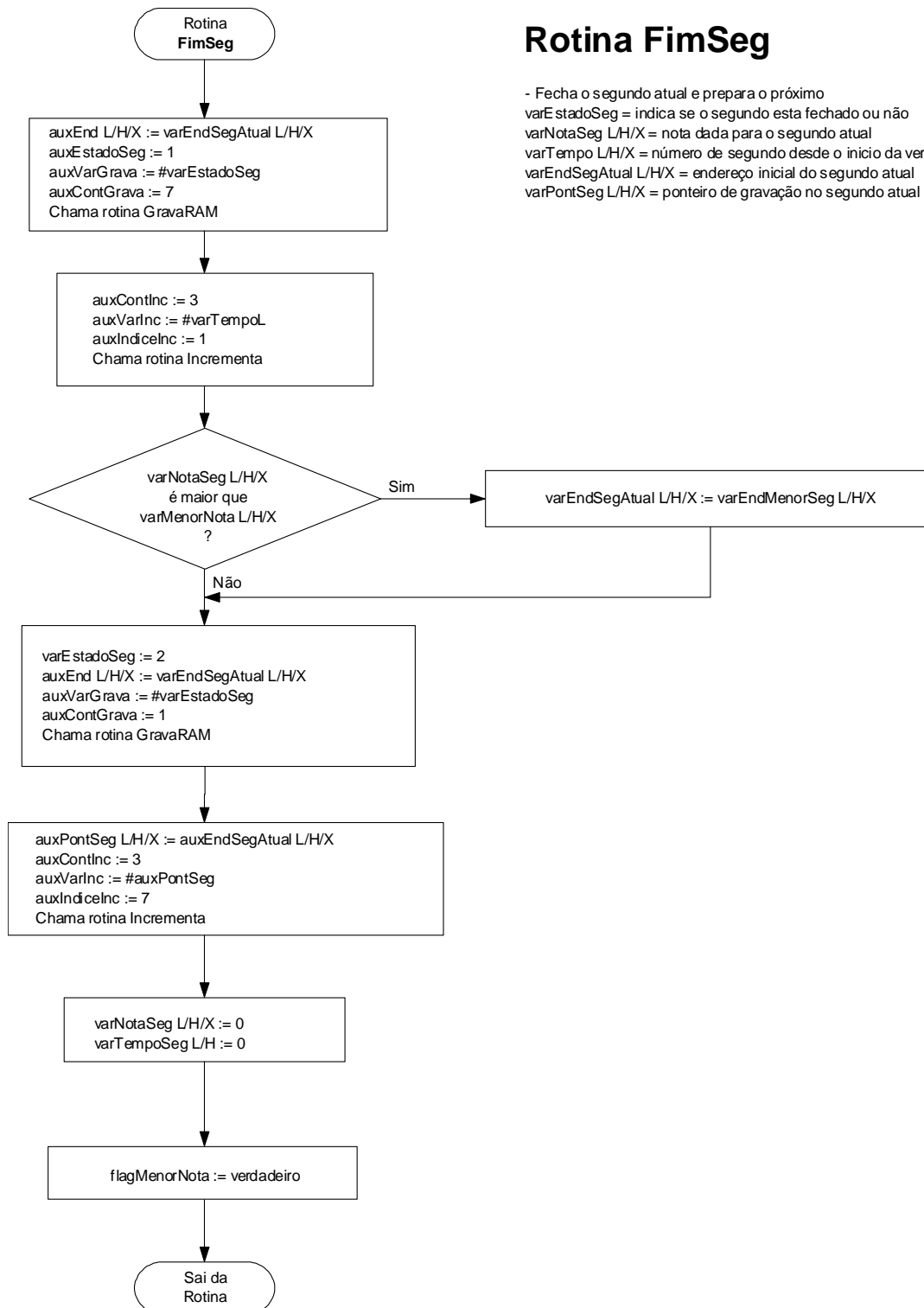
Rotina Medição

- Verifica o dado lido pelo ADC
 varADC = byte lido do ADC
 varPontSeg L/H/X = ponteiro de gravação do segundo
 varTempoSeg L/H = numero de verif. feitas no segundo



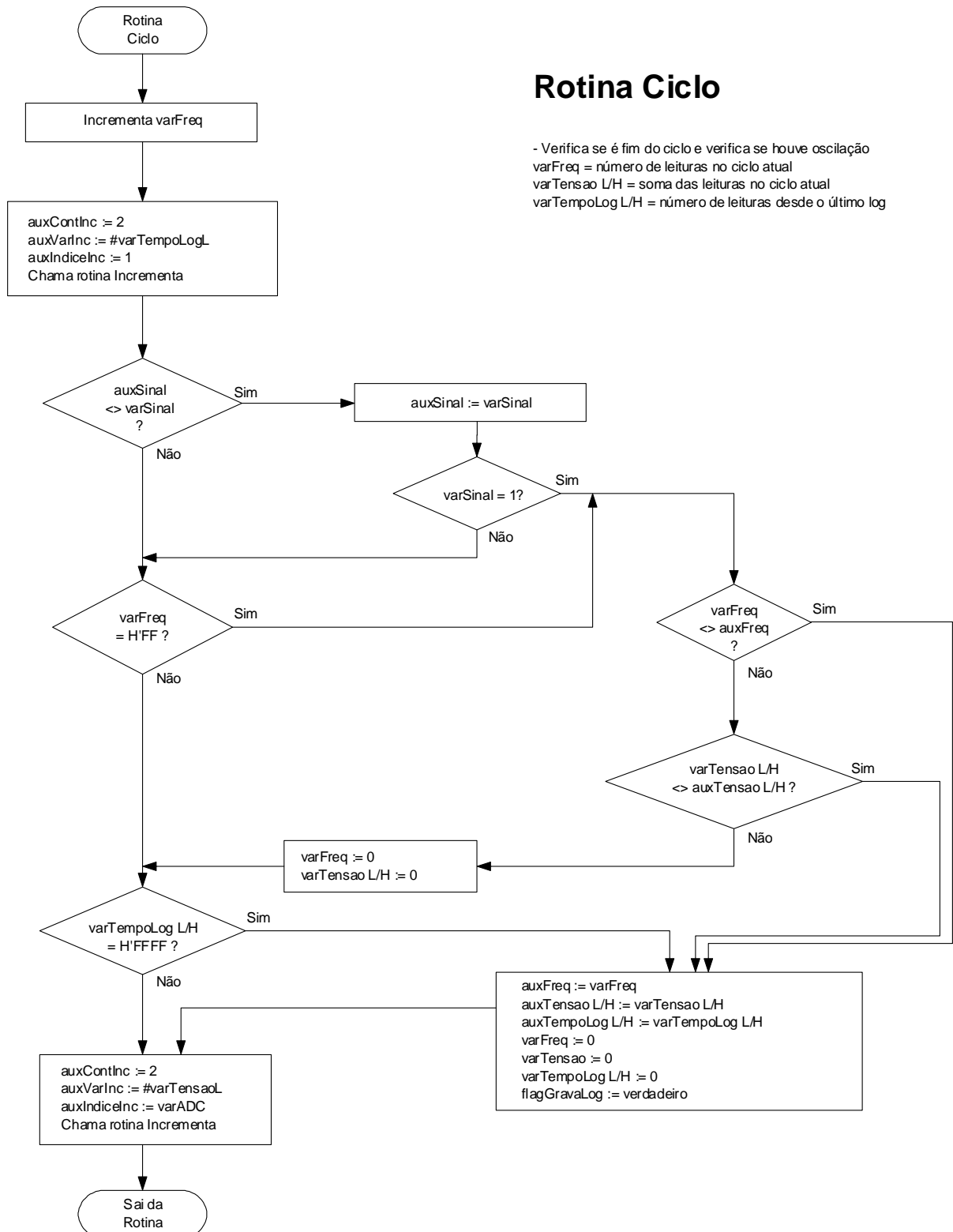
Rotina FimSeg

- Fecha o segundo atual e prepara o próximo
 varEstadoSeg = indica se o segundo esta fechado ou não
 varNotaSeg L/H/X = nota dada para o segundo atual
 varTempo L/H/X = número de segundo desde o início da verif.
 varEndSegAtual L/H/X = endereço inicial do segundo atual
 varPontSeg L/H/X = ponteiro de gravação no segundo atual



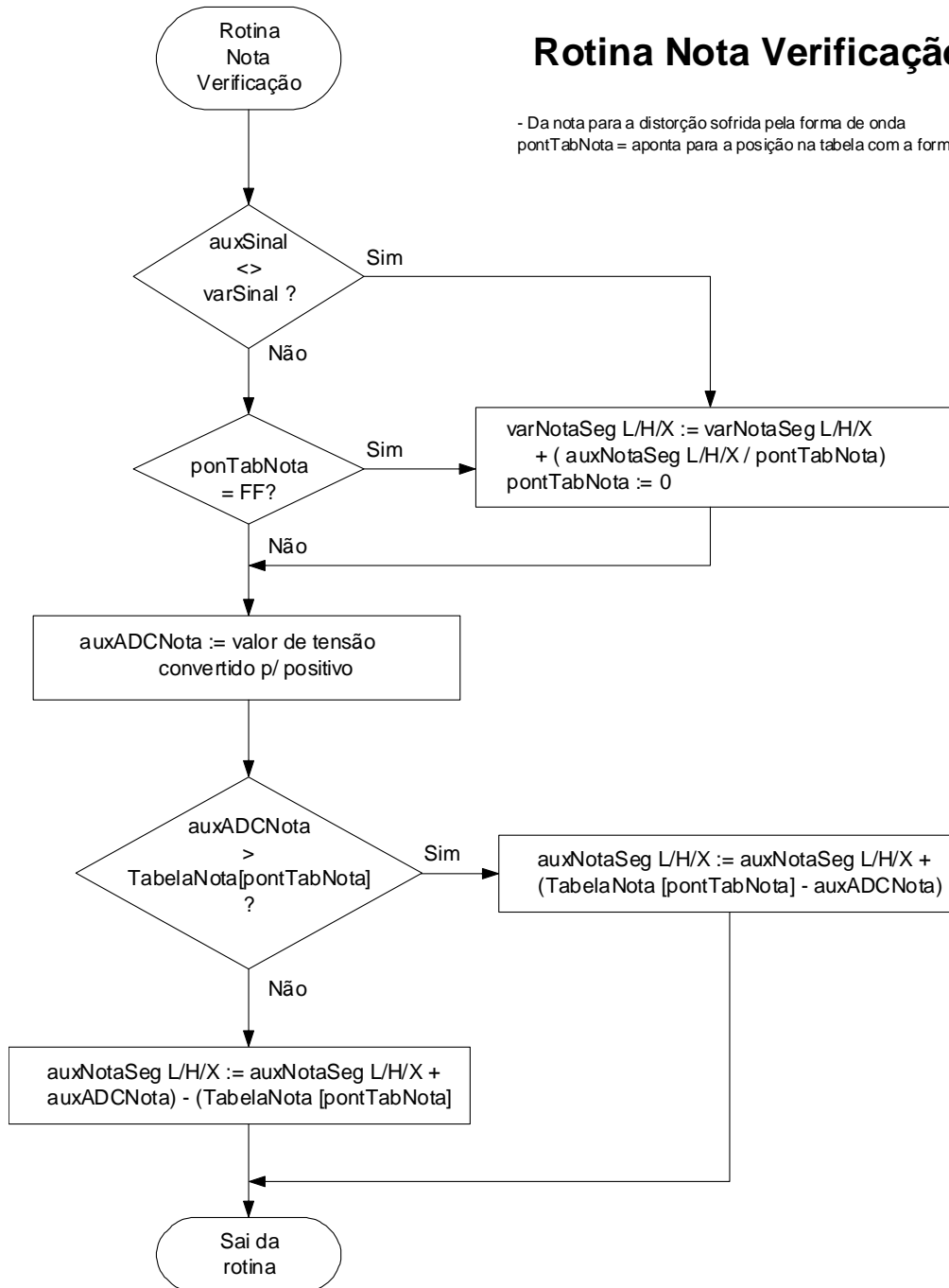
Rotina Ciclo

- Verifica se é fim do ciclo e verifica se houve oscilação
 varFreq = número de leituras no ciclo atual
 varTensao L/H = soma das leituras no ciclo atual
 varTempoLog L/H = número de leituras desde o último log



Rotina Nota Verificação

- Da nota para a distorção sofrida pela forma de onda
 pontTabNota = aponta para a posição na tabela com a forma de onda

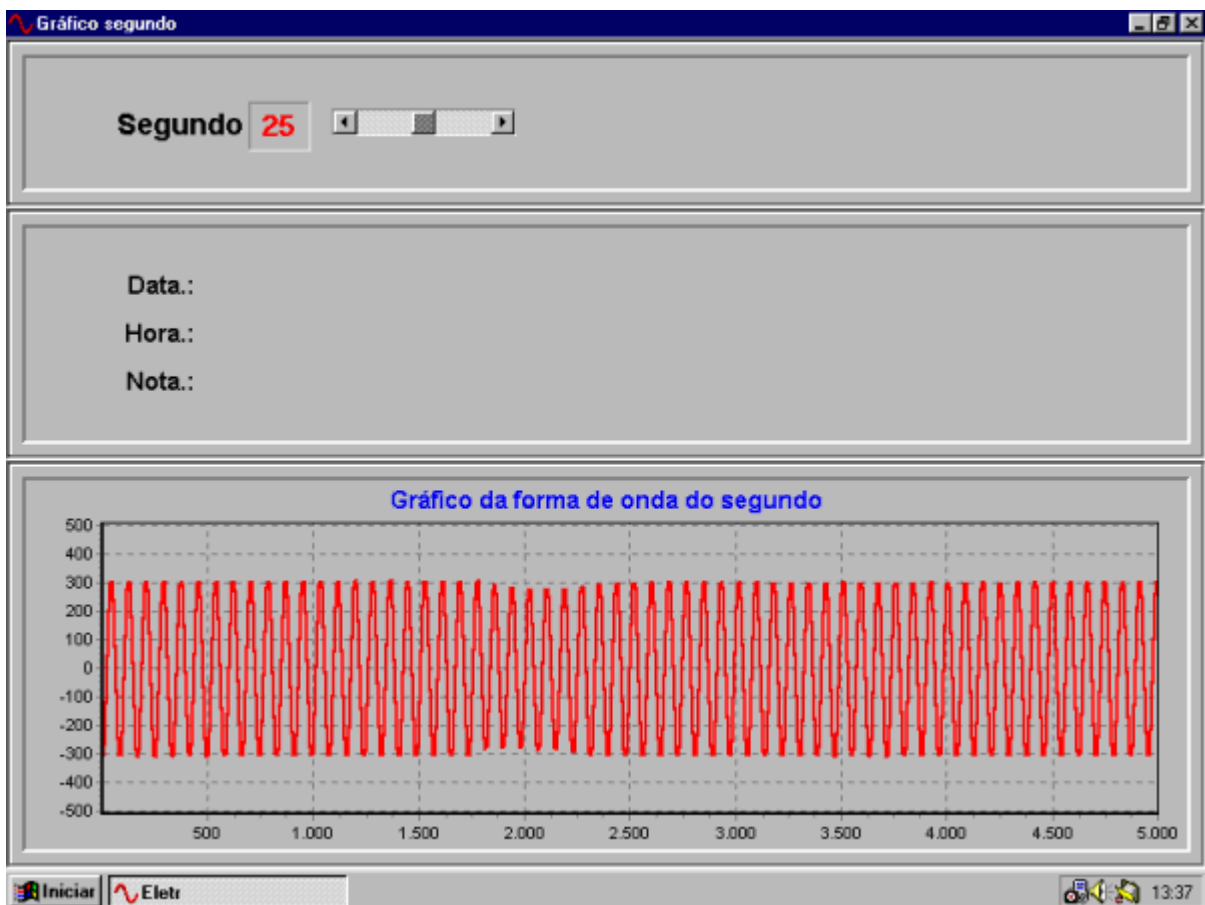


ANEXO 2

EXEMPLOS DE LEITURA DA REDE ELÉTRICA

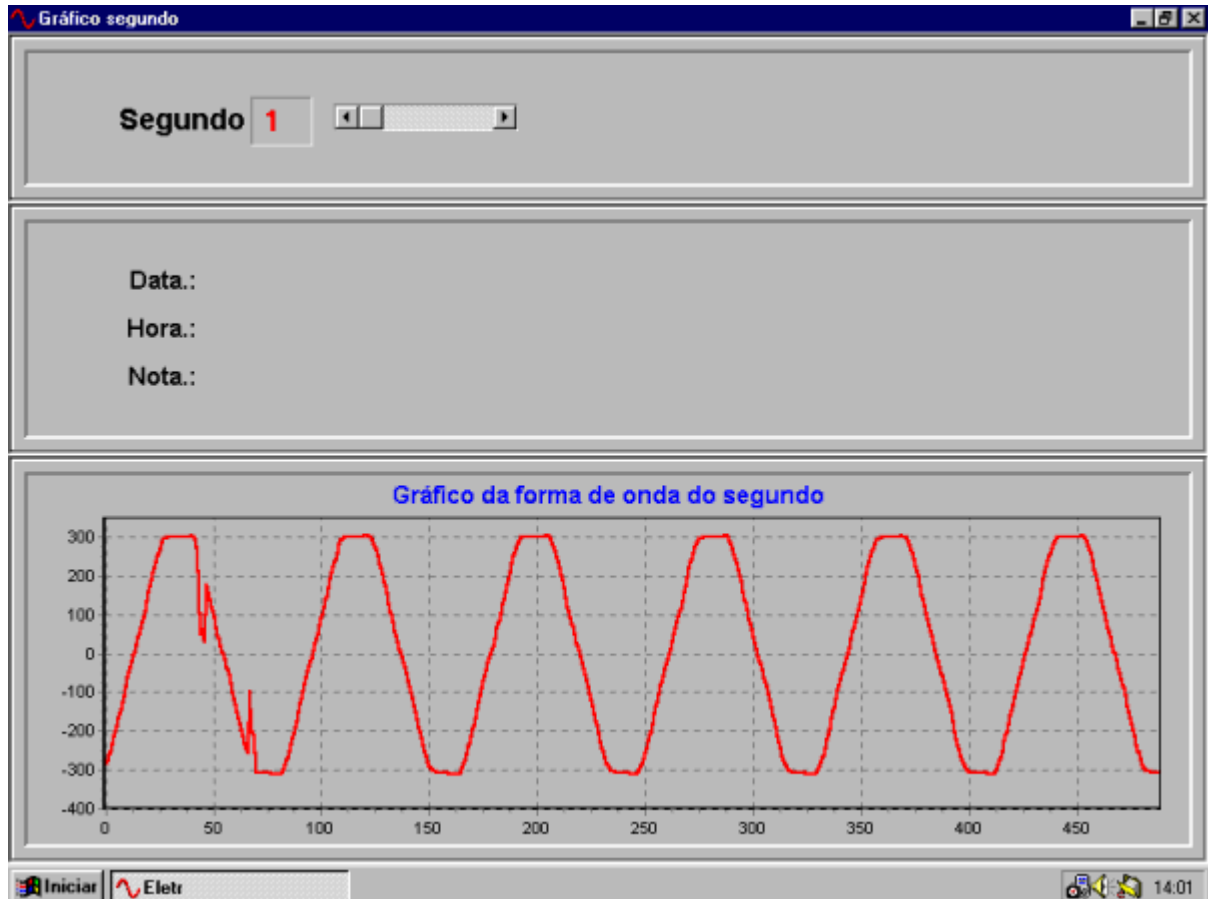
A FIGURA 27 mostra um exemplo de leitura da rede de energia elétrica no momento em que foi acionado um motor elétrico de 1 HP. É possível de se verificar que houve um afundamento de tensão.

FIGURA 27 - DISTORÇÃO DA FORMA DE ONDA DURANTE A PARTIDA DE UM MOTOR



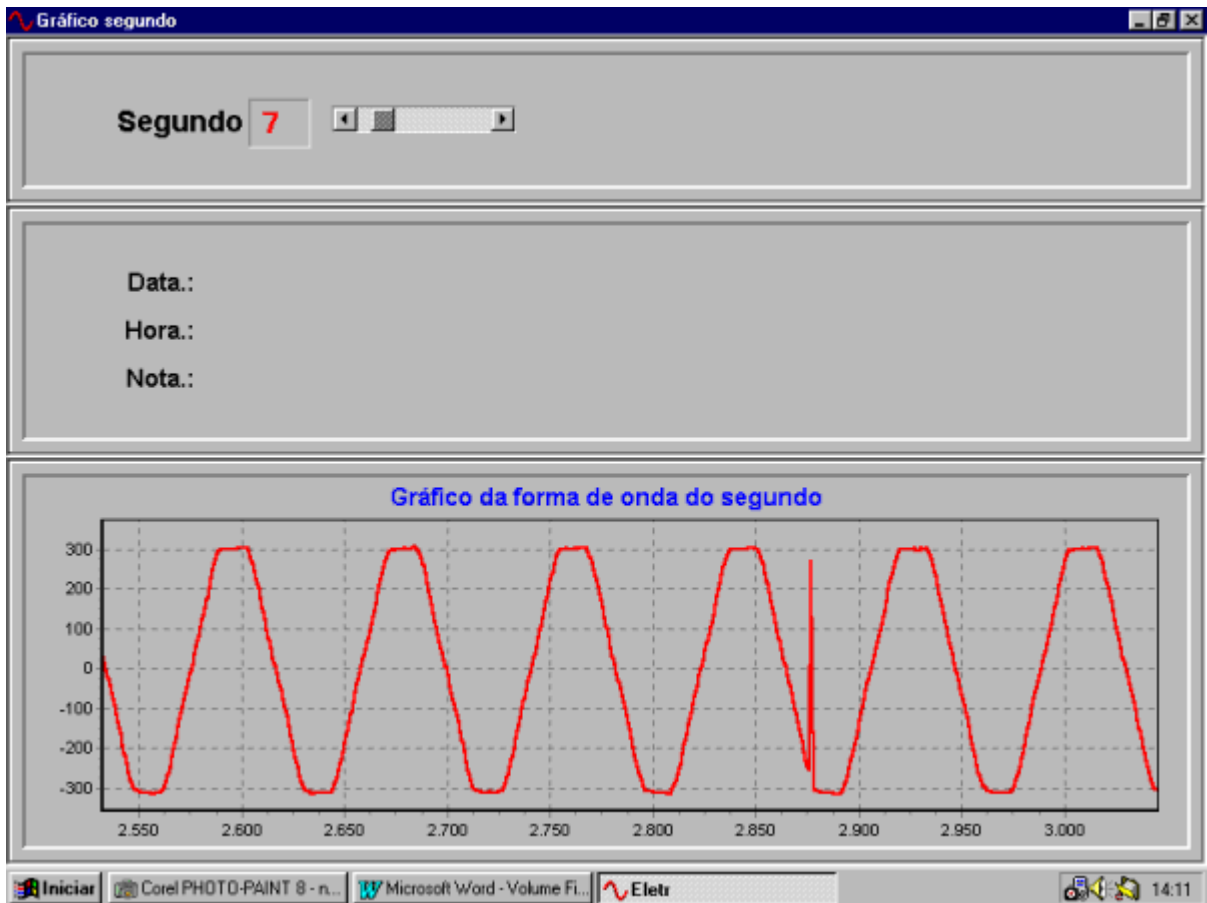
A FIGURA 28 ilustra uma distorção da forma de onda detectada durante a realização de alguns testes de medições.

FIGURA 28 - EXEMPLO DE LEITURA DA REDE ELÉTRICA



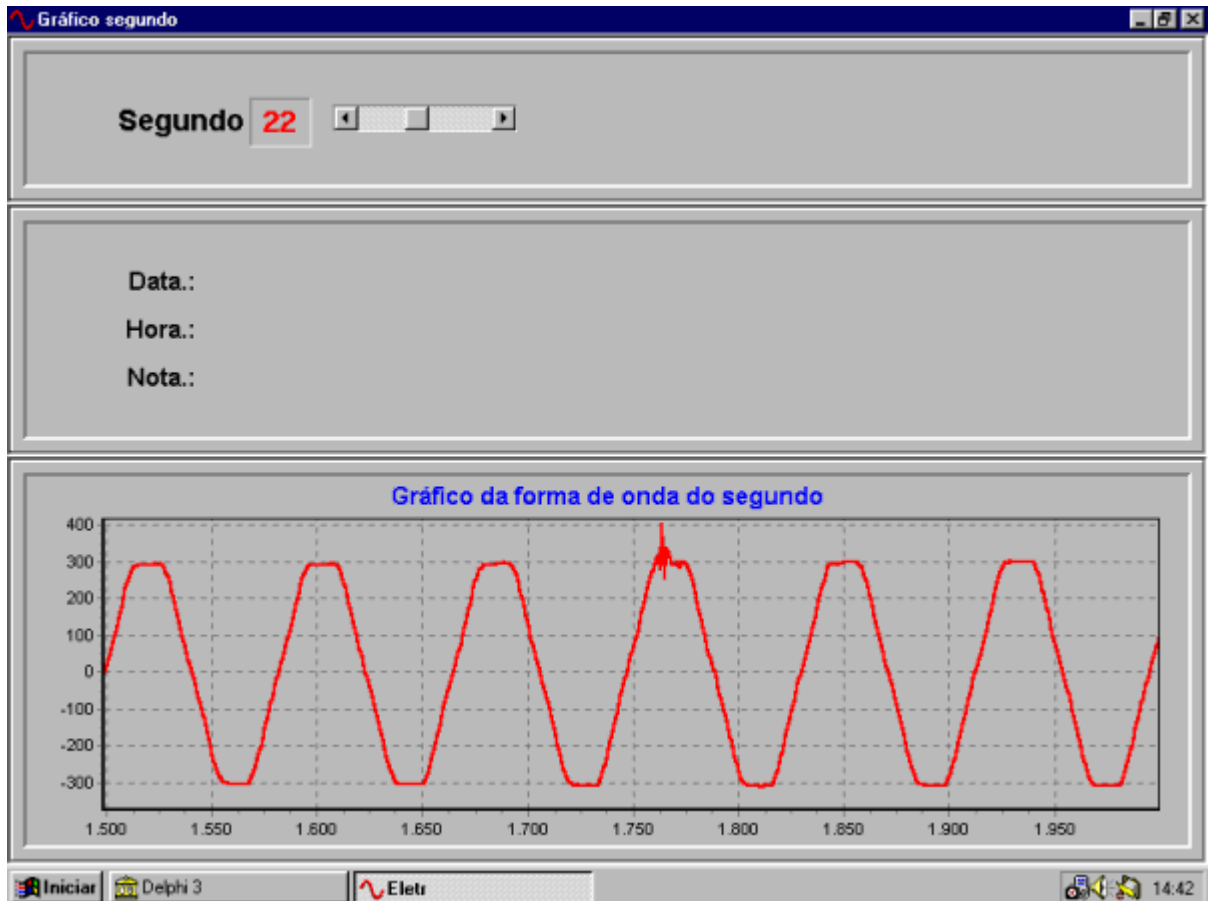
A FIGURA 29 demonstra uma distorção da forma de onda gerada pela magnetização de uma bobina.

FIGURA 29 - DISTORÇÃO DA FORMA DE ONDA GERADA PELA MAGNETIZAÇÃO DE UMA BOBINA



A FIGURA 30 ilustra uma distorção sofrida pela forma de onda no topo da senóide.

FIGURA 30 - DISTORÇÃO NO TOPO DA FORMA DE ONDA



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [ABR99] ABREU, José Policarpo; CARVALHO, José Maria Filho; VILAS-BOAS, Francisco Márcio. **Medidas para reduzir o impacto de depressões de tensão na produção.** Eletricidade Moderna, ano XXVII, nº 300, março, 1999, Aranda.
- [AFF99] AFFONSO, Octavio Ferreira; ANDRADE, Adnei Melges de; DINI, Nádia; PAVÃO, Augusto Carlos. **A dispersão dos valores da tensão para os consumidores residenciais.** Eletricidade Moderna, ano XXVII, nº 301, abril, 1999, Aranda.
- [ATM97] ATMEL. **8-bit microcontroller with 4k bytes flash – at89c51**, 026F-A-12/97. USA : s. ed., 1997
- [FAG99] FAGÁ, Murilo Tadeu W.; OLIVEIRA, José Gil. **Medidores de energia elétrica na presença de harmônicos.** Eletricidade Moderna, ano XXVII, nº 301, abril, 1999, Aranda.
- [FOW92] FOWLER, Richard. **Eletricidade : princípios e aplicações.** São Paulo : Makron Books, 1992.
- [GRE99] GREBE, Thomas E.; SMITH, Sandy. **Visualize system simulation and measurement data.** IEEE Computer Applicatinos in Power, vol. 12, nº 3, julho/99 . USA : IEEE, 1999
- [GUS85] GUSSOW, Milton. **Eletricidade básica.** São Paulo : McGraw-Hill do Brasil, 1985.
- [MAR73] MARTINS, Nelson. **Introdução à teoria da eletricidade e do magnetismo.** São Paulo : Edgard Blücher, 1973.

- [MAX97] MAXIM INTEGRATED PRODUCTS. **+5v powered, multichannel rs-232 drivers/receivers**, 19-4323, Rev. 7b. USA: s.ed., 1997
- [NAZ97] NAZARETH, Helenalda. **Curso básico de estatística**. São Paulo : Ática, 1997.
- [NIS80] NISHINARI, Akiyoshi; SIGHIERI, Luciano. **Controle automático de processos industriais**. São Paulo : Edgar Blücher, 1980.