



UNICEUB - Centro Universitário de Brasília
FATECS - Faculdades Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas
Curso da Engenharia de Computação

MEDIDOR DE CONSUMO ELÉTRICO RESIDENCIAL ATRAVÉS DE
MICROCONTROLADOR PIC

Leandro Almeida Soares e Silva

Professor Orientador:

Prof. M.C. José Julimá Bezerra Junior

BRASÍLIA/ DF
2008

LEANDRO ALMEIDA SOARES E SILVA

MEDIDOR DE CONSUMO ELÉTRICO RESIDENCIAL ATRAVÉS DE
MICROCONTROLADOR PIC

Orientador: Prof. M.C. José Julimá Bezerra Junior

Monografia Apresentada ao Centro
Universitário de Brasília – UNICEUB.
Para obtenção do título em Bacharel em
Engenharia da Computação.

Brasília
2008

Dedicatória

Dedico este trabalho primeiro a Deus, por este curso que me foi conquistado com muita luta e sacrifícios. Aos meus pais, por toda a dedicação, apoio e incentivo em minha capacitação. A todas as pessoas que sempre estiveram apoiando-me nessa jornada.

AGRADECIMENTO

Agradeço primeiramente a Deus que está ao meu lado em todos os momentos.

Aos meus pais João e Maria, pelo amor, exemplo, confiança e felicidade à minha formação.

À minha namorada Rachel, pela ajuda fornecida, a paciência e o entendimento dependido.

Aos meus colegas de turma pela contribuição, solidariedade que demonstraram no decorrer do curso.

Ao meu orientador Prof. M.C. José Julimá Bezerra Junior, pelo apoio e orientação.

Agradeço ao Centro Universitário de Brasília - UNICEUB e aos professores.

À Direção e todos os professores desta Instituição de Ensino, pelo ensino e atenção.

RESUMO

Como a energia elétrica tornou-se algo fundamental e necessário para o bem estar do indivíduo, é natural que seja otimizada uma forma de disponibilizar uma leitura mais sociável e de fácil entendimento para todos, contendo não somente o seu consumo, como também o valor a ser pago por esta energia consumida, haja vista, que os medidores de consumo eletromecânicos disponíveis não são de fácil interpretação e dispostos de aparatos que facilitem calcular gastos. Visando esta melhoria, foi desenvolvido um circuito para tratar o sinal proveniente da rede de energia elétrica, composto por transformador de corrente, transdutor de potência e um circuito gerenciado por um microcontrolador que calcula o consumo e disponibiliza em uma interface que fornece os valores para o usuário do aparelho.

Palavras-chave: microcontrolador, consumo de energia elétrica, pic18f452, medição de energia, transdutor de potência, transformador de corrente, visor lcd, linguagem de programação C, conversor A/D.

ABSTRAT

As the electric power has become something fundamental and necessary for the welfare of the individual, it is natural to have a optimized way to make reading a more sociable and easy understanding for everyone, containing not only its consumption, but also the value to be paid by the energy consumed, i.e., the consumption of electromechanical meters are not available for easy interpretation and arranged apparatuses to facilitate calculating expenses. Aiming to this improvement, was developed a circuit for processing the signal from the network of electric power composed by a current transformer, transducer power and a circuit managed by a microcontroller that calculates the consumption and offers in an interface that provides the values for the user of apparatus.

Keywords: microcontroller, electrical energy consumption, pic18f452, measurement of energy, power transducer, current transformer, LCD visor, programming language C, A/D converter.

SUMÁRIO

Sumário.....	VII
Lista de figuras.....	X
Lista de tabelas.....	XII
Lista de abreviações e siglas.....	XIII
1. Introdução.....	1
1.1 Metodologia.....	1
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Motivação e visão geral do projeto.....	3
1.4 Estrutura da monografia.....	5
2 Fundamentação Teórica.....	6
2.1 Produção de energia.....	6
2.2 Transmissão de energia.....	8
2.3 Distribuição de Energia.....	9
2.4 Métodos de Medição da Energia.....	11
2.4.1 Medidor por Indução.....	13
2.4.2 Rotação do Disco.....	14
2.4.3 Atrito gerado.....	14
2.5 Transformador de corrente.....	15
2.5.1 Corrente elétrica.....	17
2.6 Potência de energia elétrica.....	19
2.6.1 Potência.....	19
2.6.2 Medidores de Potência.....	21
2.6.3 Transdutor de Potência.....	21

2.7	Multímetro.....	23
2.7.1	Fontes senoidais.....	25
3	Construção do Protótipo	26
3.1	Simulação da Residência.....	27
3.2	Hardware	28
3.2.1	Kit de Desenvolvemento Microgenios	28
3.2.2	Porta Serial	30
3.2.3	Microcontrolador PIC18F452.....	31
3.2.4	Conversor A/D.....	35
3.2.5	Display LCD.....	36
3.2.6	Teclas de Interrupção externa.....	39
3.2.7	Transformador de corrente 50/5	40
3.2.8	Transdutor de Potência TRX-P/U-M	41
3.2.9	Ligações do Transdutor de Potência	42
3.2.10	Microcomputador.....	44
3.3	Software	45
3.3.1	Sistema Operacional.....	45
3.3.2	MikroC	45
3.3.3	WinPic8000	47
3.3.4	Código fonte desenvolvido.....	47
4	Conclusão.....	51
4.1	Resultado obtido.....	51
4.2	Dificuldades encontradas	51
4.3	Sugestões de trabalho futuro	52
5	Referências bibliográficas.....	53

Apêndice A – Código fonte	55
Apêndice B – Diagrama elétrico completo.....	59
Anexo A – Fotos do circuito completo	60
Anexo B – Manual Transformador de Corrente	61
Anexo C – Características técnicas do transdutor.....	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1-	Interface proposta no protótipo.....	4
Figura 2-	Diagrama de blocos do circuito montado.....	5
Figura 3-	Usina hidrelétrica de Corumbá – FURNAS, 4 geradores num total de 375 MW. Tensão 13,8 kV. (CONTROLLINE, 2008).....	7
Figura 4-	Diagrama de um sistema elétrico – Produtor → Consumidor. (CREDER, 2000) .	7
Figura 5-	Linha de transmissão de alta tensão. (STOCK, 2008).....	9
Figura 6-	Configuração do sistema de distribuição primária de Brasília (DF) em 1972 (CREDER, 2000).....	10
Figura 7-	Tipos de sistema de distribuição primária. (CREDER, 2000).....	11
Figura 8-	Relógio medidor de energia (CLIC ENERGIA, 2008).....	13
Figura 9-	Mostrador de ponteiro (CLIC ENERGIA, 2008).....	14
Figura 10-	Simbologia de dois Transformadores de Corrente (WIKIPEDIA, 2008).....	15
Figura 11-	Representação dos condutores primário e secundário no TC. (SALA DE FÍSICA, 2008).....	16
Figura 12-	Transformador de corrente 50/5. (SIEMENS, 2008).....	17
Figura 13-	Esquema de um circuito elétrico completo. (CREDER, 2000).....	18
Figura 14-	Conta de energia da Companhia Energética de Brasília (CEB).	20
Figura 15-	Transdutor de Potência (WARD, 2008).....	22
Figura 16-	Multímetro Digital e alicate amperímetro.....	24
Figura 17-	Protótipo com todos os seus componentes.....	26
Figura 18-	Perfil do consumo de energia elétrica da CEMIG. (CREDER, 2000).....	27
Figura 19-	Arranjo do protótipo e seus componentes.	28
Figura 20-	Layout do kit de desenvolvimento utilizado. (MICROGENIOS, 2008).....	29

Figura 21-	Chip PIC 18F452 (MICROCHIP, 2002),.....	34
Figura 22-	Diagrama de Blocos do conversor A/D do PIC 18F452 (MICROCHIP, 2002)	
	36	
Figura 23-	Ligação LCD – microcontrolador. (MICROGENIOS, 2008).....	37
Figura 24-	Display com os valores a serem disponibilizados.....	38
Figura 25-	Esquema de ligação das teclas de interrupção externa.....	39
Figura 26-	Tensão e corrente em fase. (CREDER, 2000).....	43
Figura 27-	Terminais do transdutor de potência.....	43
Figura 28-	Programa escrito no software MikroC.	46
Figura 29-	WinPic8000	47

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Tabela do diagrama de um sistema elétrico	8
Tabela 2.	Cargas de distribuição	11
Tabela 3.	Tabela explicativa dos itens utilizados.....	29
Tabela 4.	Parâmetros de comunicação serial em linguagem C.....	31
Tabela 5.	Tabela explicativa sobre os valores do display.	38
Tabela 6.	Valores de saída do transdutor.....	42
Tabela 7.	Especificações do microcomputador.	44

LISTA DE ABREVIÇÕES E SIGLAS

A – Amprère (Corrente elétrica)

A/D – Analog/Digital (Analogico Digital)

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica

BIT – Binary Digit

BPS – Bits Per Second

CEB – Companhia Energética de Brasília

Conversor A/D – Conversor Analógico/Digital

CMOS – Complementary Metal-Oxide Semiconductor (Semicondutor metal-óxido complementar)

DB9 – Conector utilizado em comunicação serial RS232 de 9 pinos

DCE – Data Circuit-terminating Equipament

DTE – Data Terminal Equipament

EIA – Eletronic Industries Association

GND – Pólo “terra” de um circuito eletrônico

h – hora

Hayes Command Set, Comandos AT – abreviação de attention

HD – Hard Disc (Disco Rigido)

Hz – Hertz (frequência)

k – Representação de 10^3

M - Representação de 10^6

I – Corrente elétrica.

I/O – Input/Output (Entrada/Saída)

IEC – International Electrotechnical Commission

ISO – International Organization for Standardization

LED – Light Emission Diode

Oscilador RC – Resistor-Capacitor

PCI – Protocol Control Information

PDU – Protocol Data Unit

PIC – Programmeable Integrated Circuits

RAM – Randon Access Memory

RISC – Reduced Instrunction Set Computer

RM-OSI – Reference Model – Open Systems Interconnection

RS232 – Padrão de comunicação serial EIA (EIA232F)

RX – Via de recepção de dados na comunicação serial

SDU – Service Data Unit

TTL – Transistor-Transistor Logic (Lógica transistor-transistor)

TX – Via de transmissão de dados na comunicação serial

USART – Universal Synchronous Receiver Transmitter

USB – Universal Serial Bus

V – Volt

Vcc – Collector Common Voltage

W - Watt (Potência Elétrica)

1. INTRODUÇÃO

A engenharia exerce uma mediação entre o homem e a natureza, desde a energia do fogo à energia do átomo. Em constante relacionamento com a natureza, o homem aprendeu a desfrutá-la e a modificá-la de acordo com suas necessidades. Visto que a energia elétrica foi um progresso da civilização humana incrementada pela capacidade da sociedade em controlar e distribuir essa energia, proporcionando mudanças e melhorias na vida do ser humano. É um dos produtos mais consumidos e constitui-se como elemento indispensável para seu bem estar. “A eletricidade serve para transportar energia ao usuário. A energia encontrada em combustíveis fósseis ou nucleares é convertida em potência elétrica de modo a ser transportada e distribuída facilmente para os consumidores. Através das linhas de transmissão, a potência elétrica é transmitida e distribuída para a grande maioria das residências, indústrias e estabelecimentos comerciais” (Dorf & Svoboda, 2001, p.405).

Ainda segundo Dorf & Svoboda (2001, p. 07), a energia elétrica pode ser deslocada para qualquer ponto ao longo de um par de fios e, dependendo das necessidades do usuário, convertida em luz, calor ou movimento.

A grande vantagem da eletricidade comparada com outras fontes de potência é a transmissibilidade e a flexibilidade.

1.1 METODOLOGIA

Para a execução do projeto foram utilizadas pesquisas bibliográficas, sendo de extrema importância tanto para a construção do projeto quanto para a composição da monografia.

O Projeto foi definido da seguinte maneira:

- a) Concepção, onde foi feito um estudo de toda a documentação que serviu de base para seu desenvolvimento;
- b) Elaboração, onde foi feito um refinamento da visão inicial do sistema e elaboração dos métodos para sua implementação;
- c) Construção, onde foram realizadas as atividades de implementação das fases anteriores, fazendo a integração das mesmas;
- d) Testes, após a finalização da construção, foram feitos os testes necessários para verificação do funcionamento do sistema de medição conforme planejado. As ferramentas utilizadas foram os laboratórios de Informáticas e Microcontroladores do Curso de Engenharia da computação, com os artefatos oferecidos pelos mesmos, como medidores, microcontroladores, computadores e etc.

1.2 OBJETIVOS

Este projeto teve como objetivo pesquisar e implementar um dispositivo capaz de realizar a leitura do consumo de energia elétrica de uma residência, disponibilizando ao consumidor fácil leitura da energia consumida e seu custo momentâneo em moeda corrente através da adição ao aparelho do valor cobrado por quilowattthora que a concessionária fornecedora de energia dispõe. Foi realizado estudo que identificam as dificuldades no entendimento dos atuais medidores de consumo de energia elétrica e no cálculo conversor para moeda corrente. Esses estudos não implicam vínculo com nenhuma concessionária.

1.3 MOTIVAÇÃO E VISÃO GERAL DO PROJETO

A energia elétrica é de utilização fundamental para os indivíduos, sendo que seu consumo necessita ser controlado de maneira mais eficaz, tendo em vista que os atuais medidores de consumo de energia não apresentam uma interface atrativa e de fácil entendimento por parte de seus consumidores, fica por existir a necessidade de melhor interface com o usuário.

Além da dificuldade em interpretação dos dados nos medidores atuais, o usuário não tem a sua disposição uma ferramenta que lhe permita saber quanto o seu consumo irá lhe custar em moeda, haja vista, que somente lhe é fornecido tal valor ao fechamento da fatura pela concessionária disponibilizadora de energia.

Uma interface digital proporcionará ao usuário um meio de interatividade mais elevado com seu consumo de energia, permitindo que o gasto de energia possa ser melhor controlado por este.

Na figura 1 são representados os dois medidores de energia elétrica, sendo o primeiro medidor utilizado atualmente pelos usuários e o segundo, o padrão proposto neste protótipo, melhorando a visualização e já mostrando o valor a ser pago de modo instantâneo. Será obtido através do circuito redutor de energia, composto pelo Transformador de corrente, transdutor de potência, Microcontrolador PIC 18F452 e visor LCD, basicamente.

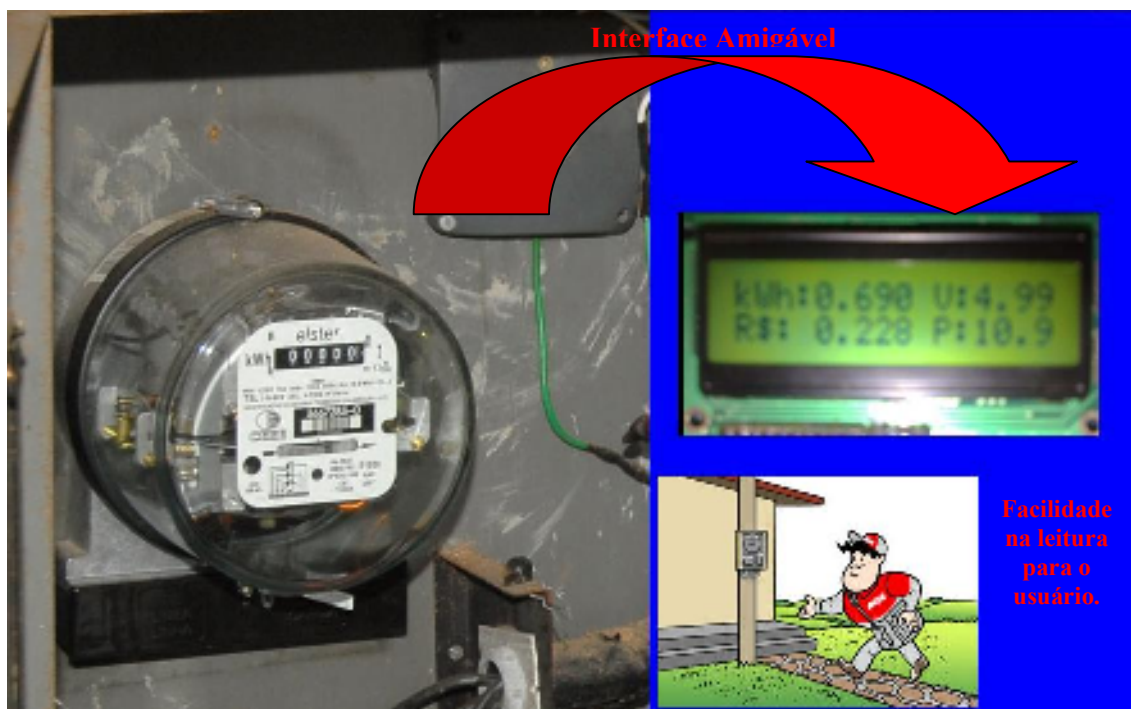


Figura 1- Interface proposta no protótipo.

Na figura 2 é possível identificar o funcionamento do circuito como um todo. A energia consumida pela residência (simulada no protótipo) tem sua corrente reduzida de forma que possa ser inserida no transdutor de potência. O transdutor será responsável pela multiplicação do valor da corrente do circuito pela sua tensão, retornando um valor em corrente contínua proporcional à potência consumida, que será interpretada no microcontrolador.

Esse valor em corrente contínua é então tratado no microcontrolador PIC 18F452, gerando para o usuário a visualização do consumo e disponibiliza o valor em moeda corrente a ser pago pela energia consumida.

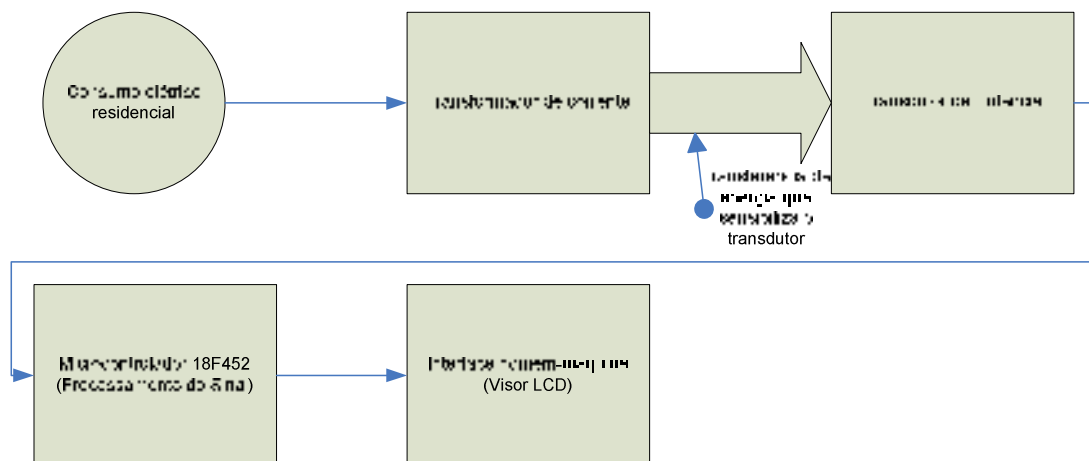


Figura 2- Diagrama de blocos do circuito montado

1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

A monografia se baseia em mais três capítulos além deste introdutório.

No capítulo dois, são levantados todos os embasamentos teóricos para a implementação do dispositivo medidor de consumo elétrico, que apesar de se embasarem em pesquisas recentes, não foi realizado o aprofundamento nos conhecimentos.

O capítulo três mostra a implementação do projeto em si, com a construção de seu circuito, desenvolvimento na linguagem escolhida e sua integração para um correto funcionamento a que se propõe este projeto que é a leitura do consumo de energia elétrica em uma determinada residência.

No capítulo quatro são apresentados os resultados efetuados no decorrer da sua implementação, as principais dificuldades e suas propostas para implementações futuras.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Para que o Projeto se tornasse viável, foi necessário estudo de alguns pontos, a fim de adquirir o embasamento teórico e prático necessário para o desenvolvimento e implementação do sistema.

2.1 PRODUÇÃO DE ENERGIA

Para se falar da produção de energia elétrica, é preciso conhecer as instalações de um sistema elétrico e seus componentes, desde a estação geradora até os consumidores de baixa tensão, que são o foco de medição deste projeto. A energia gerada para atender um sistema elétrico é da forma trifásica, alternada, tendo sido fixada a frequência de 60 ciclos/segundo para uso em todo o território nacional.

Entre inúmeras maneiras de obtenção da energia elétrica, como eólica, solar, nuclear e outras, a energia elétrica também pode ser gerada por meio do uso de energia potencial da água ou utilizando energia potencial dos combustíveis, ou seja, geração hidrelétrica ou geração termoelétrica,

No Brasil cerca de 90% da energia elétrica gerada são através de hidrelétricas, porque o País possui um rico potencial hidráulico, estimado em mais de 150 milhões de kW. As termoelétricas existentes no Brasil utilizam combustíveis fósseis (petróleo, carvão mineral etc.) e combustível nuclear (urânio enriquecido). (CREDER, 2000, p 01)

A energia mecânica (energia cinética) é necessária nos geradores industriais de eletricidade para fazerem gerar os rotores das turbinas, nos quais são acoplados no mesmo eixo, os rotores dos geradores de eletricidade. A geração necessita de uma turbina (hidráulica ou térmica) e de um gerador síncrono, montado em um mesmo eixo, em geral vertical.

Na Figura 3 é ilustrada a fotografia de uma usina hidrelétrica (Corumbá) que é constituída de uma barragem de concreto, quatro geradores em um total de 375 MW.

Na Figura 4, é mostrado o Diagrama de um Sistema Elétrico – Produtor – Consumidor com suas devidas descrições na tabela 1.



Figura 3- Usina hidrelétrica de Corumbá – FURNAS, 4 geradores num total de 375 MW. Tensão 13,8 kV. (CONTROLLINE, 2008)

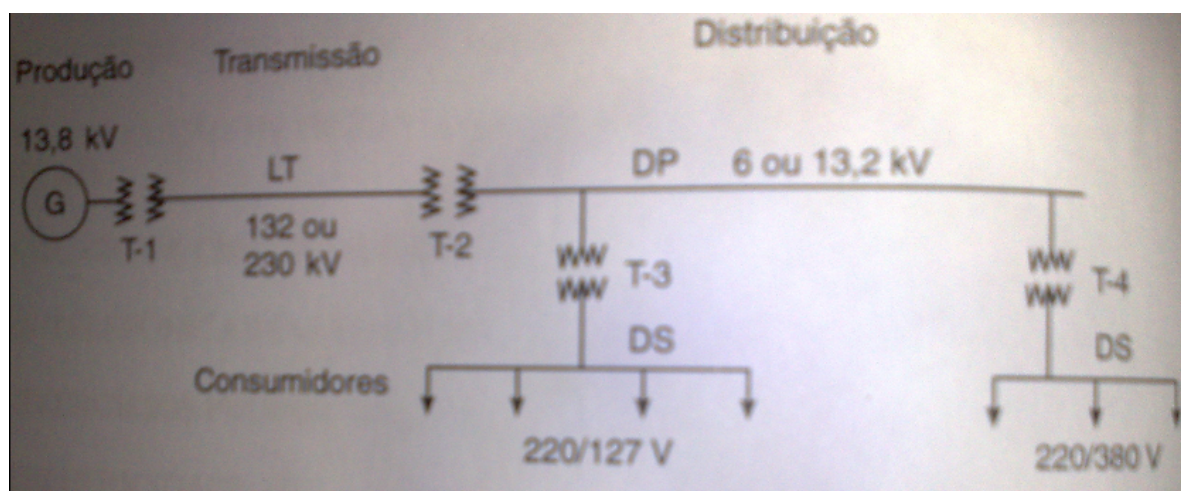


Figura 4- Diagrama de um sistema elétrico – Produtor → Consumidor.
(CREDER, 2000)

Símbolo	Descrição
G	Gerador síncrono de energia (A turbina hidráulica ou a vapor);
T-1	Transformador-elevador (Eleva a tensão a valores muito altos);
LT	Linha de transmissão de energia (Transporta energia até próximo aos centros consumidores);
T-2	Transformador-abaiador (Baixa a tensão recebida pela LT);
DP	Distribuição primária (dentro da zona urbana, distribui a energia também em alta-tensão);
T-3	Transformador de distribuição (Baixa as tensões para valores utilizáveis em instalações residências e comerciais);
T-4	Idem para instalações industriais;
DS	Distribuição secundária.

Tabela 1. Tabela do diagrama de um sistema elétrico

O consumo em kWh por habitante no Brasil figura entre os mais baixos, sendo de 1572 kWh/habitante por ano (Fonte CIA World Fact Book, 1997). (CREDER, 2000, p02)

2.2 TRANSMISSÃO DE ENERGIA

O Transporte de energia elétrica gerada até os centros consumidores é chamado de transmissão, para que seja economicamente viável a tensão gerada nos geradores trifásicos de corrente alternada, normalmente de 13,8 kV deve ser levada a valores padronizados em função da potência a ser transmitidas e das distâncias aos centros consumidores. (GREDER 2000, p. 06)

A transmissão em tensão contínua tem como objetivo principal a diminuição das perdas por efeito corona, que é o resultado da ionização do ar em torno dos condutores, com tensões alternadas muito elevadas.

Na Figura 5 é observada uma torre de linha de transmissão com dois circuitos trifásicos, cada fase com quatro condutores e os condutores de proteção (terra), na parte superior da torre.

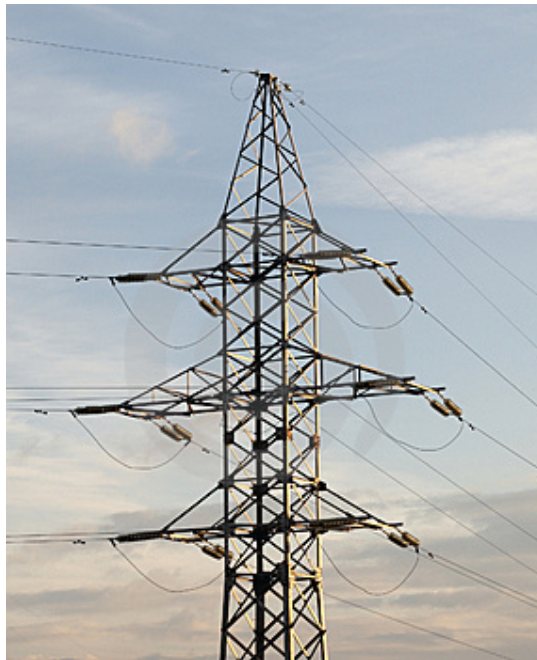


Figura 5- Linha de transmissão de alta tensão. (STOCK, 2008)

2.3 DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA

A distribuição é a parte do sistema elétrico já dentro dos centros de utilização, ou seja, cidades, bairros e indústrias. A distribuição começa na subestação abaixadora, onde a tensão da linha de transmissão é abaixada pelos valores padronizados nas redes de distribuição primária (11kV; 13,2kV; 15kV; 34,5kV etc.). (CREDER, 2000, p. 07)

Na Figura 6 é mostrada a configuração do sistema de distribuição primária de Brasília em 1972, onde da SE geral partem várias linhas de 34,5 kV até as diversas subestações abaixadoras. Estas linhas são, às vezes, denominadas de subtransmissão.

A distribuição primária das subestações parte as redes de distribuição secundária, ou de baixa tensão.

Na Figura 7 é possível observar os diagramas de sistema radial, sistema em anel e sistema radiais seletivos utilizados em redes de distribuição primária.

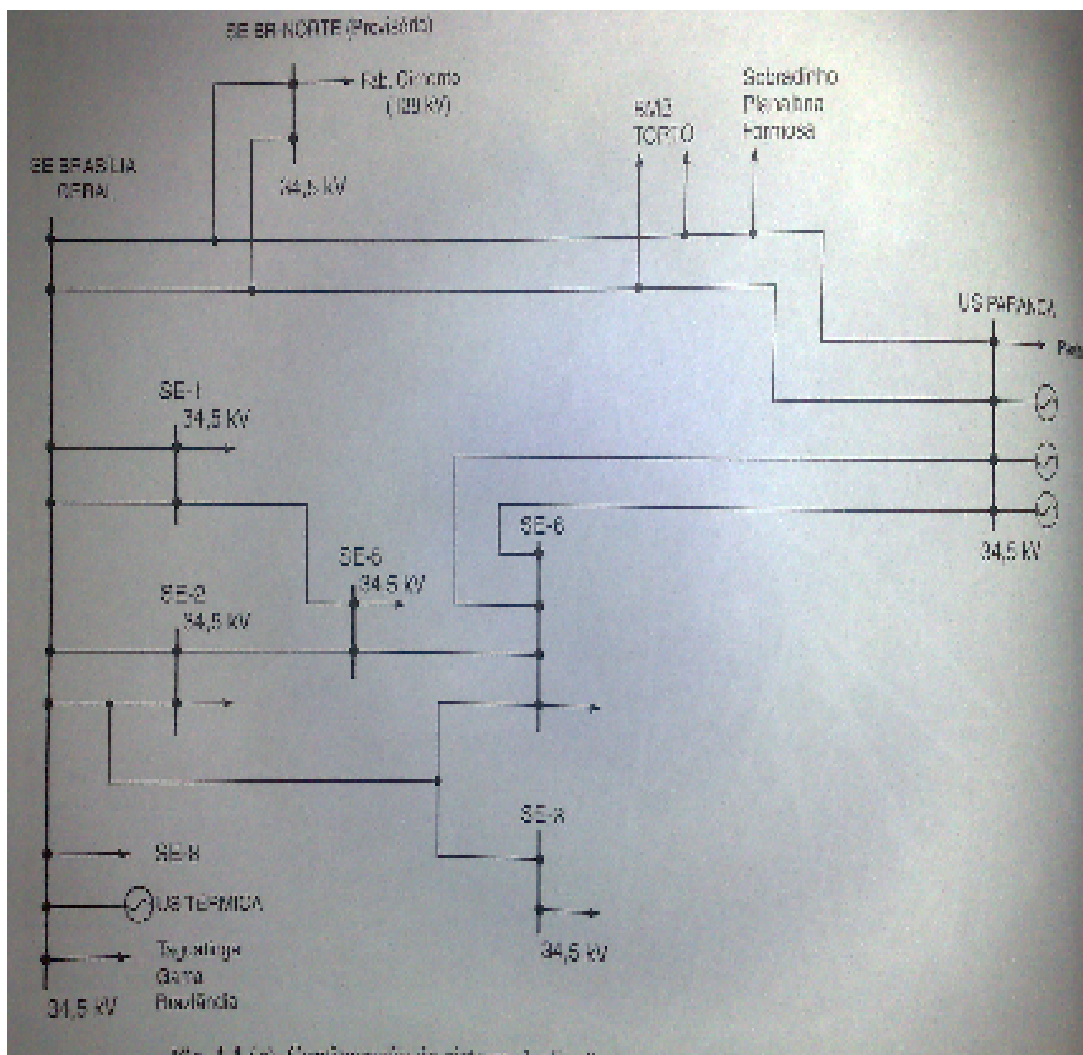


Figura 6- Configuração do sistema de distribuição primária de Brasília (DF) em 1972 (CREDER, 2000)

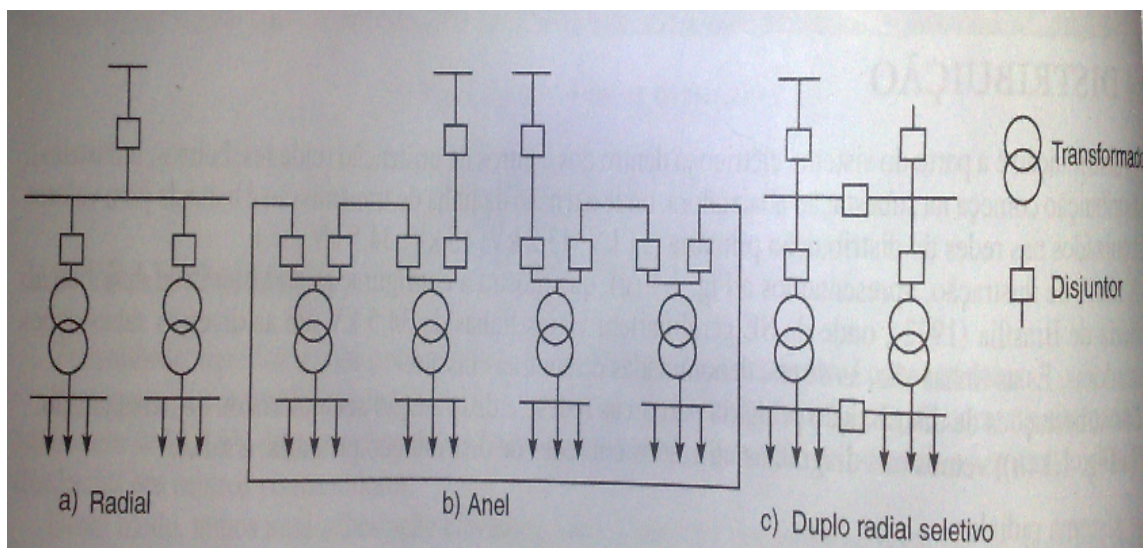


Figura 7- Tipos de sistema de distribuição primária. (CREDER, 2000)

Segundo Creder (2000), a entrada de energia dos consumidores finais é denominada ramal de entrada (aérea ou subterrânea) e as redes de distribuição primária e secundária, normalmente, são trifásicas e as ligações aos consumidores poderão ser monofásicas, bifásicas ou trifásicas de acordo com sua carga (Tab. 2):

Carga	Ligação
Até 4 kW	Monofásica (2 condutores)
Entre 4 e 8 kW	Bifásica (3 condutores)
Maior que 8 kW	Trifásica (3 ou 4 condutores).

Tabela 2. Cargas de distribuição.

O projeto implementado se baseia no consumo proveniente de uma residência com ligação Monofásica.

2.4 MÉTODOS DE MEDIÇÃO DA ENERGIA

Esta sessão apresenta as características dos principais componentes necessários e utilizados para o funcionamento do equipamento desenvolvido.

Apesar dos muitos métodos empregados para medição da potência¹ elétrica, os medidores eletromecânicos ainda são os mais utilizados, devido ao seu fácil manejo, por apresentar uma interface simples de leitura e a sua empregabilidade nos métodos industriais, sem uma necessidade de cuidados superiores àqueles que a maioria dos instrumentos necessita para o funcionamento. (MEDEIROS, 1997, p. 17)

Demonstrando de forma simples a apresentação de consumo da potência, a tarefa de medir, calcular e fornecer o valor a ser pago para quem o consumiu se aplica hoje à concessionária fornecedora da energia, ficando este consumidor dependente da correta leitura do responsável e envio desta para sua pessoa.

O princípio de funcionamento do medidor de energia é o mesmo que o de um motor de indução, ou seja, os campos gerados pelas bobinas de corrente e de potencial induzem correntes em um disco, provocando a sua rotação, além disso, existe um eixo em conexão com uma rosca sem-fim, que provoca a rotação dos registradores, os quais fornecerão a leitura (CREDER, 2000).

As concessionárias fornecedoras de energia retiram mensalmente as leituras registradas em cada medidor das residências, e estas são subtraídas das leituras do mês anterior para se ter o consumo real do mês.

Os quatro mostradores da figura abaixo, indicam as diferentes grandezas de leitura, ou seja, unidades, dezenas centenas e milhares.

Na Figura 8, é visualizado um relógio medidor de energia, utilizado pelos usuários e pelas companhias de eletricidade para leitura dos registradores de cada medidor.

¹ “Em física, potência é a grandeza que determina a quantidade de energia concedida por uma fonte a cada unidade de tempo. Em outros termos, potência é a rapidez com a qual uma certa quantidade de energia é transformada.” (POTENCIA, WIKIPEDIA A ENCICLOPÉDIA ONLINE. Disponível em <<http://pt.wikipedia.org/wiki/Pot%C3%Aancia>>. Acesso em 18/10/2007.



Figura 8- Relógio medidor de energia (CLIC ENERGIA, 2008)

2.4.1 *Medidor por Indução*

A finalidade da medição de energia elétrica é mensurada para que a concessionária possa cobrar de cada usuário consumidor de energia o valor exato pelo seu consumo. Para tal, o medidor utilizado hoje, devido à sua simplicidade, robustez e precisão durante longos anos é o do tipo indução.

O medidor necessita apresentar uma correta avaliação de consumo em cada um dos locais onde estes são instalados pela concessionária, tendo visto que sua medição gera a base econômica da fornecedora de energia, sendo a energia elétrica entendida como a mercadoria que estas vendem. (MEDEIROS, 1997, p. 167).

O medidor utilizado pela Companhia Energética de Brasília - CEB; é o modelo fabricado pela Actaris Metering Systems, uma empresa líder no mercado de tecnologia. Esse

2.5 TRANSFORMADOR DE CORRENTE

George Westinghouse e sua companhia desenvolveram o transformador, que permitia a transformação eficiente de tensões em corrente alternada para altos valores.

O transformador é um dispositivo capaz de transferir a energia elétrica proveniente de uma fonte de corrente alternada para um ou mais circuitos elétricos com tensão superior ou inferior à inicial. Sua aplicação se estende as múltiplas finalidades. Entre elas, se menciona a redução da tensão de linhas domésticas para uso em aparelhos domésticos e eletrodomésticos, a elevação da tensão de geradores elétricos para transmissão da eletricidade a longas distâncias, a fim de facilitar seu transporte e diminuir as perdas, e a posterior transformação dessa eletricidade para voltagens inferiores para utilização prática.

Na Figura 10, pode-se visualizar a simbologia de dois Transformadores de Corrente.

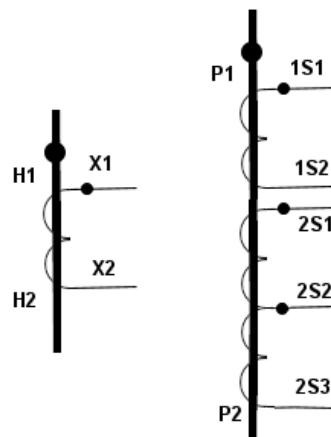


Figura 10- Simbologia de dois Transformadores de Corrente (WIKIPEDIA, 2008)

O transformador é utilizado para transformar a amplitude das tensões e correntes senoidais. A tensão da energia que chega em nossa casa é distribuída no valor da ordem de 15 mil volts. Essa alta tensão só é abaixada próximo de nossa casa. No transformador há dois enrolamentos de fios em torno de um núcleo de ferro e são chamados de: primário e secundário. Seu funcionamento é regido pela lei de Faraday, que relaciona as tensões no

primário e secundário com o fluxo resultante no ferro e com o número de voltas de cada enrolamento (Quevedo, 2000, p.20).

O condutor secundário é associado ao condutor primário para que a corrente possa ser induzida no secundário como consequência da passagem da corrente através do primário. O condutor secundário é normalmente situado próximo à parte de franqueamento dos braços do condutor primário. O primário e secundário são eletricamente isolados um do outro por isolamento fornecido entre eles. Os transformadores de corrente de inversão são caracterizados por terem a terminação de cada braço do condutor primário sustentada por um respectivo isolador oco através do qual passa o primário. Ou seja, o que é primário é a entrada do transformador, enquanto que o secundário é sua saída. Ao aplicarmos uma tensão alternada no primário do transformador, teremos uma tensão em seu secundário (Torres, 2002, p.57).

Na Figura 11 é mostrado o transformador de corrente com seus condutores primário e secundário.

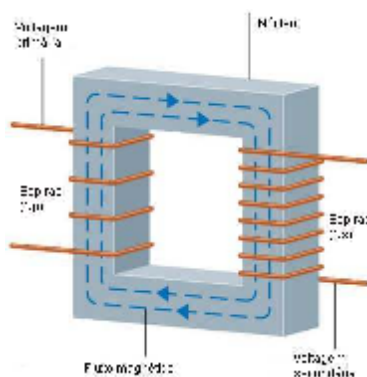


Figura 11- Representação dos condutores primário e secundário no TC. (SALA DE FÍSICA, 2008)

As tensões no primário e no secundário, assim como entre as correntes nesses enrolamentos, podem ser obtidas: se o primário tem N_p espiras e o secundário N_s , a voltagem no primário (V_p) está relacionada à voltagem no secundário (V_s) por $V_p/V_s = N_p/N_s$, e as correntes por $I_p/I_s = N_s/N_p$. Assim um transformador ideal (não dissipa energia) com 100

espiras no primário e 50 no secundário, percorrido por uma corrente de 1A, sob 110V, fornecendo no secundário, uma corrente de 2A sob 55V.

A rede elétrica fornece um valor fixo de tensão eficaz. O aumento ou a redução desse valor, para adequá-lo às necessidades do consumidor, é feito por intermédio do transformador.

O transformador de corrente (Fig. 12) ou simplesmente TC é um dispositivo que reproduz no seu circuito secundário, a corrente que circula em um enrolamento primário com sua posição vetorial substancialmente mantida, em uma proporção definida, conhecida e adequada. Os transformadores de corrente, também são utilizados em aplicações de alta tensão, fornecem correntes suficientes reduzidas e isoladas do circuito primário de forma a possibilitar o seu uso por equipamentos de medição, controle e proteção.



Figura 12- Transformador de corrente 50/5. (SIEMENS, 2008)

2.5.1 Corrente elétrica

Corrente elétrica, é o deslocamento ordenado de cargas dentro de um condutor, quando existe uma diferença de potencial elétrico entre as suas extremidades. Tal

deslocamento procura restabelecer o equilíbrio desfeito pela ação de um campo elétrico ou outros meios (reação química, atrito, luz etc.). (CREDER 2000, p. 17)

Pode se dizer que a corrente elétrica é fluxo de cargas que atravessa a seção reta de um condutor, na unidade de tempo.

Denomina-se o fluxo constante de ampère a relação:

$$1 \text{ ampère} = 1 \frac{\text{Coulomb}}{\text{segundo}} \quad (1)$$

ou, generalizando:

$$i = \frac{dq}{dt} \quad (2)$$

O gerador elétrico funciona como se fosse uma bomba, criando energia potencial. Essa energia acumula cargas em um pólo, ficando assim com excesso de cargas de certa polaridade e no outro pólo a deficiência de cargas.

Na Figura 13, é representado um esquema de circuito elétrico completo.

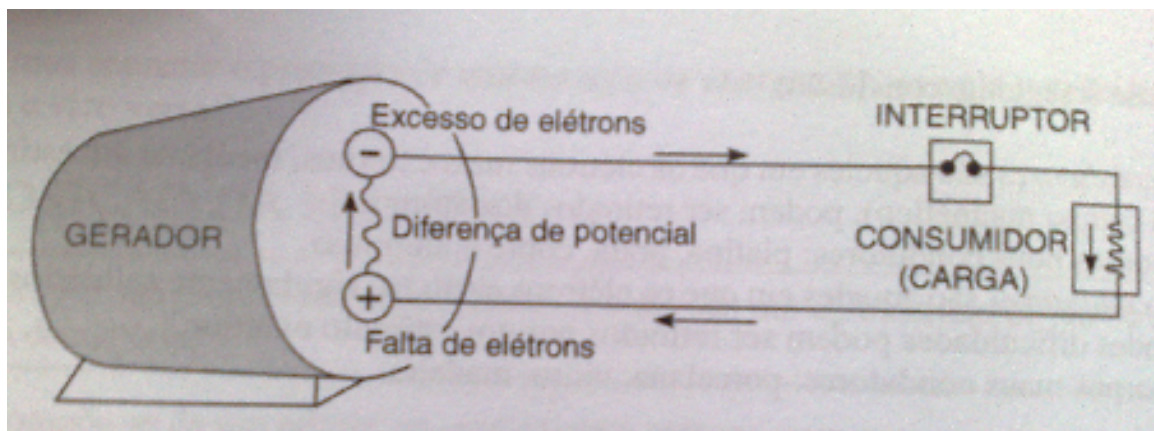


Figura 13- Esquema de um circuito elétrico completo. (CREDER, 2000)

2.6 POTÊNCIA DE ENERGIA ELÉTRICA

2.6.1 Potência

Potencia é a energia aplicada por segundo em qualquer atividade.

Em eletricidade, a potencia é o produto da tensão pela corrente.

Onde:

$$\epsilon = \frac{dE}{dq} \text{ ou } dE = \epsilon dq \quad (3)$$

sendo:

- ϵ = Força eletromotriz em volts.
- dE = Variação de energia.
- dq = Variação da carga.

Em relação ao tempo, dt , tem-se:

$$\frac{dE}{dt} = \epsilon \frac{dq}{dt} \quad (4)$$

$$\text{ou } P = \epsilon i \quad \text{para fins práticos, } P = UI \quad (5)$$

$$\text{ou seja, } P = \frac{\text{Joule}}{\text{Coulumb}} \times \frac{\text{Coulumb}}{\text{segundo}} = \frac{\text{Joule}}{\text{segundo}} = \text{watt} \quad (6)$$

P é medido em watts, então:

$$\text{watt} = \text{volts} \times \text{ampère} \quad (7)$$

Como a unidade watt é, muitas vezes, pequena para exprimir os valores de um circuito, usamos o quiiilowatt (kW) ou o megawatt (MW).

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ watts} \quad \text{e} \quad 1 \text{ MW} = 10^6 \text{ watts}$$

Como $U = RI$, substituindo temos:

$$P = RI^2 \quad (8)$$

Ou seja, a potência é o produto da resistência pelo quadrado da corrente.

2.6.2 Medidores de Potência

Os medidores de potência elétrica são conhecidos como wattímetros, pois a potencia é expressa em watts por meio das formulas conhecidas:

$$P = UI - \text{Corrente contínua;}$$

$$P = UI \cos \theta - \text{Corrente alternado monofásica;}$$

$$P = \sqrt{3}UI \cos \theta - \text{Corrente alternada trifásica, onde as letras representam:}$$

$$U = \text{Tensão em volts;}$$

$$I = \text{Corrente em ampères;}$$

$$\cos \theta = \text{Fator de potência;}$$

$$P = \text{Potência em watts.}$$

São necessárias duas bobinas, uma de corrente e outra de potência para medir um instrumento de potência de um circuito elétrico.

2.6.3 Transdutor de Potência

Transdutor é um sistema que transforma duas formas de energia para fins de medida. Ele mede uma forma de energia que está relacionada à outra através de uma relação conhecida. Assim, por exemplo, mede-se pressão utilizando um transdutor que transforma a força exercida pela pressão em uma tensão elétrica proporcional à pressão . O transdutor é um sistema completo que produz um sinal elétrico de saída proporcional à grandeza sendo medida. (WERNERCK, 1996, p. 01)

O Transdutor de Potência, empregado neste protótipo, tem por finalidade o cálculo da potência ativa consumida, tendo como saída um sinal elétrico variando de 0 à 5 Vcc proporcional ao consumo.

Sendo sinal elétrico a representação elétrica de uma variável física que foi medida ou monitorada por um transdutor. Variando o sinal de acordo com a variável física, numa razão conhecida como sensibilidade ou função de transferência do transdutor. A representação dos sinais elétricos se dá por meio de uma tensão elétrica.

O princípio de funcionamento do Transdutor de Potência utilizado no projeto se dá através de transformadores auxiliares, as tensões e correntes de entrada em corrente alternada, onde são convertidas em sinais adequados. Sendo enviados a um circuito multiplicador que opera pelo princípio TDM (*Time Division Multiplication*), realizando a multiplicação dos sinais de tensão e corrente instantaneamente. O sinal resultante desta multiplicação é amplificado e convertido em um sinal de saída independente da carga, com sua saída em tensão contínua. Os circuitos multiplicador e amplificador são alimentados através de fonte de tensão auxiliar, isolada galvanicamente através de transformador adequado ao circuito.

Na Figura 15 é mostrado o modelo do Transdutor de Potência utilizado no projeto.



Figura 15- Transdutor de Potência (WARD, 2008)

Para calcular a potência de qualquer circuito, usa-se a fórmula de potência diretamente ou suas derivações. No caso de circuitos de corrente alternada, os valores entrados na fórmula deverão ser os valores eficazes (RMS), que é o valor equivalente da grandeza (tensão ou corrente) caso ela fosse contínua ou não alterada. O valor eficaz mede o verdadeiro poder de qualquer sistema elétrico.

Os transdutores analógicos de potência têm por finalidade converter a potência ativa e/ou reativa de um sistema em um sinal contínuo (de tensão ou corrente) e isolado galvanicamente das entradas.

2.7 MULTÍMETRO

O multímetro (Fig. 16) é um instrumento de medida múltiplo, capaz de medir pelo menos, corrente, tensão e resistência. Os multímetros podem ser analógicos e digitais. Neste projeto, foi utilizado o multímetro digital. Os multímetros digitais normalmente possuem uma escala extra para o teste de diodos e transistores e a escala em separado é necessária, porque a tensão aplicada nas pontas de prova na escala de resistência são mais baixas do que 0,6 V. Assim, na escala de teste de diodo é aplicada uma tensão acima de 0,6 V nas pontas de prova, permitindo o teste de componentes semicondutores como diodos e transistores. É importante ressaltar que a escala de tensão alternada dos multímetros mede somente tensões com padrão da rede elétrica, isto é, do tipo senoidal e com frequência de 50 ou 60 Hz. Se tentar medir uma forma de onda triangular ou quadrada com um multímetro, ele apresentará um falso resultado (TORRES, 2002).



Figura 16- Multímetro Digital e alicate amperímetro

Um multímetro digital oferece a facilidade de mostrar diretamente em seu visor, que chamamos de *display* de cristal líquido, ou simplesmente *display*, o valor numérico da grandeza medida, sem ter que ficar fazendo multiplicações (como ocorre com multímetros analógicos).

Um multímetro digital pode ser utilizado para diversos tipos de medidas, sendo as três mais comuns:

- tensão elétrica (medida em volts – V).
- corrente elétrica (medida em ampères – A).
- resistência elétrica (medida em Ohms – Ω).

Além destas, pode-se ter escalas para outras medidas específicas como: temperatura, frequência, semicondutores (escala indicada pelo símbolo de um diodo), capacitância, ganho de transistores, continuidade (através de um apito), etc.

O multímetro foi utilizado no projeto com a finalidade de validação e análise dos dados e também para comprovação durante os testes de funcionamento do circuito responsável pelo tratamento e disponibilização dos dados.

2.7.1 *Fontes senoidais*

As funções de forçamento senoidais são particularmente importantes, uma vez que as fontes de potência e os sinais de comunicação são usualmente transmitidos como senóides ou senóides modificadas. A função de forçamento causa a resposta forçada, e a resposta natural é causada pela dinâmica interna do circuito. A resposta natural irá normalmente decair após algum período de tempo, mas a resposta em regime permanente de um circuito para uma função de forçamento senoidal permanecerá inalterada (Dorf & Svoboda, 2001, p.405).

Considerando este circuito sendo alimentado por fontes senoidais, todas com uma frequência constante e que não sofra variações das amplitudes, pode se dizer que o circuito está em regime contínuo de funcionamento. Este estado de funcionamento do circuito é também denominado de regime permanente ou resposta forçada.

3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Neste capítulo, são explicados e apresentados os passos executados para implementação do projeto, com a construção do circuito relativo ao seu desenvolvimento, mostrando os equipamentos e dispositivos utilizados.

Para o desenvolvimento do Protótipo foi necessária a implementação de diversos dispositivos que serão apresentados abaixo com suas descrições e função.

Na figura 17 é mostrado o protótipo criado, com todos os seus componentes interligados e seu funcionamento.

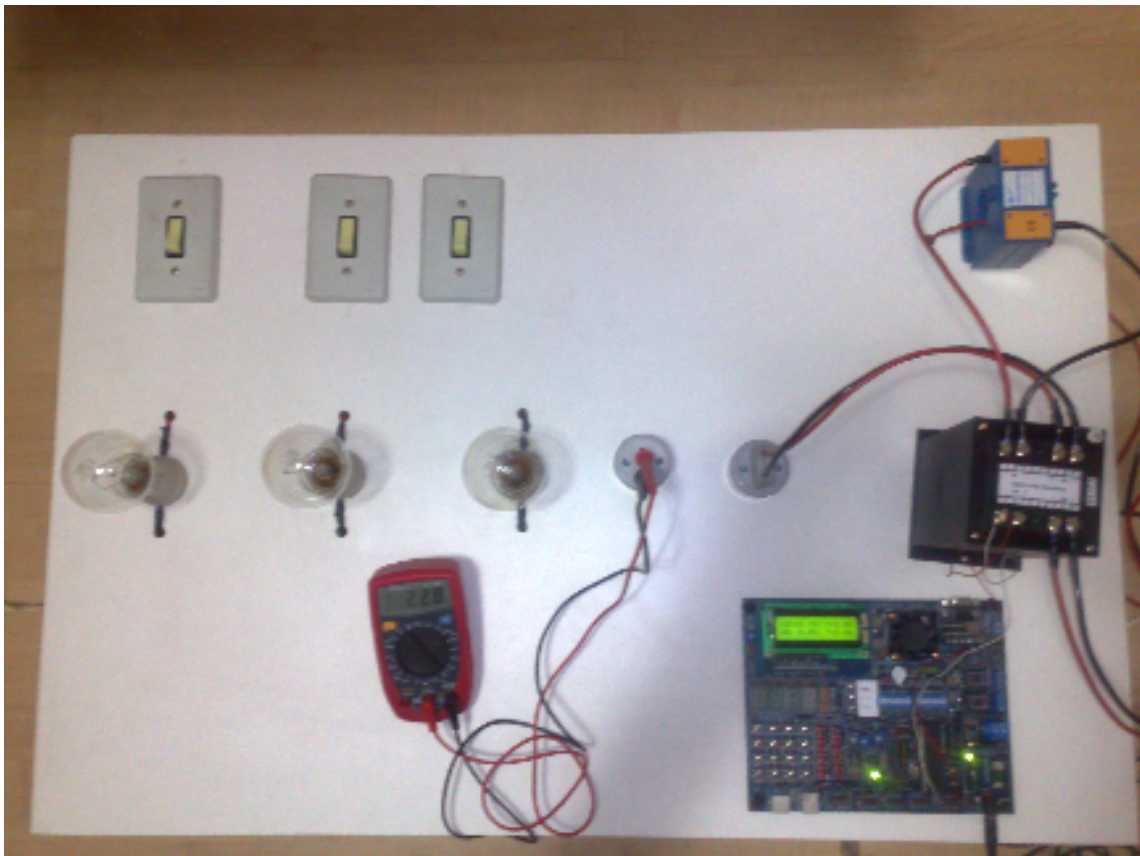


Figura 17- Protótipo com todos os seus componentes

O digrama elétrico completo pode ser visualizado no apêndice B.

3.1 SIMULAÇÃO DA RESIDÊNCIA

Os materiais utilizados para representar a simulação da utilização de energia elétrica em uma residência, foram três bocais com lâmpadas de 150 watts cada, um transformador de corrente. Tendo como foco o setor residencial, onde se constata que os maiores consumos referem-se a refrigeração, iluminação e aquecimento de água.

Na Figura 18, é mostrado um gráfico e uma tabela que mostra o perfil do consumo de energia elétrica da CEMIG.

Na figura 19, é mostrado o arranjo do protótipo e seus componentes.

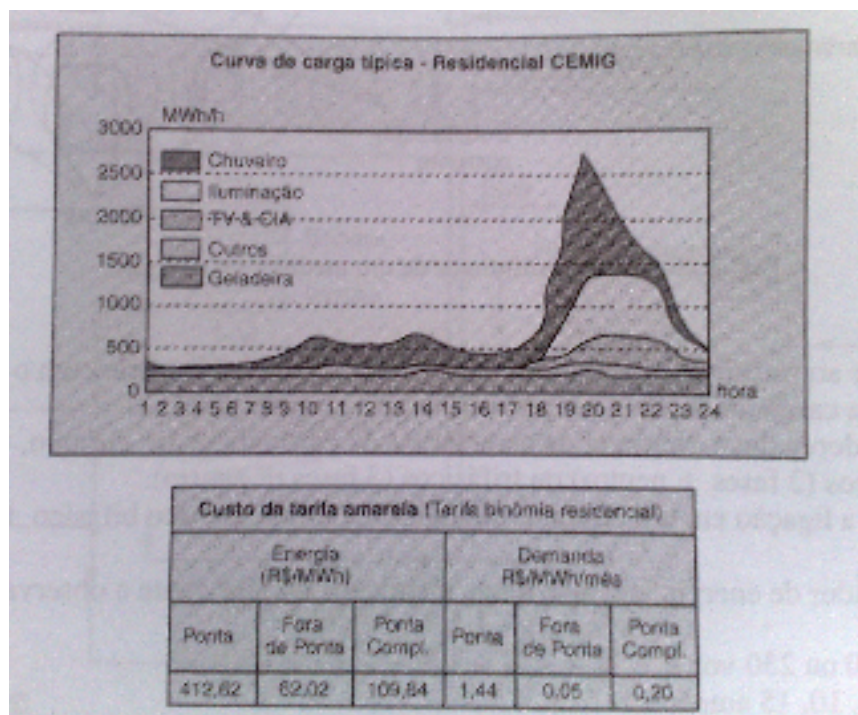


Figura 18- Perfil do consumo de energia elétrica da CEMIG. (CREDER, 2000)

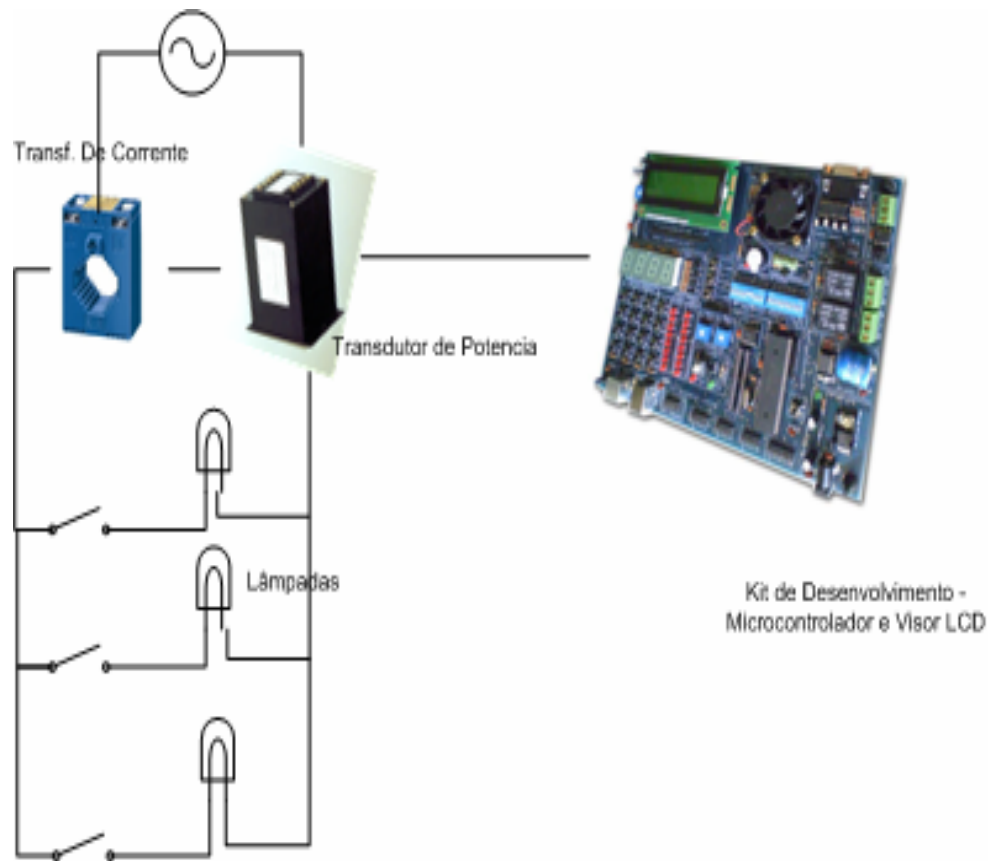


Figura 19- Arranjo do protótipo e seus componentes.

3.2 HARDWARE

3.2.1 *Kit de Desenvolvimento Microgenios*

Foi utilizado o *Kit de Desenvolvimento PICGenios*, que tem por objetivo desenvolver projetos microcontrolados baseados na família PIC18F.

O *kit* é composto por: 16 leds, ligados aos PORT do PIC, dois relés, controle PWM com ventoinha, aquecedor e sensor de temperatura, canal USB 2.0, entrada PS/2, alarme sonoro, dentre muitas outras funcionalidades.

Fica restrito ao projeto os itens demarcados em vermelho no Layout do Kit de desenvolvimento (fig. 20) utilizado no projeto e explicados na tabela 3.

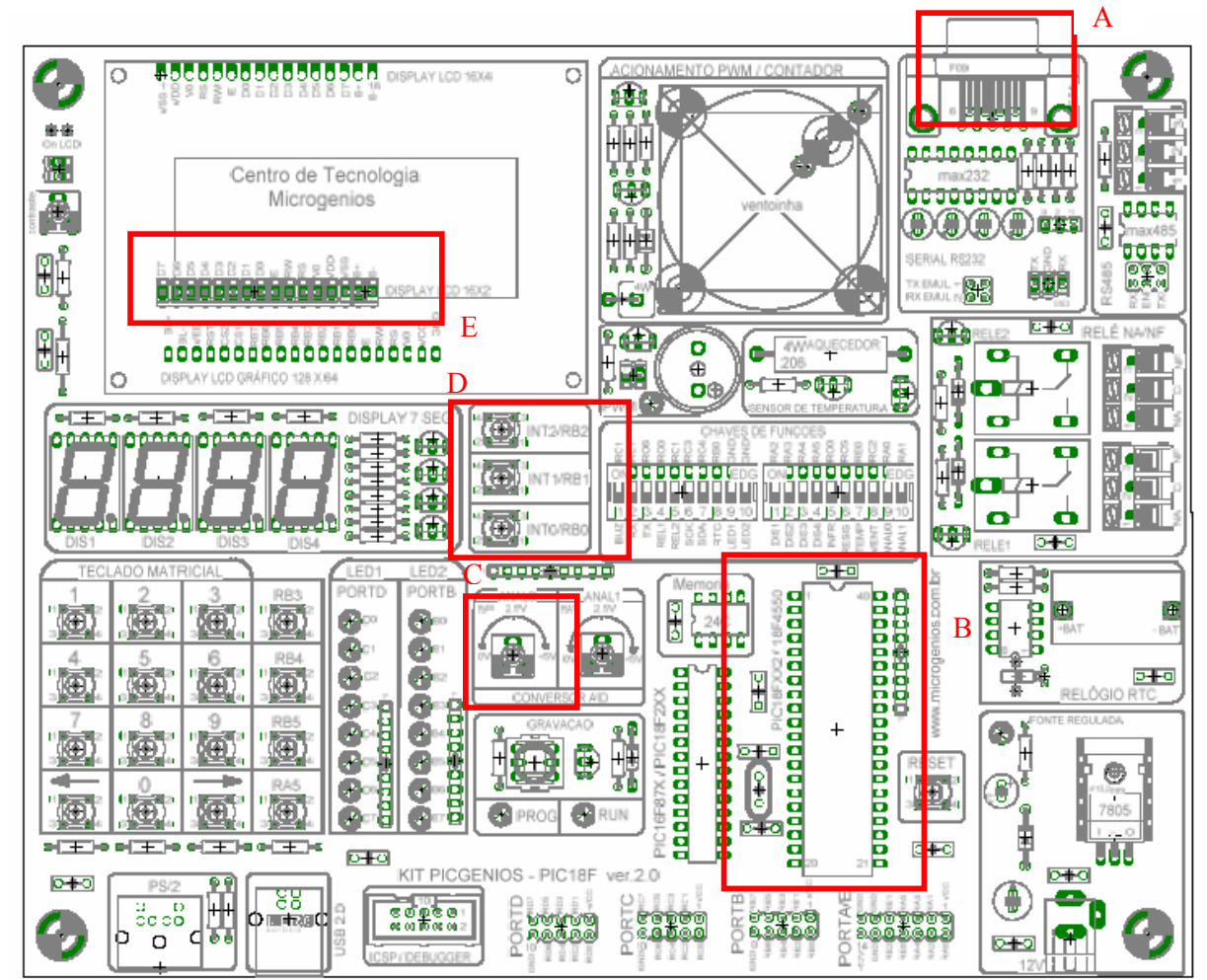


Figura 20- Layout do kit de desenvolvimento utilizado. (MICROGENIOS, 2008)

Dispositivo	Descrição
A	Porta Serial de comunicação com o PC
B	Microcontrolador PIC 18F452 com clock externo.
C	Canal de conversão A/D
D	Teclas de Interrupção externa
E	Saída para visor LCD 16X2

Tabela 3. Tabela explicativa dos itens utilizados.

3.2.2 Porta Serial

Apesar da evolução em termos de comunicação, como o advento do padrão USB – *Universal Serial Bus*, e Serial ATA etc., a comunicação serial com o microcontrolador ainda é muito utilizada e uma grande vantagem é a utilização do USART interno. USART ou *Universal Synchronous Receiver Transmitter* é um padrão universal para comunicação em dois diferentes modos de trabalho: o sincronizado e o não-sincronizado.

A comunicação no modo assíncrono é realizada por meio de duas vias de tráfego de dados, sendo uma de transmissão (TX) e outra de recepção (RX). A transmissão e recepção podem ocorrer simultaneamente, recurso conhecido como *Full Duplex*. (PEREIRA, 2003, p.263).

Na tabela 4 foram representados os parâmetros de comunicação serial em linguagem C.

Opção	Descrição
BAUD = valor	Especifica a velocidade de comunicação serial.
XMIT = pino	Especifica o pino de transmissão de dados.
RCV = pino	Especifica o pino de recepção de dados
RESTART_WDT	Determina que a função GETC() re-configure o <i>watchdog</i> enquanto aguarda a chegada de um caractere.
INVERT	Inverte a polaridade dos pinos de TX/RX. Não pode ser utilizada com hardware interno.
PARITY = x	Seleciona a paridade. (x pode ser: N (Sem paridade), E (paridade par) ou O (paridade ímpar).
BITS = x	Seleciona o número de bits de dados (5 a 9 para o modo por software)

	e 8 a 9 para o modo por hardware).
FLOAT_HIGH	A saída não vai em nível lógico 1. Utilizado com saídas coletor aberto.
ERRORS	Solicita ao compilador que armazene os erros de recepção na variável RS232_ERRORS, re-configurando os <i>flags</i> de erro quando eles ocorrerem.
BRGH10K	Permite a utilização das velocidades disponíveis com o bit BRGH em 1 <i>chips</i> que tenham <i>bugs</i> nesta configuração do hardware.
ENABLE = pino	Especifica um pino para atuar como saída de habilitação durante uma transmissão. Utilizado no protocolo RS485.
STREAM = identificador	Associa a interface RS232 a um identificador de <i>stream</i> de dados. Os <i>streams</i> de dados são utilizados em algumas funções internas do compilador

Tabela 4. Parâmetros de comunicação serial em linguagem C

3.2.3 Microcontrolador PIC18F452

O microcontrolador, também chamado de microcomputador de um só chip, apresenta um processador, pinos de entrada/saída e memória. Através da programação dos microcontroladores pode controlar suas saídas, tendo como referência as entradas ou um programa interno. O microcontrolador possui diversas funções e aplicabilidades devido a melhoria na produção e ao baixo custo, por isso são usados em diversos sistemas.

Segundo Souza (2003), os microcontroladores são circuitos, onde todos os componentes necessários à execução de seus processos são interligados no mesmo chip, podendo assim serem empregados em diversas aplicações eletrônicas.

O que diferencia os microprocessadores é a quantidade de memória interna, a velocidade de processamento, a quantidade de pinos de I/O, a forma de alimentação, os tipos

e as quantidades de periféricos, a arquitetura e o conjunto de instruções disponibilizado nos circuitos internos (Silva Júnior, 1998, p. 15).

O PIC é um circuito integrado produzido pela Microchip Technology Inc., que pertence à categoria dos microcontroladores, ou seja, um componente integrado que em um único dispositivo contém todos os circuitos necessários para realizar um circuito integrado, TTL ou CMOS normal, mas internamente dispõe de todos os dispositivos típicos de um sistema microprocessador, ou seja: uma CPU (Central Processor Unit ou Unidade de Processamento Central) e sua finalidade é interpretar as instruções de programa; uma memória PROM (*Programmable Read Only Memory* ou Memória Programável Somente para Leitura) na qual irá memorizar de maneira permanente as instruções do programa, uma memória RAM (*Random Access Memory* ou Memória de Acesso Aleatório) utilizada para memorizar as variáveis utilizadas pelo programa; uma série de LINHAS de I/O (entrada e saída) para controlar dispositivos externos ou receber pulsos de sensores, chaves e uma série de dispositivos auxiliares ao funcionamento, ou seja, gerador de clock, contador, bus, etc. A presença de todos estes dispositivos em um espaço pequeno, fornece uma vantagem em relação a usar um sistema microprocessador, onde seria pouco provável fazer em um circuito tradicional.

O PIC está disponível em uma ampla gama de modelos para melhor adaptar-se as exigências de projetos específicos, diferenciando-se pelo número de linha de I/O e pelo conteúdo do dispositivo.

O PIC pode ser programado para controlar um dispositivo eletromecânico, realizar medições, exibir informações em um display, ou piscar luzes. O PIC é facilmente encontrado e seu custo é baixo.

O modelo utilizado no projeto foi o PIC 18F452, que é um modelo de microcontrolador PIC da família de 16 bits de núcleo de processamento, apesar de ainda lidar

com dados de 8 bits. A vantagem é que esses PIC possuem mais instruções em código de máquina que é otimizada para ser usada com compiladores de linguagem C e memória linear. A sua velocidade de processamento também é maior, na maioria até 10 MIPS (a 40 MHz de clock) com alimentação entre 2 e 5,5V. O seu encapsulamento DIP (Dual In Line Package) consiste em 40 pinos. Esse modelo possui 32 Kbytes (16k instruções) de memória de programa flash, 1536 bytes de memória RAM e 256 bytes de memória eeprom (Electrically-Erasable Programmable Read-Only Memory). Os principais periféricos internos são:

- 8 canais para conversão A/D a 10 bits;
- AUSART (addressable universal synchronous asynchronous receiver transmitter) com suporte para RS485;
- MSSP (master synchronous serial port) para SPI e I2C;
- PSP (parallel slave port);
- times (3 de 16 bits e 1 de 8 bits);
- 2 módulos CCP (capture compare PWM).

O PIC 18f452 (Fig. 21) é o modelo de uso geral da família 18F de microcontroladores PIC.

Esse tipo de microcontrolador é vantajoso porque apresenta pequeno tamanho físico, facilidade de programação e de manuseio, baixo consumo, além da flexibilidade (Silva Júnior, 1998, p. 13).

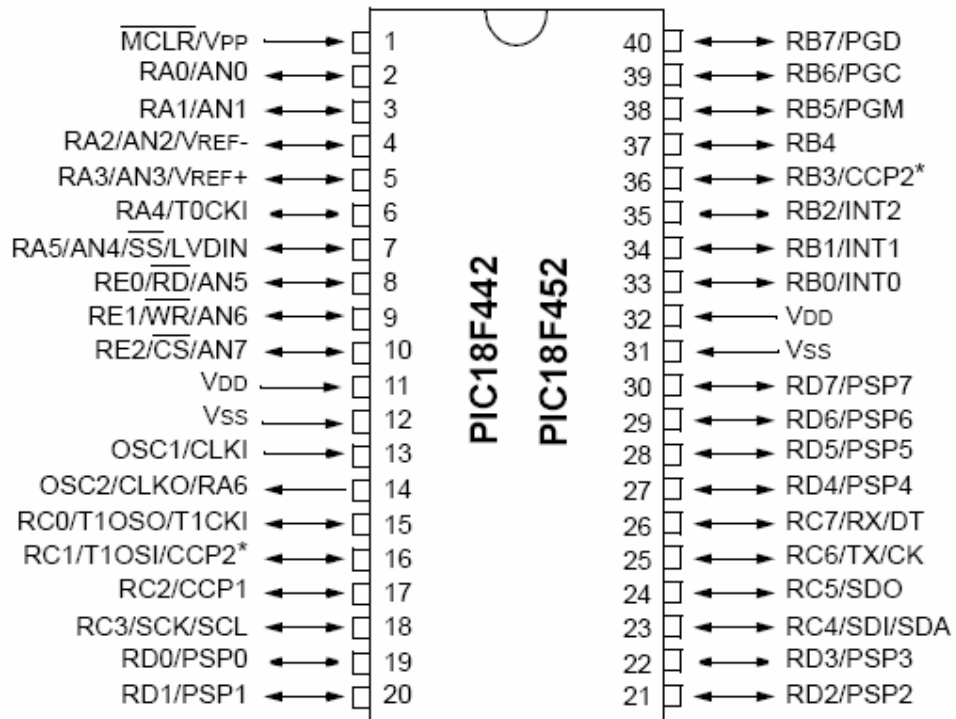


Figura 21- Chip PIC 18F452 (MICROCHIP, 2002),

Quanto aos periféricos contemplados por este microcontrolador, os que são importantes para a efetivação do projeto são: conversor A/D, pinos de I/O, uso de clock externo e o uso comunicação serial.

3.2.4 Conversor A/D

Para ser tratado digitalmente o sinal de tensão elétrica exige sua transformação, ou seja sua conversão em sinal digital. A conversão A/D é efetuada internamente no microcontrolador.

O conversor A/D tem uma limitação (em bits) quanto à resolução do seu conversor A/D de 10 bits a resolução é: (SOUZA e LAVÍNIA, 2005, p. 115):

$$resolução = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad (10)$$

Em que V_{ref} é a tensão referência e n o número de bits do Conversor A/D.

Uma parcela do valor da tensão analógica a ser convertida é simbolizada por cada um dos n bits que formam o dado digital, de tal forma que a soma de todas as contribuições de cada um dos n bits forma a tensão de entrada do conversor A/D. Portanto, a parcela de tensão proporcional ao bit m do conversor A/D é dada por (SOUZA e LAVÍNIA, 2005, p. 115):

$$V_{entrada} = \frac{b_m \times 2^{(m-1)}}{2^n} \times V_{ref} \quad (11)$$

Onde b_m é o valor do bit m , ou seja, zero ou um.

É importante salientar os recursos que se deseja. No caso do PIC 18F452, as características do conversor A/D são:

- Conversor de 10 bits;
- Até oito canais de conversão;
- Quatro tipos de referência: V_{dd} (interna), V_{ss} (interna), V_{ref+} (externa), V_{ref-} (externa);
- Frequência de conversão baseada no clock da máquina ou em Resistor-
- Três ajustes de frequência (divisores) para uso do clock de máquina;

pelo consumidor de forma instantânea, permitindo uma melhor interação do usuário com seus gastos.

Na figura 23 é representado a ligação do display ao microcontrolador do *kit* de desenvolvimento.

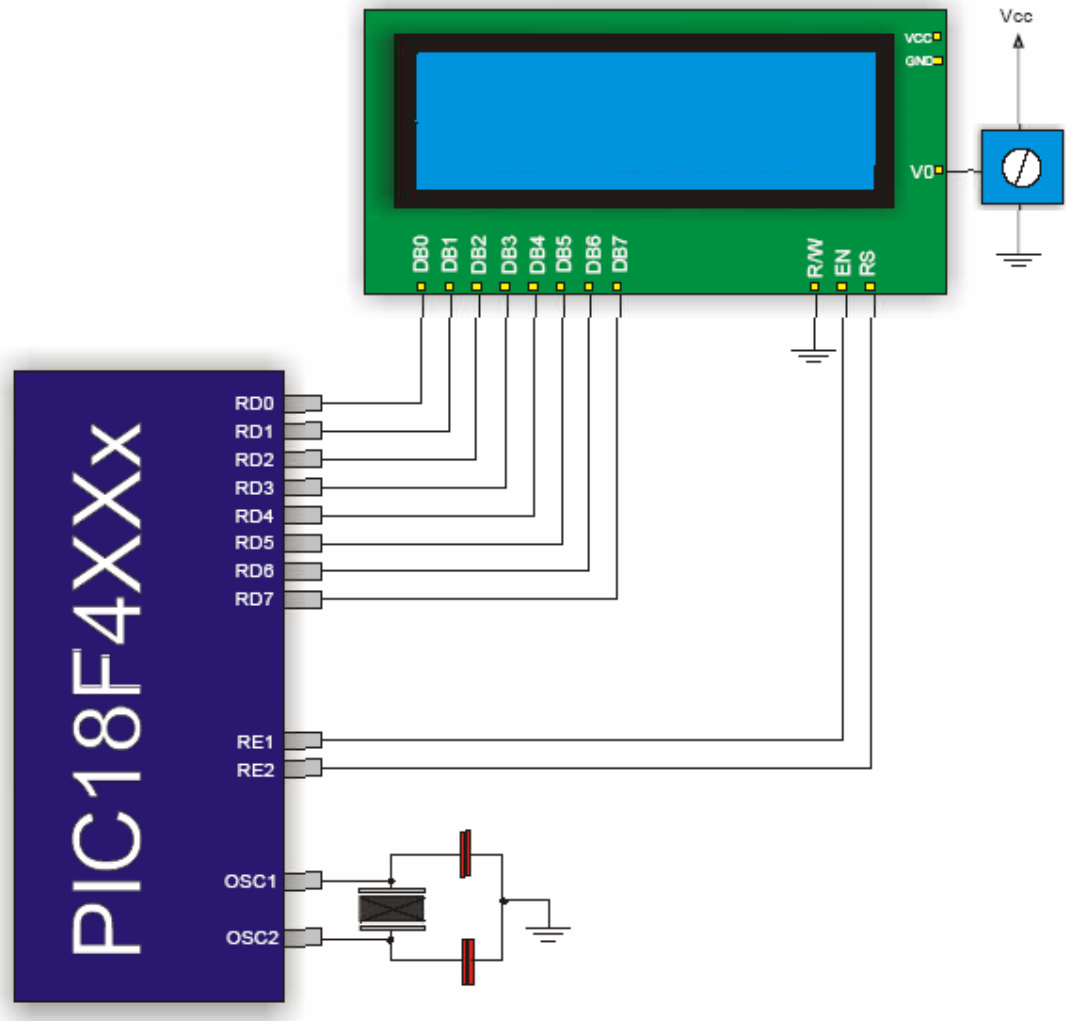


Figura 23- Ligação LCD – microcontrolador. (MICROGENIOS, 2008)

Além dos dados essenciais ao protótipo como o consumo instantâneo e o seu valor a ser pago em moeda corrente, foram adicionados à saída do visor mais dois valores, sendo estes para fins meramente didáticos e comprobatórios de funcionamento do circuito, são eles: o valor da Potência consumida no circuito e o valor da voltagem que chega ao canal A/D,

ambos demonstrados também de forma instantânea. Na figura 24 é possível a visualização destes e explicadas na tabela 5.

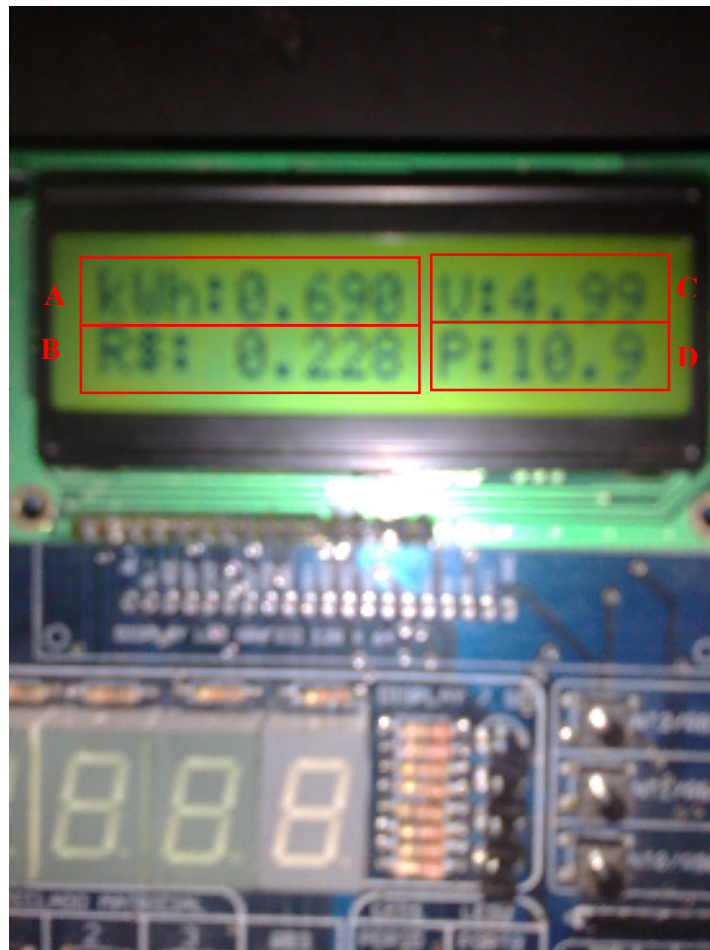


Figura 24- Display com os valores a serem disponibilizados.

Valores	Descrição
A	Energia consumida/acumulada em quilowattthora (kWh)
B	Valor a ser pago pela energia consumida em Reais (R\$).
C	Tensão medida no pino A/D e disponibilizada em volts (V).
D	Potência consumida pelo circuito, medida em quilowatt (kW).

Tabela 5. Tabela explicativa sobre os valores do display.

O código fonte criado para uso do *display* está presente no Apêndice.

3.2.6 Teclas de Interrupção externa

As teclas de interrupção externa foram utilizadas no projeto com o intuito de inserir o valor do quilowattthora cobrado pela concessionária fornecedora de energia. Este valor é disponibilizado ao usuário na conta de energia elétrica.

As teclas de interrupção externa permitem o acionamento das funções do programa, e inserção dos valores. Estas foram configuradas no código para que o pino RB0 faça a incrementação dos valores, o pino RB1 decrementará seu valor e o pino RB2 será o responsável pela confirmação do valor selecionado.

Na figura 25 é mostrado o esquema de ligação dos botões com o microcontrolador, formando assim, o conjunto de teclas descrito.

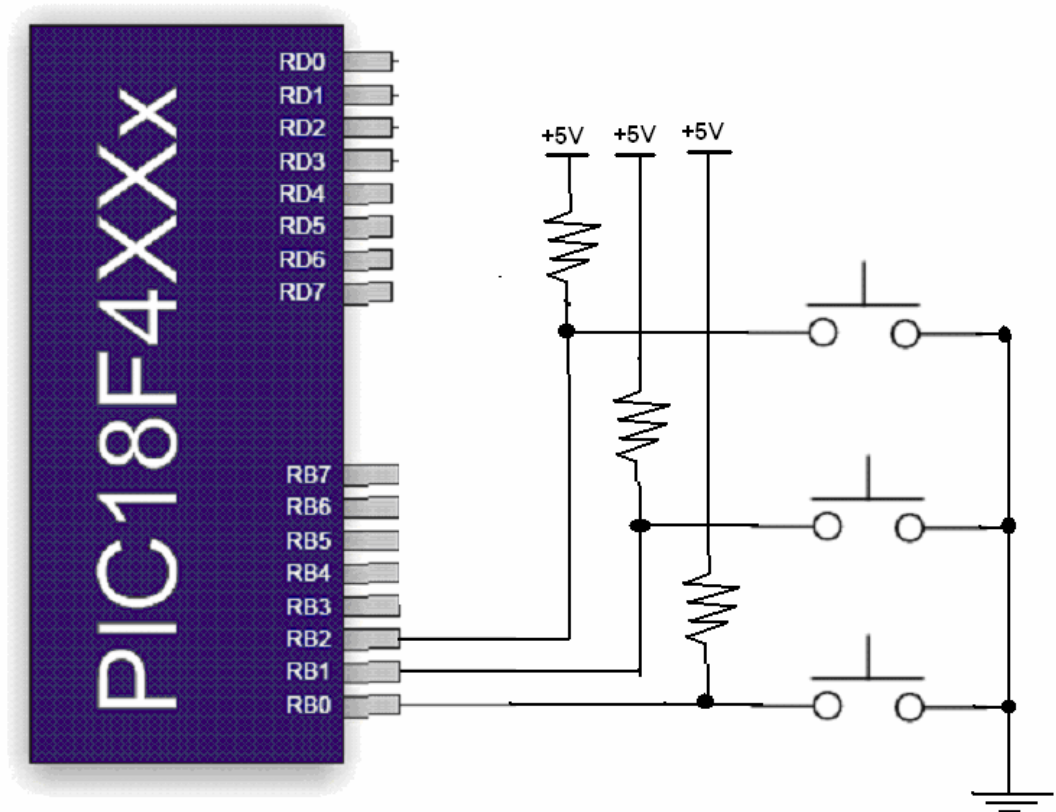


Figura 25- Esquema de ligação das teclas de interrupção externa.

A função das teclas neste protótipo é de o usuário indicar qual o valor do quiloWattXhora (kWh) que a companhia fornecedora está cobrando.

O código fonte que relaciona o funcionamento das teclas pode ser visualizado no apêndice.

3.2.7 *Transformador de corrente 50/5*

O transformador de corrente utilizado neste protótipo foi do tipo 50/5, ou seja, apresenta uma escala de 10A na entrada para 1A de saída. Este modelo foi escolhido, a fim de simular de forma real o consumo proveniente de uma residência, sendo que o consumo oriundo pelas 3 lâmpadas de 150W não superariam os 5A que o Transdutor de Potência tem como carga máxima de corrente suportada.

A potência máxima suportada pelo transdutor sem o transformador de corrente seria de 1100W, com este instalado no circuito sua potência máxima suportada chega a 11000W (escala 50/5 do transformador de corrente), simulando assim uma proximidade maior de consumo de uma residência.

Detalhes teóricos a respeito do transformador de corrente podem ser encontrados no capítulo 2.5.

3.2.8 Transdutor de Potência TRX-P/U-M

O transdutor de Potência de modelo TRX-P/U-M empregado neste projeto é fabricado pela WARD Electro Eletrônica, no qual foi escolhida a seguinte configuração técnica resumida, dentre as várias disponíveis:

- Corrente de entrada = Variando de 0 à 5 A;
- Tensão de entrada = 220V corrente alternada (ca);
- Tensão auxiliar = 220 V corrente alternada (ca);
- Saída = Tensão em corrente contínua (cc) variando de 0 à 5 Vcc.

No anexo 2 contém todas as características técnicas disponíveis para os modelos de transdutores de potência fornecidos pela empresa.

Detalhes teóricos a respeito do Transdutor de Potência podem ser encontrados no capítulo 2.6.3.

A tabela 6 detalha qual deverá ser o valor em tensão disponibilizado na saída U_s do transdutor a partir dos valores de potência calculados na multiplicação da I_e (corrente de entrada) e U_e (tensão de entrada) no protótipo elaborado sem uso do transformador de corrente.

Valor do cálculo da Potência = $U_e \times I_e$ em Watts (W)	Saída em Volts (Vcc)
0	0
50	0,2272
100	0,4545
150	0,6818
200	0,9090
250	1,1363
300	1,3636
350	1,5909
400	1,8181
450	2,0454
500	2,2727
550	2,5

600	2,7272
650	2,9545
700	3,1818
750	3,4090
800	3,6363
850	3,8636
900	4,0909
950	4,3181
1000	4,5454
1050	4,7727
1100	5

Tabela 6. Valores de saída do transdutor

O valor em volts obtido é calculado a partir da relação: carga máxima do transdutor de potência (1,1 kW) pelo valor disponibilizado na saída, que corresponde a 5 Vcc.

3.2.9 *Ligações do Transdutor de Potência*

O transdutor, conforme ilustrado na figura 27, possui no protótipo a seguinte forma de ligação: Terminal 1 do Ie (corrente de entrada) fase positiva, terminal 2 do Ie (corrente de entrada) com o neutro, ambos provenientes do transformador de corrente, pois, o transdutor apresenta como entrada máxima de corrente 5A, corrente máxima, também fornecida pelo TC. O terminal 4 do Ue (Tensão de entrada) com a tensão positiva e o terminal 5 com a neutra, ambas em fase com a Ie. A montagem em fase é necessária para a correta multiplicação da tensão pela corrente, na figura 26 demonstra graficamente a tensão e a corrente em fase.

A tensão auxiliar (Ua, terminais 9 e 10) pode ser ligada sem a preocupação com a fase, e até mesmo pode ser ligada a um circuito externo ao do protótipo, servindo esta conexão somente para alimentação do próprio transdutor. A saída em tensão contínua (Vcc) está configurada no transdutor sendo o positivo no terminal 7 que é ligado ao canal A/D do

microcontrolador e o negativo no terminal 6, sendo esta ligada ao GND (terra) no kit de desenvolvimento.

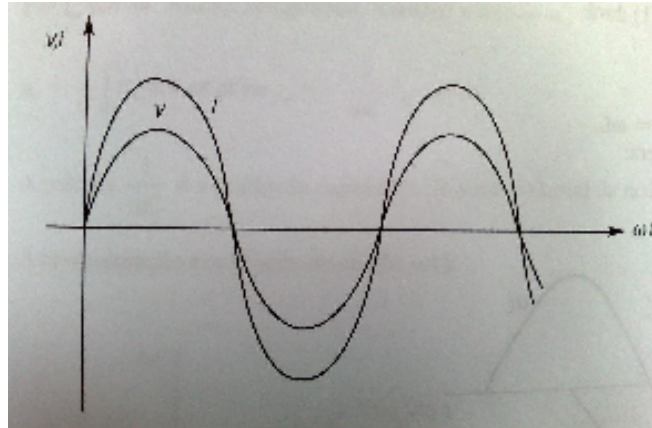


Figura 26- Tensão e corrente em fase. (CREDER, 2000)

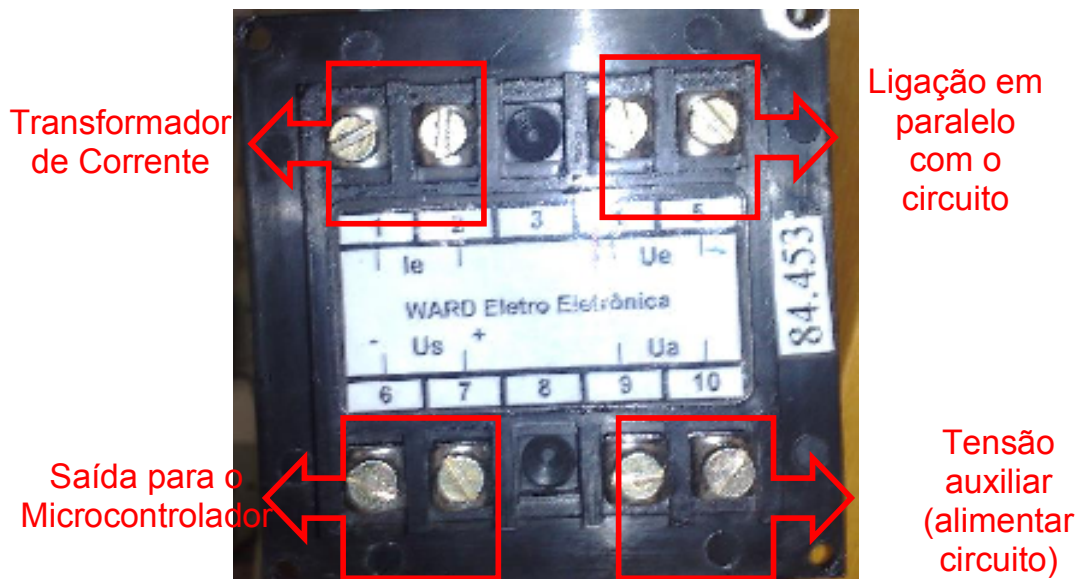


Figura 27- Terminais do transdutor de potência.

Devido a configuração do transdutor, e com a corrente de entrada (I_e) proveniente do TC, temos então como saber a limitação em relação a resolução a ser medida. Desta forma, a resolução mínima (resolução explicada no capítulo 3.2.4) no canal A/D fica sendo de

aproximadamente $4,88 \times 10^{-3} V$ o que corresponderia a uma potência mínima consumida de aproximadamente 0,01074 quilowatts (kW) ou cerca de 10,74 watts. Qualquer potência consumida acima desta no circuito, o protótipo será capaz de contabilizar.

3.2.10 *Microcomputador*

A utilização do microcomputador no projeto tem por finalidade a instalação dos softwares: WinPIC800 utilizado na gravação do programa no microcontrolador, MikroC versão 6.2.1.0 onde foi escrito o código em C do projeto, possui o cabo serial, responsável pela transmissão dos dados armazenados no computador (binário) para o microcontrolador (hexadecimal).

Na tabela 7 são mostradas as especificações de hardware do computador utilizado para o funcionamento do protótipo.

Processador	Intel® Celeron® 2.13 GHz
Memória RAM	512 MB DDR 266 Mhz
Memória em Disco	HD de 200 GB
Comunicação	Serial COM1
Sistema Operacional	Microsoft Windows XP Professional

Tabela 7. Especificações do microcomputador.

3.3 SOFTWARE

3.3.1 *Sistema Operacional*

O sistema operacional utilizado no microcomputador é o Microsoft Windows XP, versão 2002 com *Service Pack 2*, é um sistema relativamente pesado para o processamento de hardware.

Foram instalados os seguintes softwares neste sistema operacional para elaboração do protótipo apresentado:

- MikroC, versão 6.2.1.0;
- WinPic800, versão 3.6.

3.3.2 *MikroC*

Foi utilizada a versão 6.2.1.0 do MikroC que é um software para programação do PIC em linguagem C.

Com uma simplicidade na estrutura, a linguagem mais utilizada para a programação em microcontroladores é o Assembly. Mas devido a esta mesma simplicidade, em alguns programas mais complexos a linguagem escrita em Assembly pode ficar muito grande e complicada, com este fato a programação em C para microcontroladores se torna um grande atrativo. Visando esta facilidade, optou-se por desenvolver o código desde protótipo em linguagem de programação C.

O MikroC apresenta diversos benefícios, entre eles a compatibilidade com o PIC selecionado, PIC18F452, onde apresenta uma série de rotinas já estabelecidas, tais como

inicializar LCD, uma biblioteca de conversões, entre as utilizadas de numeral para *strings*, entre outras.

Na Figura 28 é mostrado o programa escrito no software MikroC.

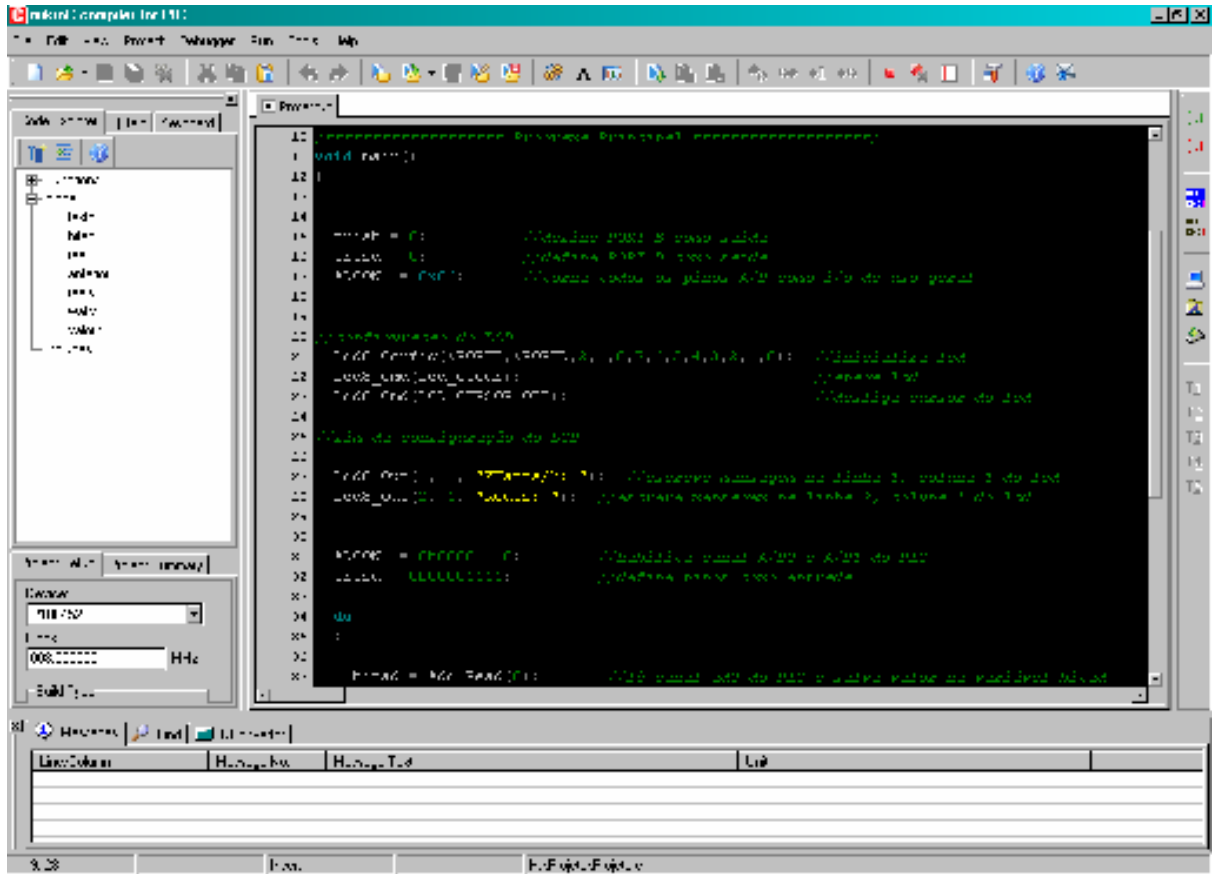


Figura 28- Programa escrito no software MikroC.

Outra vantagem utilizada é a geração do código na linguagem do microcontrolador (.hex).

3.3.3 WinPic8000

WinPic8000, na versão 3.60, é um software responsável pela gravação no microcontrolador PIC18F452 do código em formato .hex.

O software WinPic8000 (Fig. 29) foi escolhido devido a sua linguagem em português e compatibilidade com o microcontrolador PIC18F452.

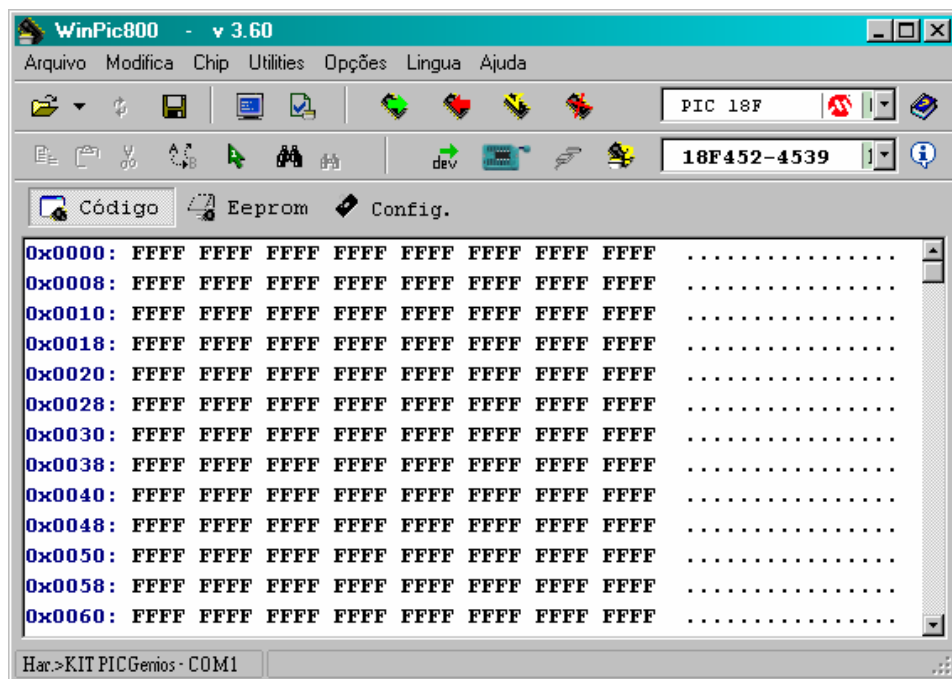


Figura 29- WinPic8000

3.3.4 Código fonte desenvolvido

Para o desenvolvimento do código do medidor de energia elétrica foi utilizada a programação em C, devido a complexidade e grande número de cálculos presentes no projeto.

Com a inicialização do medidor (ligando a fonte de tensão) é disponibilizada para o usuário a função que faz a leitura do valor do quilowattora (kWh). Esse valor é obtido

através de um campo na conta que a concessionária fornecedora de energia envia mensalmente ao usuário. Tendo como base este valor, o usuário deverá pressionar as teclas ligadas aos pinos RB0 e RB1 de forma a incrementar ou decrementar o valor disponibilizado no LCD.

A função que descreve essa rotina é ilustrada no trecho de código abaixo.

```
float ceb (float x)
{
    float i;

    Lcd8_out(1,1,"Digite o valor"); //escreve no lcd linha 1 coluna 1
    Lcd8_out(2,1,"do kWh: "); // escreve no lcd linha 2 coluna 1
    sprintf(texto, "%.3f", i); // converte a variavel de float para texto
    Lcd8_out(2,9, texto); //disponibilizar o valor de "i"

    do {
        if (Button(&PORTB, 0, 20, 0)){ //lê tecla 1
            i = i + x;

            sprintf(texto, "%.3f", i);
            lcd8_out(2,9, texto); }

        else if (Button(&PORTB, 1, 20, 0)){ //lê tecla 2
            i = i - x;

            sprintf(texto, "%.3f", i);
            lcd8_out(2,9, texto);}

            else if (Button(&PORTB, 2, 20, 0)) //lê tecla 3
                return (i);

        Delay_ms(200); //delay de 200 milisegundos
    } while(1); // loop infinito
```

Após a correta inserção do valor do kWh é pressionado pelo usuário o botão ligado ao pino RB2, sendo efetuada a confirmação do valor inserido.

Após a confirmação do valor do quilowatt-hora a ser cobrada, inicia-se a mensuração da energia elétrica consumida no circuito.

É efetuada a leitura do pino Analógico/Digital AN1, obtendo-se o valor do número de bits no canal. Esse valor é armazenado em um número inteiro variando de 0 à 1023 (Canal de 10 bits). Após análises e diversas medições, identificou-se o valor de referência (Vref) como sendo 5.04 volts, o que corresponderia ao número 1023 na leitura do pino A/D.

É obtido a partir desta análise, a relação de 1 volt para cada 202,97 de leitura no pino A/D, possibilitando a mensurar a tensão presente neste canal. O trecho de código abaixo é responsável por este cálculo.

```
bitad = Adc_Read(1); //lê canal ad1 do PIC e salva valor na variável bitad  
volt = bitad / 202.97;
```

A partir do valor da tensão proveniente do Transdutor de Potência, e calculada no código descrito acima, é efetuado o cálculo para obtenção da potência consumida no circuito.

A junção no circuito do transformador de corrente com o transdutor de potência oferece como potência máxima a ser consumida no protótipo o valor de 11.000 watt (W) ou 11 quilowatt (kW), gerando na saída do transdutor de potência uma carga máxima de 5 volt em corrente contínua. Tendo como base esta relação, obtêm-se 1 volt em corrente contínua para cada 2,2 quilowatt consumidos. O código a seguir descreve a obtenção da potência consumida no circuito pelo microcontrolador.

```
potencia = volt * 2.2;
```

A energia elétrica consumida é a potência realizada ao longo do tempo. Este tempo é fornecido em horas. É necessária a sua conversão para que possa ser visualizado pelo usuário de forma instantânea.

O usuário terá a visualização ocorrendo a cada 1 segundo, onde a potência do circuito é dividida por 3600 segundos, correspondentes a 1 hora como consta no código descrito a seguir.

```
watts = watts + ( potencia / 3600 );
```

A variável “watts” recebe o somatório da potência consumida ao longo do tempo.

Caso exista potência sendo consumida, ou seja, tensão saindo do transdutor de potência, essa energia deve ser contabilizada em um valor a ser pago. Tendo a variável “bitad” valor diferente de zero, é efetuado o somatório da multiplicação do valor de potência consumida, pelo valor do quilowattthora inserido pelo usuário.

```
if (bitad !=0){ // condição para somatória do consumo
    anterior = consumo;
    consumo = watts * valorhora;
    conta = conta + (consumo - anterior);
}
```

A variável “conta” efetua o somatório do consumo medido. É necessária sua subtração do valor anteriormente medido (variável “anterior”), pois a variável “watts” já contempla o acumulado do quilowattthora medido.

4 CONCLUSÃO

4.1 RESULTADO OBTIDO

Neste projeto foi desenvolvido um circuito para verificação da leitura e cálculo do valor gasto por cada quilowatts horas utilizados por seus usuários.

A proposta do projeto foi construir um medidor capaz de mostrar tanto o quilowatts utilizado pelos usuários, quanto o valor gasto por hora, podendo assim, controlar e verificar seus gastos, além de fornecer à concessionária de energia uma melhor e mais fácil leitura e fechamentos dos mesmos, podendo desta forma a concessionária de energia obter mais vantagens, com a possível redução nos custos para realização da medição.

A proposta também se baseia em um melhor controle dos gastos, contribuindo para o uso mais racional da energia elétrica e o melhor controle dos gastos.

4.2 DIFICULDADES ENCONTRADAS

Este tópico aborda as dificuldades encontradas durante a implementação do protótipo, tendo como finalidade contribuir para trabalhos futuros.

As principais dificuldades se encontram nos altos valores dos componentes necessários para tratamento do sinal elétrico, sendo o Transdutor de Potência, por ser feito com as especificações impostas pelo comprador e o de maior valor adquirido.

A falta de material explicativo a respeito do funcionamento e componentes presentes no Transdutor de Potência tiveram agravamento durante a implementação. A dificuldade de

interligação entre os diversos componentes também foi um fator que gerou grandes dificuldades.

Devido ao efeito “bounce”, problema que reside no fato da tensão ser uma grandeza elétrica e na imperfeição dos contactos mecânicos, antes que o contato se estabeleça e seja interrompido em um curto período de tempo podendo ocorrer uma vibração (oscilação) como resultado do desajuste dos contatos, ou da velocidade diferente de acionamento das teclas (que depende da pessoa que usa o teclado) não computando as informações como esperado.

4.3 SUGESTÕES DE TRABALHO FUTURO

Com os componentes presentes neste trabalho, têm-se várias linhas de trabalhos futuros, entre elas estão:

- Redução dos custos com dispositivos eletrônicos
- Utilização dos demais pinos A/D do microcontrolador e soma interna da potência, a fim de evitar o uso do transformador de corrente, aumentando a precisão.
- Envio do valor kWh para o usuário e/ou concessionária através de SMS ou outro meio de comunicação;
- Atualização do valor cobrado pelo kWh de forma automatizada, empregando algum meio de comunicação (internet, GPRS, etc);
- Estimar gastos de aparelhos específicos, vendo se o valor condiz com o disponibilizado pelo fabricante.

5 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro Federal de Educação Tecnológica de Mato Grosso, **Como utilizar um multímetro digital**, disponível em:

<http://www.getec.cefetmt.br/~luizcarlos/Instrumentos/Como%20utilizar%20um%20Mutimetr o%20Digital.doc>. Acesso em 18 de Outubro de 2008.

CLIC ENERGIA, **Leitura e Consumo de Energia**, disponível em: http://www.clicenergia.com.br/leitura_consumo.htm. Acesso em 10 de Setembro de 2008

CONTROLLINE, **Controlline Energia**, disponível em: <http://br.geocities.com/controlline.energia/pg10.htm>. Acesso em 12 de Setembro de 2008;

CREDER, Hélio. **Instalações elétricas**. 14ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

DORF, Ricardo C. & Svaboda, James A. **Introdução aos Circuitos Elétricos**. Rio de Janeiro Ed. LTC; 2001.

MEDEIROS FILHO, Sólton de. **Medição de energia elétrica**. 4ª. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1997.

MICROCHIP, **PIC18FXX2 Data Sheet**, U.S.A. Microchip Technology Incorporated, 2002.

NOVA ENCICLOPÉDIA BARSA – São Paulo: Barsa Consultoria Editorial Ltda., 2001.

PEREIRA, Fábio. **Microcontroladores PIC: programação em C**. São Paulo: Érica, 2003.

QUEVEDO, Carlos Peres. **Circuitos elétricos e eletrônicos**, 2ª edição; 2000.

SALA DE FÍSICA, **Transformador**, disponível em: <http://br.geocities.com/saladefisica7/funciona/transformador.htm>. Acesso em 22 de Setembro de 2008.

SIEMENS, Siemens, Disponível em:
<http://www.siemens.com.br/medias/IMAGES/2805.jpg>. Acesso em 20 de Outubro de 2008.

SILVA JÚNIOR, Vidal Pereira da. **Microcontroladores**. São Paulo: Érica; 1998.

SOUZA, David José de; LAVÍNIA, Nicolás César. **Conectando o PIC 16F877A: recursos avançados**. São Paulo: Érica, 2003.

STOK, **De alta tensão**, disponível em: <http://pt.dreamstime.com/high-voltage-image4442684>. Acesso em: 25 de Outubro de 2008.

TORRES, Gabriel. **Fundamentos de Eletrônica**, Ed. do Brasil; 2002.

Ward Eletro Eletrônica Ltda, **Transdutores de Potência**, disponível em:
<http://www.ward.com.br/trxpq.html>. Acesso em 05 de setembro de 2008.

WERNECK, Marcelo Marins. **Transdutores e Interfaces**, Rio de Janeiro, LTC,; 1996.

WIKIPEDIA, Transformador de Corrente, disponível em:
http://pt.wikipedia.org/wiki/Imagem:TC_Simbolo.gif. Acesso em 25 de Outubro de 2008.

WIKIPEDIA, Microcontrolador PIC, disponível em
<HTTP://PT.WIKIPEDIA.ORG/WIKI/PIC>. Acesso em 25 de Outubro de 2008.

APÊNDICE A – CÓDIGO FONTE

```
/******
```

Leandro Almeida Soares e Silva

Programa: Captura dados provenientes do canal A/D e efetua cálculos de potência, voltagem e consumo de energia ao longo do tempo

```
*****/
```

```
//variáveis GLOBAIS
```

```
char *texto[16];
```

```
int i;
```

```
/****** Função para inicialização e configuração do visor LCD *****/
```

```
void inicializa_lcd(void)
```

```
{
```

```
Lcd8_Config(&PORTE,&PORTD,2,1,0,7,6,5,4,3,2,1,0); //inicializa lcd
```

```
Lcd8_Cmd(Lcd_Clear); //apaga lcd
```

```
Lcd8_Cmd(LCD_CURSOR_OFF); //desliga cursor do lcd
```

```
}
```

```
/******
```

Função que recebe o valor a ser cobrada pelo quiloWatts X hora fornecido pela concessionária de energia.

Essa informação é inserida com base nos botões da PORTB

```
*****/
```

```
float ceb (float x)
{
    float i;
    Lcd8_out(1,1,"Digite o valor");
    Lcd8_out(2,1,"do kWh: ");
    sprintf(texto, "%.3f", i);
    Lcd8_out(2,9, texto);
    do {
        if (Button(&PORTB, 0, 20, 0)){          //lê tecla 1
            i = i + x;
            sprintf(texto, "%.3f", i);
            lcd8_out(2,9, texto); }
        else if (Button(&PORTB, 1, 20, 0)){ //lê tecla 2
            i = i - x;
            sprintf(texto, "%.3f", i);
            lcd8_out(2,9, texto);}
        else if (Button(&PORTB, 2, 20, 0)) //lê tecla 3
            return (i);
        Delay_ms(200); //delay de 200 milisegundos
    } while(1);    // loop infinito
}
```

```

/***** Programa Principal *****/

void main()

{

int bitad = 0;

float valorhora = 0, conta =0, anterior =0, consumo = 0, potencia = 0;

float watts=0, volt=0;

inicializa_lcd(); //chama função iniciar lcd

ADCON1 = 0x06; //torna todos os pinos A/D como i/o de uso geral

valorhora = ceb(0.010); // chama função para receber o valor do kWh

do

{

bitad = Adc_Read(1); //lê canal ad1 do PIC e salva valor na variável bitad

volt = bitad / 204.6;

/*****

Explicação cálculo: Voltagem no pino Ra01 devido a conversão 5,04V (Vref)
corresponde 1023 bits (1023/5,04) => 1volt = 202,97

*****/

potencia = volt * 2.2;

/*****

Explicação cálculo: potência calculada a partir da saída do Transdutor/Transformador,
onde 11 kW corresponde 5V, ou seja, 1V = 2.2 kW

*****/

watts = watts + ( potencia / 3600 );

/***** Explicação da formula *****/

Explicação cálculo: Somatória da potencia em horas consumida por segundo.

```

```

*****/

sprintf(texto, "%.3f", watts); //transforma float em string e armazena em texto

Lcd8_Cmd(Lcd_clear); // limpa lcd

Lcd8_Out(1, 1, "kWh: "); //escreve mensagem na linha 1, coluna 1 do lcd

Lcd8_Out(1,5,texto); // escreve a saida do kWh na lina 1, coluna 5 do lcd

if (bitad !=0){ // condição para somatória do consumo

    anterior = consumo;

    consumo = watts * valorhora;

    conta = conta + (consumo - anterior);

}

sprintf(texto, "%.3f", conta);

Lcd8_Out(2,1, "R$:"); // escreve mensagem na linha 2, coluna 1 do lcd

Lcd8_Out(2,5,texto); // escreve a saída do valor em Reais na linha 2, coluna 5

sprintf(texto, "%f", volt);

Lcd8_Out(1,11, "V:");

Lcd8_Out(1,13,texto);

sprintf(texto, "%f", potencia);

Lcd8_Out(2,11, "P:");

Lcd8_Out(2,13,texto);

delay_ms(1000); // 1 segundo

}while(1); //condição de looping infinito

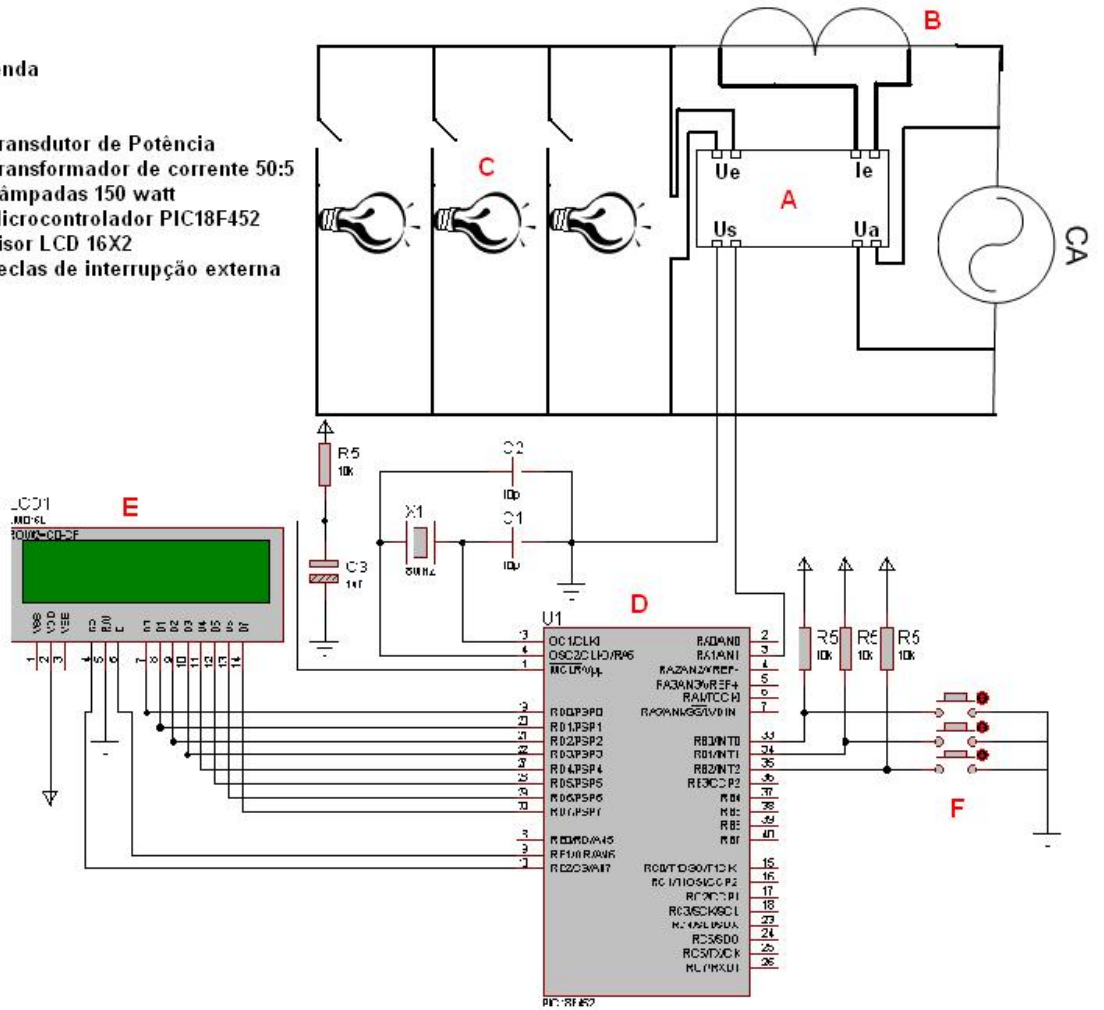
}

```

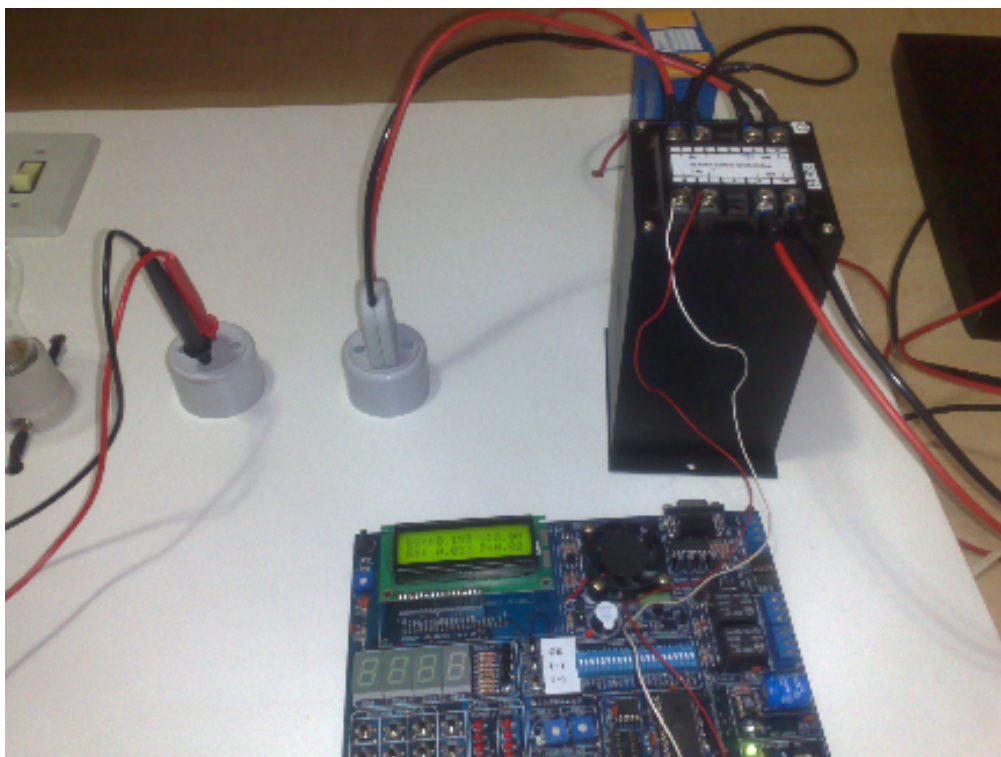
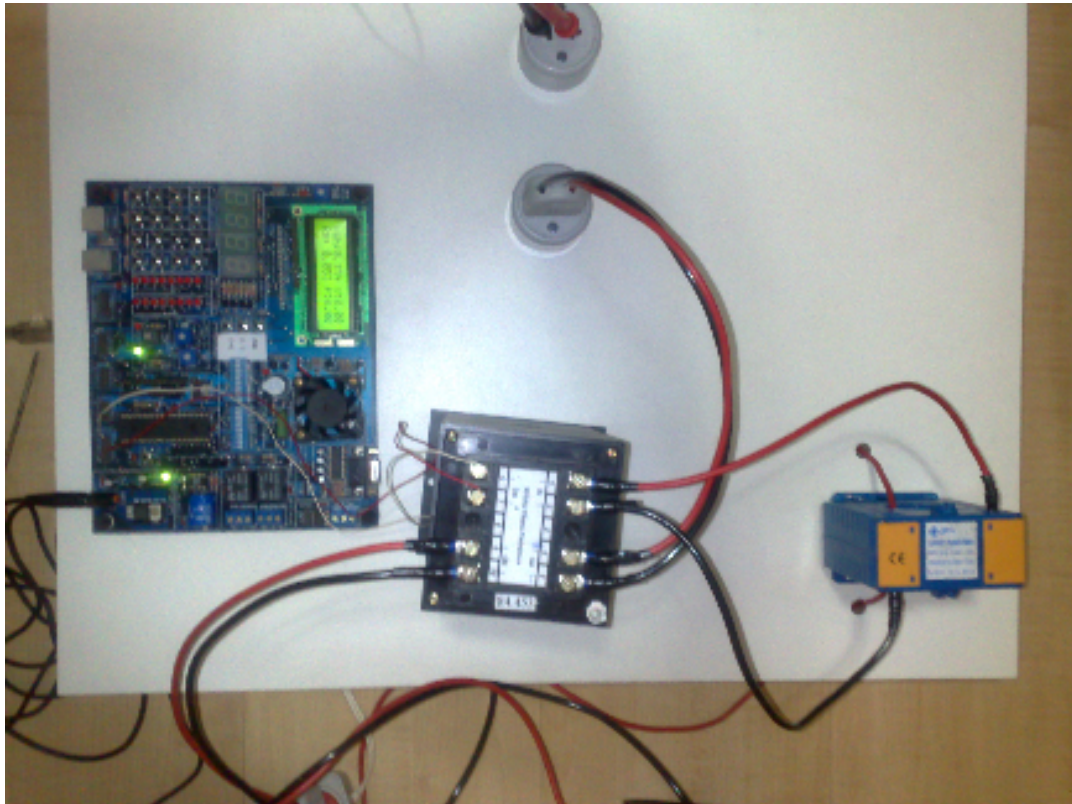
APÊNDICE B – DIAGRAMA ELÉTRICO COMPLETO

Legenda

- A - Transdutor de Potência
- B - Transformador de corrente 50:5
- C - Lâmpadas 150 watt
- D - Microcontrolador PIC18F452
- E - Visor LCD 16X2
- F - Teclas de interrupção externa



ANEXO A – FOTOS DO CIRCUITO COMPLETO



ANEXO B – MANUAL TRANSFORMADOR DE CORRENTE

ANEXO C – CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DO TRANSDUTOR