



Centro Universitário de Brasília - UniCEUB
Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas - FATECS
Curso de Engenharia da Computação
PROJETO FINAL

PROJETO DE CONCLUSÃO DO CURSO
BOLSA TÉRMICA MICROCONTROLADA

Autor: Marcus Felipe Castello Branco dos Santos (RA: 2021850- 6)
Orientadora: Prof^a. Maria Marony S. F. Nascimento

BRASÍLIA - DF
1º SEMESTRE DE 2009

MARCUS FELIPE CASTELLO BRANCO DOS SANTOS

**PROJETO FINAL
BOLSA TÉRMICA MICROCONTROLADA**

**BRASÍLIA - DF
1º SEMESTRE DE 2009**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, a Deus.

Aos meus pais, pelo incentivo e dedicação ao longo desta jornada acadêmica.

Agradeço também ao meu colega e amigo Augusto Barbosa Cavalcanti, que me ajudou bastante no início deste projeto final e a todos os professores do curso de Engenharia de Computação, principalmente, a Prof^a. Maria Marony que supervisionou e me orientou sabiamente durante o desenvolvimento deste projeto.

A todas as pessoas que, de alguma forma, contribuíram positivamente para que este projeto fosse concluído com sucesso.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	VI
LISTA DE TABELAS.....	VII
LISTA DE EQUAÇÕES	VIII
RESUMO.....	IX
ABSTRACT	X
CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO.....	11
1.1 MOTIVAÇÃO.....	12
1.2 OBJETIVOS.....	12
1.3 METODOLOGIA	13
1.4 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	13
CAPÍTULO 2 – REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1 TERMOTERAPIA	17
2.2 EFEITO JOULE	22
CAPÍTULO 3 – DESCRIÇÃO DO HARDWARE	26
3.1 KIT PICLAB.....	26
3.2 MICROCONTROLADOR PIC 16F877A.....	30
3.2.1 CONVERSOR A/D	32
3.3 RESISTÊNCIA.....	33
3.4 BOLSA TÉRMICA.....	34
CAPÍTULO 4 – IMPLEMENTAÇÃO	36
4.1 PROTÓTIPO	36
4.2 PROGRAMAÇÃO DO KIT PICLAB	39
4.3 FUNCIONAMENTO DO PROTÓTIPO	43
4.4 DIFICULDADES.....	46
CAPÍTULO 5 – TESTES E RESULTADOS	48
CAPÍTULO 6 – CONCLUSÃO	52
6.1 SUGESTÕES DE TRABALHOS FUTUROS.....	53

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
APÊNDICE A – CÓDIGO DO MICROCONTROLADOR	56
APÊNDICE B – DESCRIÇÃO DETALHADA DA PLACA PICLAB	67

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 – Diagrama geral do projeto.....	16
Figura 2.2 – Energia potencial em um condutor.....	23
Figura 3.1 – Kit de desenvolvimento PICLAB.....	26
Figura 3.2 – Relé do kit PICLAB16F877A.....	28
Figura 3.3 – LM35 ligado à entrada analógica do PIC.....	29
Figura 3.4 – Circuito elétrico do LM35.....	30
Figura 3.5 – Resistência (mergulhão).....	34
Figura 3.6 – Bolsa Térmica convencional.....	35
Figura 4.1 – Sensor de temperatura estendido e fixado à bolsa.....	37
Figura 4.2 – Inserção do mergulhão na bolsa térmica.....	37
Figura 4.3 – Resistência conectada na saída NA e C do relé.....	38
Figura 4.4 – Suporte firmando a bolsa na posição vertical.....	39
Figura 4.5 – Compilação do software controlador do relé.....	40
Figura 4.6 – Gravação do código na memória do PIC.....	41
Figura 4.7 – Fluxograma do software controlador do relé.....	42
Figura 4.8 – Relé ligado quando a temperatura registrada for menor ou igual a 40°C.....	44
Figura 4.9 – Relé desligado quando a temperatura registrada for maior ou igual a 45°C.....	45
Figura 4.10 – Protótipo montado e funcionando com a localização dos recursos implementados.....	46
Figura 5.1 - Temperatura da bolsa acima de 45°C.....	49
Figura 5.2 – Termômetro digital registrando temperatura da bolsa.....	50
Figura 5.3 – Protótipo final.....	51
Figura C.1 – Trimpots da placa PICLAB.....	70
Figura C.2 – Expansão do <i>LCD</i> e <i>display</i> de <i>LCD</i> do kit.....	71
Figura C.3 – Sistema de medição de velocidade da placa.....	73
Figura C.4 – Esquema elétrico da placa.....	75
Figura C.5 – Esquema elétrico da placa.....	75
Figura C.6 – Esquema elétrico da placa.....	76

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Classificação dos agentes de calor	17
Tabela 2.2 – Efeitos locais da aplicação do frio	19
Tabela 2.3 – Efeitos locais da aplicação de calor.....	20
Tabela 2.4 – Indicações de tratamentos pelo calor	21
Tabela 2.5 – Contra-indicações de tratamentos pelo calor	21
Tabela C.1 – Ligações dos botões aos pinos do PIC.....	68
Tabela C.2 – Ligações dos <i>leds</i> aos pinos do microcontrolador	69
Tabela C.3 – Ligações dos trimpots aos pinos do PIC.....	70
Tabela C.4 – Pinagem utilizada para comunicação com o <i>display</i> de <i>LCD</i>	71
Tabela C.5 – Descrição dos pinos adotados para o <i>display</i> de 7 segmentos	72
Tabela C.6 – Descrição dos pinos utilizados para o ventilador	73
Tabela C.7 – Pinagem utilizada para o sistema de medição de temperatura	74

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 2.1 – Energia potencial dissipada em um condutor.....	23
Equação 2.2 – Taxa de dissipação de energia	24
Equação 2.3 – Potência dissipada em um condutor	24
Equação 2.4 – Potência dissipada em um resistor.....	24
Equação 3.1 – Resolução de um sinal analógico.....	32
Equação 3.2 – Tensão proporcional ao bit m do conversor A/D	33

RESUMO

Neste projeto foi desenvolvida uma bolsa térmica que mantém sua temperatura variando entre uma faixa preestabelecida, durante todo o tempo de utilização pelo usuário. As bolsas existentes atualmente, cuja aplicabilidade destina-se ao tratamento de diversas doenças através da aplicação terapêutica de calor, quando utilizadas durante um período prolongado, tendem a esfriar, não alcançando o objetivo inicial desejado, gerando ineficácia no tratamento.

Desta forma, o presente trabalho descreve o projeto e a construção de uma bolsa térmica microcontrolada, que mantém sua temperatura variando dentro de uma faixa predeterminada, estabelecida conforme literatura médica, não necessitando que o usuário interrompa o procedimento para reabastecer a bolsa com água quente. Para isto, foi utilizado um kit de desenvolvimento com microcontrolador PIC 16F877A, uma resistência e uma bolsa térmica convencional.

Palavras-chave: bolsa térmica microcontrolada, resistência, sensor de temperatura, microcontrolador, PIC 16F877A, PICLAB.

ABSTRACT

This project was developed a hot compress bag that maintains the temperature within a pre-established range during usage. The hot compress bags available nowadays, which aim to treat various diseases through therapeutic application of heat, tend to cool when used over a long period of time, thus failing to reach their initial desired goal, incurring in treatment inefficiency.

Therefore, this document describes the project and construction of a micro-controlled hot compress bag that maintains the temperature within a pre-determined range, established according to medical researches, freeing the user from the need of refilling the bag with hot water, hence avoiding interruption of the treatment. For this, a development kit with PIC 16F877A microcontroller, a water heater and a conventional hot compress bag were used.

Keywords: micro-controlled hot compress bag, water heater, temperature sensor, microcontroller, PIC 16F877A, PICLAB.

1 INTRODUÇÃO

Atualmente no mercado, tem-se a disposição dos consumidores bolsas térmicas dos mais variados tipos e tamanhos. Dentre elas, destacam-se as que são usadas para a aplicação terapêutica de calor, ou seja, tratamentos corporais que requeiram o uso de calor localizado. Pancadas, traumas e contusões são alguns exemplos da aplicabilidade local de calor.

Sua aplicação também é indicada para favorecer a cura dos tecidos, para reduzir edemas e equimoses, para melhorar a amplitude de movimento antes da atividade física ou de reabilitação e para promover a drenagem de uma área infectada (STARKEY, 2001).

Entretanto, tais bolsas quando usadas por um período prolongado, tendem a esfriar, não alcançando o objetivo inicial desejado, o que pode inviabilizar a eficácia do tratamento. Um exemplo bastante comum que pode ser citado é o uso de bolsa térmica pelas mulheres para minimizar e tratar as cólicas menstruais. Pelo motivo anteriormente citado, ocorre uma grande frustração por parte delas, tendo em vista que é preciso esquentar a água novamente para depois retomar o processo.

Por isso, o tema a ser abordado trata-se do desenvolvimento de uma bolsa térmica microcontrolada, que mantém sua temperatura variando dentro de uma faixa preestabelecida, durante o período de sua utilização. O núcleo do protótipo projetado é constituído de um kit de desenvolvimento com microcontrolador PIC 16F877A, uma bolsa térmica convencional e uma resistência. A bolsa térmica microcontrolada mantém seu aquecimento variando dentro de uma faixa de temperatura estabelecida conforme literatura médica, portanto, permanece aquecida por um período de tempo superior ao das bolsas térmicas convencionais. Dessa forma, o usuário não precisará interromper o procedimento para reabastecer a bolsa com água quente.

1.1 Motivação

As bolsas térmicas existentes atualmente no mercado, usadas para tratar diferentes problemas de saúde – provenientes de causa externa ou interna, como pancadas, que podem levar a traumas e lesões musculares, até cólicas, por exemplo – esfriam rapidamente, pois a água que foi anteriormente aquecida e colocada no recipiente da bolsa perde o calor em pouco tempo, o que pode gerar uma ineficácia nos diversos tipos de tratamento; pois o usuário precisa esquentar a água novamente para retomar o processo, que pode variar, por exemplo, de 20 a 30 minutos – no caso de contusões musculares – ou por um período superior, como no caso de cólicas e pós-operatórios.

Com a bolsa térmica microcontrolada, o usuário poderá manter a temperatura da mesma variando dentro de uma faixa predefinida durante o tempo necessário para seu tratamento ou até obter o efeito desejado. Dessa forma, a utilização desta bolsa térmica, traz um diferencial das demais bolsas convencionais que atualmente são encontradas à disposição no mercado, pois auxilia nos diversos tipos de tratamento ininterruptamente, o que vem a ser uma contribuição benéfica para os usuários.

1.2 Objetivos

Este trabalho tem por objetivo principal o desenvolvimento e a confecção de uma bolsa térmica microcontrolada.

Para isso, a partir de dispositivos eletrônicos, uma bolsa térmica convencional e uma resistência, objetiva-se construir um protótipo que mantém a temperatura da bolsa variando dentro de uma faixa predeterminada, entre 40°C e 45°C, durante o período de tempo que o usuário necessitar, evitando, portanto, que a água e conseqüentemente a bolsa, sofram uma elevada queda de temperatura.

1.3 Metodologia

Para o desenvolvimento deste projeto, foi realizada pesquisa bibliográfica para definição de qual tecnologia seria mais eficaz para a implementação do protótipo. Também foram realizados testes e simulações, a fim de assegurar a confiabilidade do protótipo construído. Foram utilizados para o projeto:

- Um kit de desenvolvimento PICLAB que possui o microcontrolador PIC 16F877A;
- Uma resistência;
- Uma bolsa térmica convencional.

Para demonstração prática do protótipo, são apresentados os recursos necessários para a verificação da temperatura da bolsa térmica variando dentro de uma faixa predeterminada, durante um período de tempo, que varia de acordo com o tratamento do usuário. Para verificar a eficácia da temperatura medida pelo sensor LM35, neste projeto também é utilizado um termômetro digital.

1.4 Estrutura da Monografia

Este trabalho é dividido em 6 capítulos, incluindo a INTRODUÇÃO, que trata da motivação do projeto, descreve os objetivos do mesmo, além da sua metodologia. Neste capítulo ainda traz esta seção, que descreve toda a estrutura da monografia.

O segundo capítulo, REFERENCIAL TEÓRICO, aborda os principais conceitos envolvidos neste trabalho, faz menção ao efeito joule e descreve os tópicos essenciais relativos à termoterapia.

O terceiro capítulo, DESCRIÇÃO DO HARDWARE, traz o tipo e o modelo do kit didático escolhido. Constam ainda neste capítulo as principais características do microcontrolador que o kit contempla e cada um dos componentes físicos utilizados na confecção do protótipo.

O quarto capítulo, IMPLEMENTAÇÃO, trata do desenvolvimento propriamente dito do projeto, abordando, passo a passo, toda a fase de implementação do trabalho, desenvolvimento do protótipo, dificuldades enfrentadas, programação e recursos aplicados.

O quinto capítulo, TESTES E RESULTADOS, mostra os testes realizados e os resultados obtidos ao longo da implementação deste projeto final.

O sexto capítulo, CONCLUSÃO, traz a conclusão do trabalho e sugestões de trabalhos futuros.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Estima-se que, em 2010, cada pessoa se depare com 100 processadores e/ou microcontroladores na solução de problemas nas mais diversas áreas, tais como: automobilística, predial, industrial, agrícola, biomédica, robótica, etc. Por causa deste crescimento, tem se verificado que existe um grande interesse das empresas de desenvolvimento de projetos eletrônicos pelos microcontroladores. (ZANCO, 2005)

O projetista de circuitos eletrônicos microcontrolados tem desempenhado um papel de destaque neste contexto, pois viabiliza o desenvolvimento de soluções personalizadas e de baixo custo, uma exigência cada vez mais comum entre as empresas modernas. Este é um dos motivos que explica o grande crescimento do uso de microcontroladores no projeto de circuitos eletrônicos, e um número cada vez maior de projetistas. Costuma-se dizer que o limite de criação de soluções envolvendo microcontroladores está associado à criatividade do projetista. Quem é projetista sabe quanto dinheiro pode estar por trás de uma boa idéia. (ZANCO, 2006)

Partindo deste princípio, foi construído um protótipo utilizando um microcontrolador da família PIC. A solução desenvolvida para o presente trabalho é ilustrada na Figura 2.1.

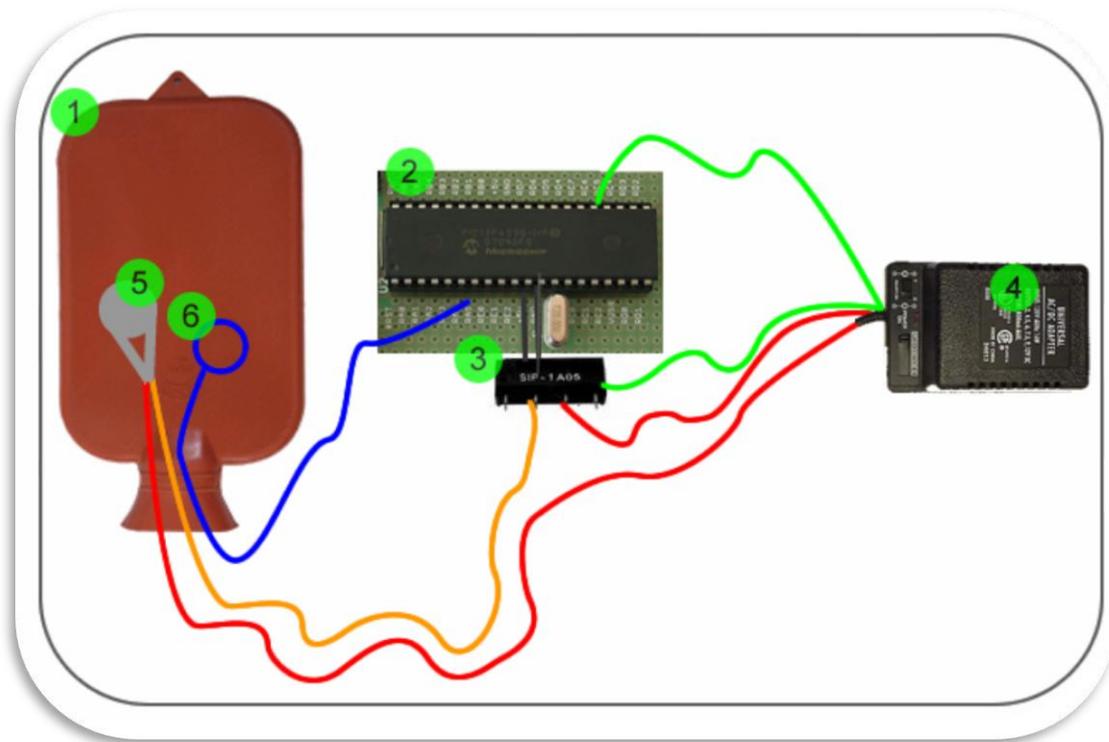


Figura 2.1 – Diagrama geral do projeto (Autor).

Onde:

- 1 – Bolsa térmica comum;
- 2 – Microcontrolador PIC;
- 3 – Relé;
- 4 – Transformador;
- 5 – Resistência (mergulhão);
- 6 – Sensor de temperatura (transistor).

Além do microcontrolador, foi utilizado também um sensor de temperatura. Este tem a finalidade de medir a temperatura da bolsa térmica.

Outros componentes adotados no projeto foram o relé e uma resistência. O primeiro possui a função de abrir ou fechar o circuito enquanto que a finalidade da resistência é aquecer a água. Caso o sensor detecte a temperatura de uso da bolsa, o circuito é fechado, através do relé, e ocorrerá a passagem de corrente elétrica pela resistência, fazendo com que a temperatura da água seja elevada.

Assim, se a temperatura registrada pelo sensor for maior ou igual a 45°C, o relé será desligado e não haverá corrente circulando pela resistência. Por outro lado, se a temperatura registrada pelo sensor for menor ou igual a 40°C, o relé será acionado, e então o circuito é fechado, permitindo a passagem de corrente elétrica pela resistência.

Deste modo, a temperatura da bolsa térmica se manterá variando entre 40°C e 45°C, faixa adequada de temperatura da pele em que são produzidos efeitos terapêuticos, estabelecida conforme a termoterapia, conceituada na seção seguinte. Mais detalhes sobre o funcionamento e implementação do protótipo, encontram-se no capítulo 4.

2.1 Termoterapia

A aplicação de calor terapêutico ao corpo é denominada termoterapia e os métodos de aquecimento são classificados como superficiais ou profundos. Os agentes de aquecimento superficial devem ser capazes de aumentar a temperatura da pele dentro de um limite de 40°C a 45°C, para que possam produzir efeitos terapêuticos (STARKEY, 2001).

Tabela 2.1 – Classificação dos agentes de calor (STARKEY, 2001).

<i>Calor superficial</i>	<i>Calor profundo</i>
Lâmpadas infravermelhas	Diatermia de microondas
Compressas quentes (bolsa térmica)	Diatermia de ondas curtas
Banhos de parafina	Ultra-som
Turbilhão e/ou imersão aquecidos	

Na Tabela 2.1 é mostrada a classificação dos agentes de calor, superficial e profundo, sendo a compressa quente o método de aquecimento superficial que o presente projeto utiliza.

Atualmente, a termoterapia é usada largamente, compreendendo o emprego tanto de agentes caloríficos como de recursos hipotérmicos. Usam-se, portanto, o calor e o frio com a adoção de técnicas muito refinadas (LEITÃO, 1979).

Deste modo, a termoterapia divide-se em dois tipos: crioterapia e hipertermoterapia. Esta última tem mais relevância no presente trabalho, pois utiliza o calor como forma de tratamento terapêutico.

Crioterapia é a terapêutica pela aplicação local ou sistêmica do frio. A hipotermoterapia, ou terapêutica pelo frio, em aplicação local ou geral, possui importantes e preciosas indicações clínicas. Entretanto, sob o ponto de vista médico, o frio não tem sido investigado ou empregado tão extensivamente quanto o calor. E, no entanto, em várias circunstâncias e condições clínicas, o frio pode ter uma indicação precípua, enquanto o calor é contra-indicado. Esta particularidade encontra-se principalmente evidenciada nos casos de traumatismos recentes (LEITÃO, 1979).

Um dos mais destacados efeitos fisiológicos do frio é a diminuição do volume da torrente circulatória, manifestado tanto nas partes superficiais quanto profunda dos tecidos. O frio intenso provoca uma vasoconstrição que interfere com a distribuição do próprio frio pela circulação e com a irradiação do calor sanguíneo nos capilares superficiais. Mas, a aplicação do frio a uma extremidade pode determinar o aparecimento de vasoconstrição em outra parte do corpo, não submetida ao agente físico modificador da temperatura (LEITÃO, 1979).

As técnicas de aplicação do frio podem ser gerais, locais ou segmentares. Quanto às aplicações locais, estas podem ser feitas, por exemplo, através de sacos contendo gelo moído ou em blocos, banhos frios e

compressas frias. Nessas aplicações é importante manter vigilância a intervalos regulares quanto às reações cutâneas, pois o excesso de frio, da mesma forma que o excesso de calor, pode causar dano à pele do paciente (LEITÃO, 1979).

Para obter os benefícios terapêuticos, a temperatura da pele deve cair para aproximadamente 13,8°C para que ocorra a redução ideal do fluxo sanguíneo local, e para cerca de 14,4°C para que ocorra analgesia (eliminação da dor). A aplicação de frio na pele ativa o mecanismo considerado um conservador do calor no centro do corpo, disparando uma série de eventos metabólicos e vasculares que produzem os efeitos benéficos da crioterapia (STARKEY, 2001).

Na Tabela 2.2 são apresentados os principais efeitos fisiológicos locais causados pelo uso do frio.

Tabela 2.2 – Efeitos locais da aplicação do frio (STARKEY, 2001).

Vasoconstrição
Redução da produção de resíduos celulares
Redução da inflamação
Redução da dor
Redução do espasmo muscular (contração muscular)

Hipertermoterapia é a aplicação de qualquer substância que provoque o aumento da temperatura dos tecidos estimulando a termorregulação corporal. A administração dos agentes termoterápicos é feita mediante a aplicação de uma certa quantidade de energia térmica, produzida por fontes de calor de pequena ou grande penetração. Por conseguinte, a temperatura do corpo humano pode ser elevada localmente ou abrangendo todo o corpo por meio de recursos epitérmicos ou endotérmicos. Em qualquer destes dois métodos o calor é aplicado ao corpo de três modos (LEITÃO, 1979):

- Por conversão, como é o caso da diatérmica de ondas curtas;
- Por condução, através do contato direto, exemplificado nas bolsas quentes;
- Por convecção, como é o caso das radiações infravermelhas.

Os efeitos produzidos pelo calor condutivo são semelhantes aos produzidos pelo calor conversivo ou convectivo, diferenciando-se apenas pela profundidade de penetração (LEITÃO, 1979).

Em resposta ao calor local, os vasos superficiais sofrem uma dilatação, ocorrendo aumento do afluxo sanguíneo e aumentando o grau de condutibilidade dos tecidos. Em conseqüência, o calor se distribui por todo o corpo, operando-se uma diminuição do calor local, mas um aumento da temperatura geral (LEITÃO, 1979).

Assim, os efeitos do calor sobre a taxa metabólica, a inflamação e a dinâmica do sangue e dos fluídos são, em geral, opostos aos do frio. As aplicações de calor e de frio diminuem a dor e o espasmo muscular, alterando o limiar das terminações nervosas. Sistemáticamente, a aplicação local de calor resulta em aumento da temperatura corporal, da freqüência respiratória e de pulso, e na diminuição da pressão sanguínea. O uso do calor é indicado nos estágios inflamatórios subagudos e crônicos de uma lesão (STARKEY, 2001).

Os principais efeitos locais da aplicação de calor podem ser visualizados na Tabela 2.3.

Tabela 2.3 – Efeitos locais da aplicação de calor (STARKEY, 2001).

Vasodilatação
Aumento da taxa de metabolismo celular
Aumento da liberação de leucócitos
Aumento da permeabilidade capilar
Aumento da drenagem venosa e linfática
Diminuição de edema (inchaço)

Remoção dos resíduos metabólicos

Aumento da elasticidade dos ligamentos, cápsulas e músculos

Analgesia e sedação dos nervos

Redução do tônus muscular

Redução do espasmo muscular

Sua aplicação também é indicada para favorecer a cura dos tecidos, para reduzir edema e equimoses (mancha roxa na pele), para melhorar a amplitude de movimento antes da atividade física ou de reabilitação e para promover a drenagem de uma área infectada (STARKEY, 2001).

Nas Tabelas 2.4 e 2.5 são mostradas as principais indicações e contra-indicações gerais de tratamentos pelo uso do calor, respectivamente.

Tabela 2.4 – Indicações de tratamentos pelo calor (STARKEY, 2001).

Indicações

Quadros inflamatórios subagudos e crônicos

Redução da dor crônica ou subaguda

Espasmo muscular crônico ou subagudo

Redução da amplitude de movimento

Resolução de hematomas

Redução de contraturas articulares (dores na articulação)

Tabela 2.5 – Contra-indicações de tratamentos pelo calor (STARKEY, 2001).

Contra-indicações

Traumatismos agudos

Circulação insuficiente

Regulação térmica deficiente

Áreas anestésicas

Neoplasias (tumores)

Várias considerações devem ser feitas para se determinar qual temperatura deve ser utilizada no tratamento de traumatismos ortopédicos. O tratamento imediato das lesões envolve uso de gelo, compressão, elevação e repouso para limitar a área da lesão original. A aplicação de calor pode ser iniciada quando o processo inflamatório está no seu modo mais passivo. O aumento da temperatura acelera a velocidade de envio de sangue e nutrientes para os tecidos danificados. O aumento da pressão capilar força a saída do edema e dos metabólitos da área e a elevação da permeabilidade capilar estimula sua retirada da área. A dor diminui quando se reduz a pressão mecânica exercida sobre as terminações nervosas e quando há suprimento de oxigênio para os tecidos (STARKEY, 2001).

2.2 Efeito Joule

Em um condutor onde há ausência de uma diferença de potencial e os portadores de carga são elétrons livres, esses elétrons realizam movimento aleatório similar ao das moléculas de gás. Esse movimento aleatório é relacionado à temperatura do condutor. Os elétrons sofrem repetidas colisões com os átomos do metal e o resultado é um movimento complicado em “zigzague” (SERWAY e JEWETT JR., 2005).

Quando uma diferença de potencial é aplicada através do condutor, um campo elétrico é estabelecido. O campo elétrico exerce uma força elétrica sobre os elétrons, fazendo com que os mesmos sofram uma aceleração e então é produzida uma corrente elétrica. O movimento dos elétrons devido à força elétrica é sobreposto ao seu movimento aleatório para fornecer uma velocidade média cujo módulo é a velocidade de migração (SERWAY e JEWETT JR., 2005).

Assim, quando os elétrons da corrente elétrica colidem com os átomos do condutor durante seu movimento, uma parte da energia cinética é transferida para os átomos, e se adiciona à energia interna do sistema. Essa

transferência de energia causa um aumento na energia vibracional dos átomos e um aumento correspondente na temperatura do condutor (SERWAY e JEWETT JR., 2005).

Essa conversão de energia elétrica em energia térmica é conhecida como efeito Joule. Foi descoberta por James Prescott Joule (1818 - 1889) no decurso de suas experiências sobre o equivalente mecânico da caloria (NUSSENZVEIG, 2003).

Para transportar uma carga ΔQ através de uma diferença de potencial V , onde $V = V_1 - V_2$, em um condutor de comprimento ΔL , por exemplo, de um eletrodo ao outro em uma bateria, é preciso fornecer-lhe uma energia $(\Delta Q)V$ (NUSSENZVEIG, 2003).

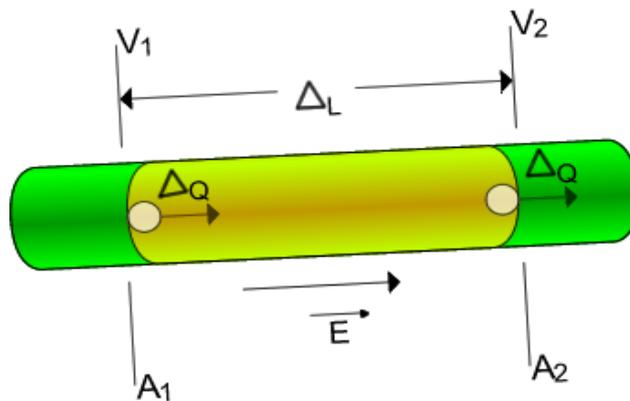


Figura 2.2 – Energia potencial em um condutor (Autor).

A energia potencial dissipada neste comprimento de condutor é mostrada na Equação a seguir (TIPLER, 2000):

$$-\Delta U = (\Delta Q)V \quad (2.1)$$

A taxa de dissipação da energia é ilustrada na Equação 2.2, em que $i = \Delta Q/\Delta t$, corresponde a corrente elétrica (TIPLER, 2000).

$$- \frac{\Delta U}{\Delta t} = \frac{\Delta Q}{\Delta t} V = iV \quad (2.2)$$

A dissipação de energia por unidade de tempo é a potência P dissipada no segmento do condutor, sendo mostrada na Equação abaixo (TIPLER, 2000).

$$P = iV \quad (2.3)$$

A unidade de potência utilizada é o volt · ampère, que é equivalente ao watt pela utilização das definições de volt (joule/coulomb) e ampère (coulomb/segundo) (HALLIDAY ET AL., 2004).

A Equação 2.3 vale para qualquer elemento em um circuito elétrico. A perda de potência é o produto entre a diminuição da energia potencial e a corrente elétrica. Deste modo, em um condutor, esta potência aparece como energia térmica (TIPLER, 2000).

Como $V = iR$ ou $i = V/R$, em termos da resistência R do condutor, a Equação 2.3 pode ser escrita da seguinte maneira (NUSSENZVEIG, 2003):

$$P = iV = i^2 R = \frac{V^2}{R} \quad (2.4)$$

Como dito anteriormente, quando há um campo elétrico no interior de um condutor, os elétrons livres são acelerados durante um pequeno intervalo de tempo fazendo com que o “gás de elétrons” adquira energia cinética, sendo posteriormente convertida em energia térmica, devido às colisões entre os elétrons e os íons da rede do condutor (TIPLER, 2000).

No presente protótipo, esse fenômeno ocorre na resistência utilizada a partir de sua interação com o kit PICLAB. Tais componentes e o restante do hardware são descritos no capítulo a seguir.

3 DESCRIÇÃO DO HARDWARE

O hardware utilizado para construção do protótipo do presente projeto é composto por:

- um kit didático PICLAB;
- uma resistência (mergulhão);
- uma bolsa térmica convencional.

3.1 Kit PICLAB

O kit PICLAB é um kit didático utilizado para o desenvolvimento de projetos eletrônicos microcontrolados, o qual possui vários componentes eletrônicos integrados, facilitando os projetos utilizando microcontroladores, bem como o seu aprendizado. O kit é a unidade central de processamento deste protótipo e pode ser visualizado na Figura 3.1.

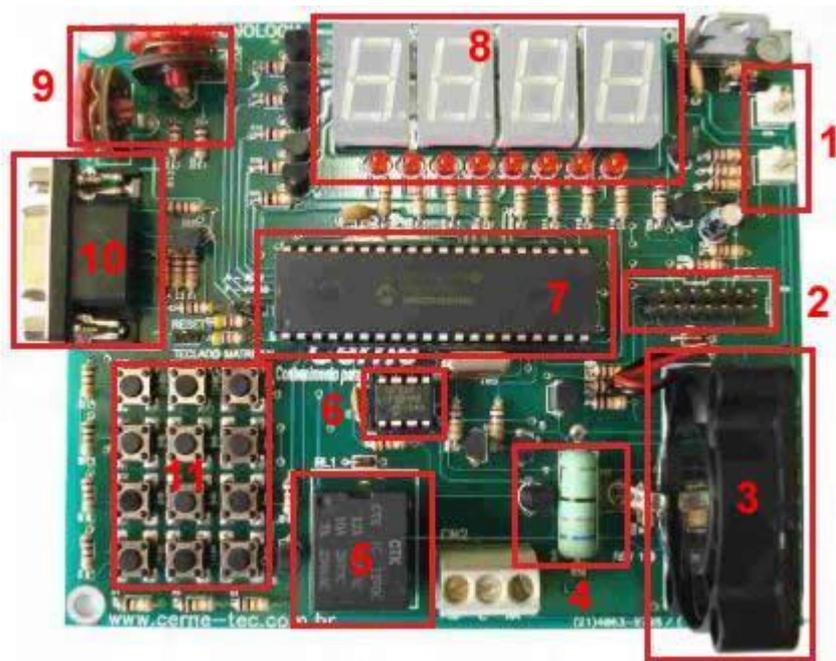


Figura 3.1 – Kit de desenvolvimento PICLAB (Autor).

O PICLAB é composto pelos seguintes componentes:

- 1 – Conector para fonte de alimentação e *beep*;
- 2 – Conector para o *display de LCD*;
- 3 – Ventilador do sistema;
- 4 – Aquecedor do sistema e sensor de temperatura LM35;
- 5 – Relé;
- 6 – Memória serial;
- 7 – Microcontrolador PIC 16F877A;
- 8 – 4 displays de 7 segmentos e 8 leds;
- 9 – Trimpots para medição de tensão;
- 10 – Conector para comunicação serial RS-232 e gravação In-Circuit ;
- 11 – 12 chaves tipo push-button (botões).

Contudo, somente são utilizados neste projeto os componentes a seguir: Fonte de alimentação de 12V, comunicação serial RS-232, relé, microcontrolador PIC 16F877A, sensor de temperatura LM35 e *display de LCD*, que também vem embutido no kit.

O microcontrolador utilizado no kit é o PIC 16F877A, que contém funções importantes frequentemente utilizadas em projetos eletrônicos envolvendo microcontroladores. Este microcontrolador funciona com um clock de até 20MHz, porém a placa vem equipada com ressonador de 4MHz.

Dentre os vários componentes do kit e funções citados anteriormente, pode-se destacar o relé. Este foi o componente utilizado para o acionamento da resistência (elemento de aquecimento da bolsa térmica). Quando acionado, este dispositivo proporciona a passagem de corrente elétrica através da resistência.

O pino à qual o relé está conectado é o RB0, e o acionamento é feito quando este pino é levado a nível lógico 1. Este componente é mostrado na Figura 3.2.

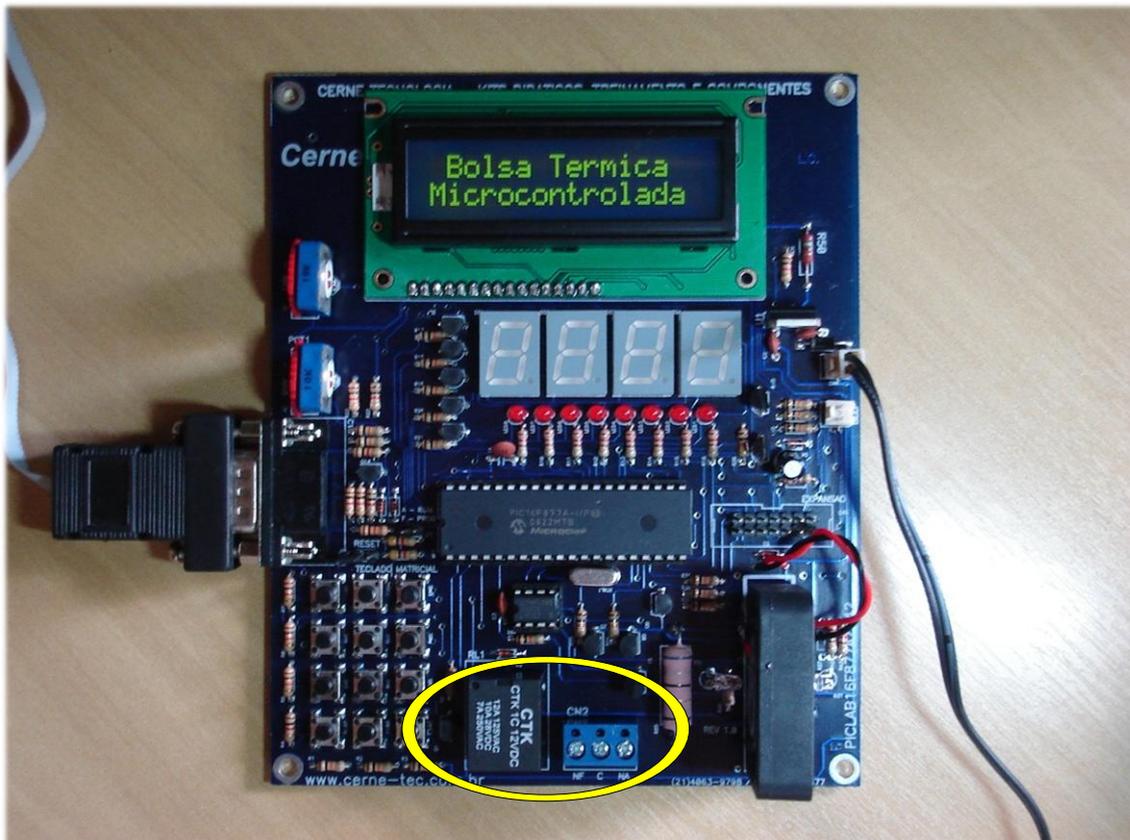


Figura 3.2 – Relé do kit PICLAB16F877A (Autor).

O sensor de temperatura utilizado no projeto foi o LM35, usado para medir a temperatura da bolsa térmica. Ligado a uma entrada analógica do PIC na porta RA3, o sensor está em destaque na Figura 3.3.

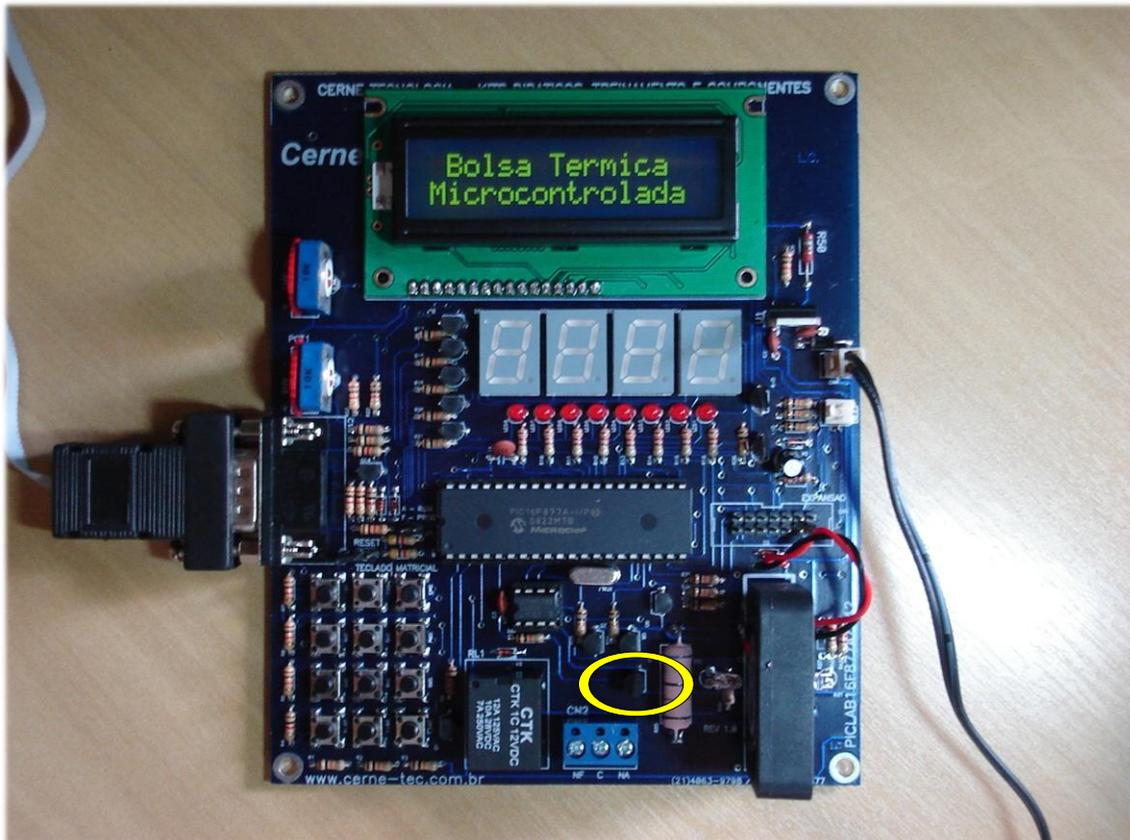


Figura 3.3 – LM35 ligado à entrada analógica do PIC (Autor).

O LM35 é um sensor de temperatura preciso de circuito integrado, cuja tensão de saída é linearmente proporcional à escala Celsius de temperatura. Este sensor é capaz de operar dentro de uma faixa de temperatura que vai de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$. A impedância de saída baixa do LM35, além de uma saída linear e uma medição precisa, faz com que a leitura de sua interface ou o circuito de controle deste sensor se torne bastante fácil.

Os principais recursos do sensor de temperatura LM35 são:

- Medição na escala de temperatura Celsius;
- Fator linear de escala correspondente a $+10.0\text{ mV}/^{\circ}\text{C}$;
- Modo de operação dentro de uma faixa de -55°C a $+150^{\circ}\text{C}$;
- Adequado para aplicações remotas;
- Funcionamento de 4V a 30V;
- Baixa impedância de saída.

pastilha, como por exemplo, a quantidade de portas de entrada/saída, conversores analógico-digitais e PWM (SOUZA e LAVINIA, 2005).

A estrutura de máquina interna dos microcontroladores da família PIC é do tipo Harvard, onde existem dois barramentos internos: um de dados e outro de instruções. Para o PIC o barramento de dados é de 8bits e o de instrução podem ser de 12, 14 ou 16 bits. Essa característica lhe confere maior velocidade, pois, assim, uma instrução pode ser executada enquanto a outra seja resgatada na memória (SOUZA e LAVINIA, 2005).

O microcontrolador PIC é fabricado pela empresa *Microchip Technology*. Dentre os modelos disponíveis está o PIC 16F877A, o qual utiliza a arquitetura RISC, *Reduced Instruction Set Computer* ou Computadores com Conjunto de Instruções Reduzidas, o que permite que este modelo tenha um set de instruções menor (ZANCO, 2005).

As principais características do PIC 16F877A são (SOUZA e LAVINIA, 2005):

- Possui 40 pinos.;
- Frequência de operação de até 20MHz;
- Memória flash de programa de 8kwords;
- Memória RAM de 368 bytes;
- Memória EEPROM de 256 bytes;
- 15 interrupções disponíveis;
- 5 conjuntos de portas de E/S totalizando 33 portas;
- Três timers (1 de 16 bits e 2 de 8 bits);
- Dois módulos CCP: Capture, Compare e PWM;
- 35 instruções básicas;
- Conversor A/D (analógico-digital) de 10 bits.

Para fins deste trabalho, o microcontrolador tem a função de receber a informação originária do sensor de temperatura, interpretar tal informação através de sua programação e a partir daí, controlar o relé que se encontra em sua saída.

3.2.1 Conversor A/D

Dentre os diversos periféricos que o PIC 16F877A possui, o conversor A/D (Analógico/Digital) de 10 bits é de suma importância para o desenvolvimento deste projeto, pois o mesmo faz a conversão da tensão analógica de entrada medida pelo sensor de temperatura para um valor digital. Esta tensão analógica de entrada é proporcional a temperatura medida, sendo o valor digital convertido equivalente a mesma temperatura. O funcionamento do conversor A/D acontece da seguinte maneira:

O menor passo ou resolução do sinal analógico é dado diretamente pelo seu número de bits, sendo expresso pela Equação 3.1, onde V_{ref} é uma tensão de referência e n é o número de bits do conversor (SOUZA e LAVINIA, 2005).

$$Resolução = \frac{V_{ref}}{2^n} \quad (3.1)$$

Cada um dos n bits que compõem a informação digital representa uma parcela do valor da tensão analógica a ser convertida, de forma que a soma de todas as contribuições de cada um dos n bits forma a tensão de entrada do conversor A/D. Assim, a parcela de tensão proporcional ao bit m do conversor é mostrada na Equação a seguir (SOUZA e LAVINIA, 2005):

$$V_{entrada} = \frac{b_m 2^{(m-1)}}{2^n} V_{ref} \quad (3.2)$$

Onde b_m é o valor do bit m , ou seja, 0 ou 1. Apenas os bits em 1 representam algum valor em termos de tensão analógica. Portanto, quanto maior a quantidade de bits, maior a resolução e a precisão do conversor.

O sistema de conversão que o PIC16F877A utiliza chama-se conversor de aproximação sucessiva. Neste tipo de conversor, a conversão é realizada do bit mais significativo, que representa a metade da tensão de referência, para o menos significativo. Desta forma, é possível saber se a tensão de entrada é maior ou menor que a metade da tensão de referência. Conhecido o bit mais significativo, passa-se ao próximo bit, que representa a metade da metade da tensão de referência (SOUZA e LAVINIA, 2005).

Esta forma de conversão é bastante ágil, pois para um conversor de n bits são necessárias n interações, independente do valor a ser convertido (SOUZA e LAVINIA, 2005).

3.3 Resistência

O elemento de aquecimento da bolsa térmica, utilizado neste projeto, foi o popularmente conhecido “mergulhão”. O mesmo têm a função de elevar a temperatura da água da bolsa térmica e pode ser visto na Figura 3.5.

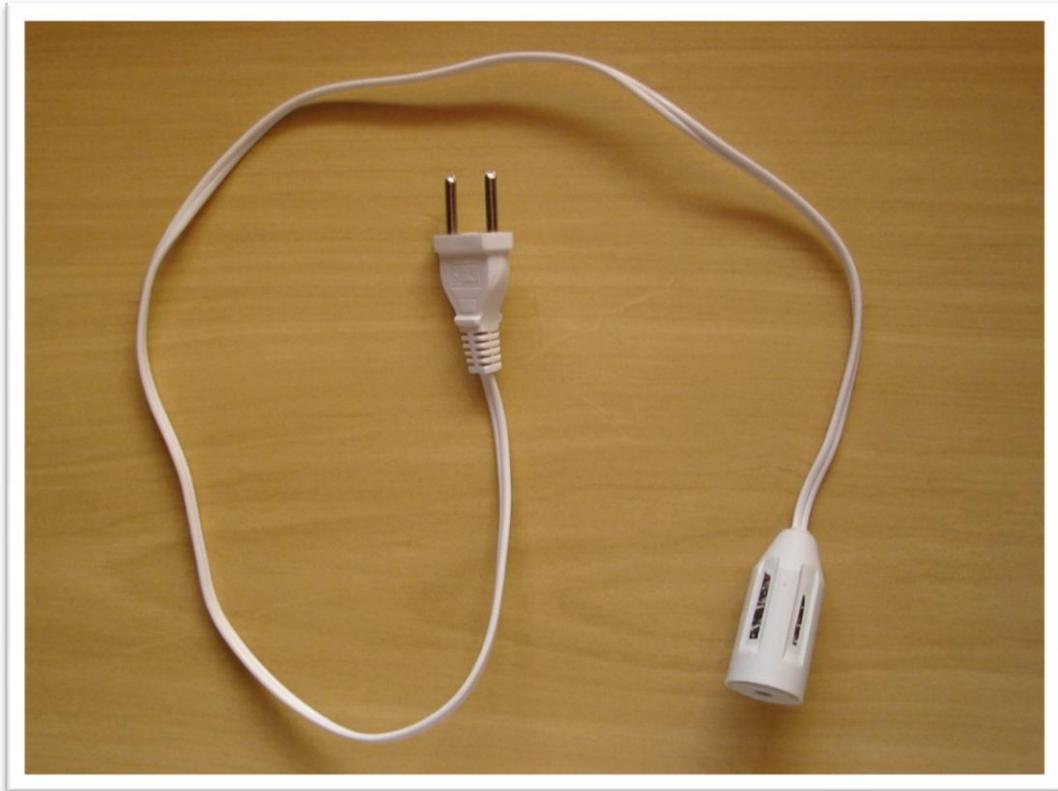


Figura 3.5 – Resistência (mergulhão) (Autor).

A resistência utilizada possui tensão de 220V (Volts), corrente elétrica de 3A (Ampères) e potência de 600W (Watts). Seu fabricante é a empresa “Q ÚTIL”.

De fácil acesso e baixo custo, o mergulhão é muito usado principalmente na região Sul do país, onde também é apelidado de “rabo quente”.

3.4 Bolsa Térmica

A bolsa utilizada no desenvolvimento do protótipo é, na verdade, uma bolsa térmica convencional. É facilmente encontrada em farmácias e possui um custo relativamente baixo, correspondente a R\$ 15,00. Seu fabricante é a empresa “Mercur”. A mesma pode ser visualizada na Figura 3.6.



Figura 3.6 – Bolsa térmica convencional (Autor).

Usada como recipiente para água quente quando se busca a aplicação de calor, a bolsa térmica tem a finalidade de tratar diferentes problemas de saúde, sendo estes provenientes de causa externa ou interna.

Têm sua função original no presente projeto sendo que internamente, encontra-se inserido a resistência, e externamente, encontra-se fixado o sensor de temperatura e o termômetro digital.

4 IMPLEMENTAÇÃO

4.1 Protótipo

O protótipo desenvolvido é um sistema em que é feito primeiramente a medição, seguido de uma avaliação, e posteriormente, manutenção da temperatura da bolsa térmica variando entre uma faixa preestabelecida.

Para medir a temperatura da bolsa, foi utilizado um sensor de temperatura LM35. O sensor encontra-se ligado em +5V pela saída de tensão do kit. Utilizando o conversor analógico/digital do PIC, o sinal enviado pelo LM35 é convertido para digital. Para fazer a conversão foi utilizado o máximo de bits de resolução que o microcontrolador PIC 16F877A suporta, ou seja, um total de 10 bits, pois desta maneira, a medição do sensor ocorre da forma mais precisa possível.

Este sensor como foi citado no capítulo 3, é ligado a uma entrada analógica do microcontrolador. Para fins de implementação deste projeto, foi feito uma extensão do sensor de temperatura, como mostra a Figura 4.1, que originalmente encontrava-se soldado na placa do kit PICLAB. Deste modo, foi possível fixá-lo junto à bolsa, possibilitando a medição da temperatura.

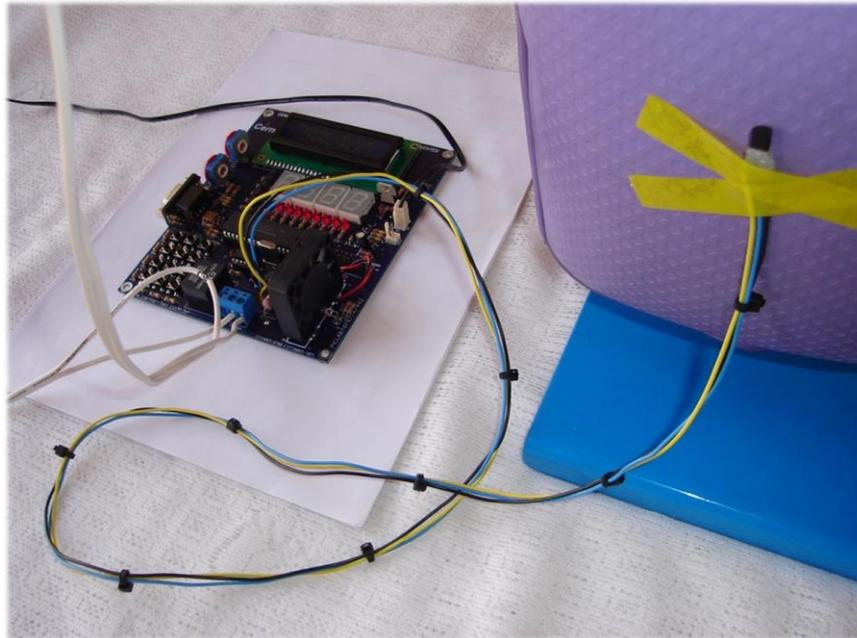


Figura 4.1 – Sensor de temperatura estendido e fixado à bolsa (Autor).

O tipo e modelo da resistência escolhida devem-se ao fato de suas pequenas dimensões quando comparado a outros mergulhões existentes no mercado, visando, portanto, a facilidade de manuseio e inserção dentro da bolsa térmica. Para a devida alocação do mergulhão totalmente no interior da bolsa, foi feito um alongamento no bocal da mesma. Na Figura 4.2 é mostrada com detalhe a inserção do mergulhão na bolsa térmica.



Figura 4.2 – Inserção do mergulhão na bolsa térmica (Autor).

Além da resistência, o relé é o elemento atuador deste protótipo e seu modo de operação é bem simples. Quando o pino ao qual está conectado no microcontrolador é levado a nível lógico 1, através de programação, o relé é acionado. Quando este mesmo pino é levado a nível lógico 0, o relé é desligado.

Assim, para que o circuito se mantenha fechado quando o relé for levado ao nível lógico 1, a resistência foi conectada na saída NA (normalmente aberto) e C (comum) do relé, conforme a Figura 4.3. No momento em que o microcontrolador envia as informações para o acionamento do relé, a saída NA passa a ficar NF (normalmente fechado), fechando o circuito e possibilitando a passagem de corrente para a resistência.

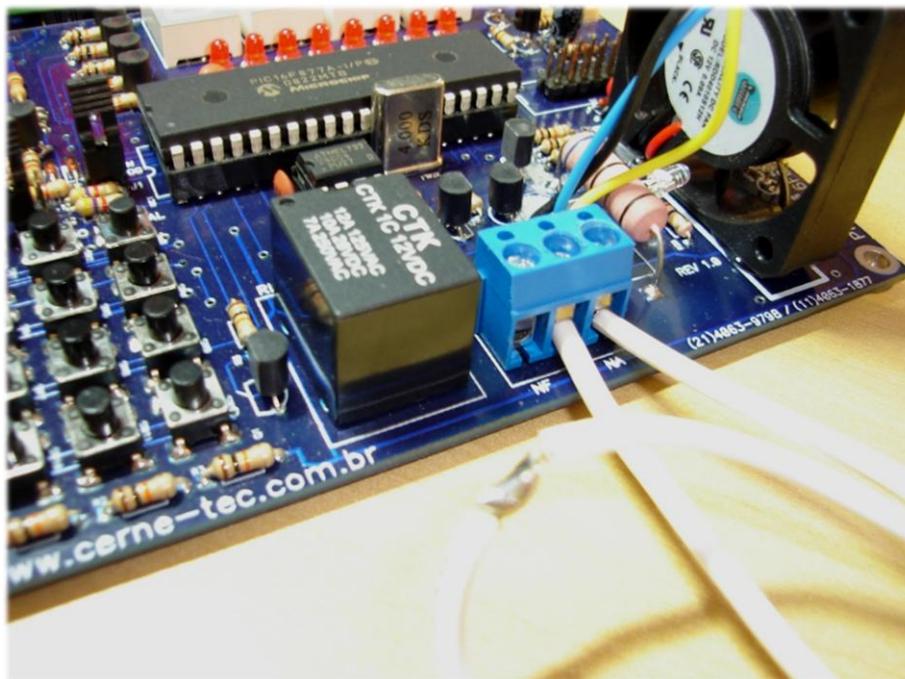


Figura 4.3 – Resistência conectada na saída NA e C do relé (Autor).

Para facilitar a demonstração do funcionamento do protótipo, foi utilizado um suporte para que a bolsa seja mantida na posição vertical, como pode ser visto na Figura 4.4.

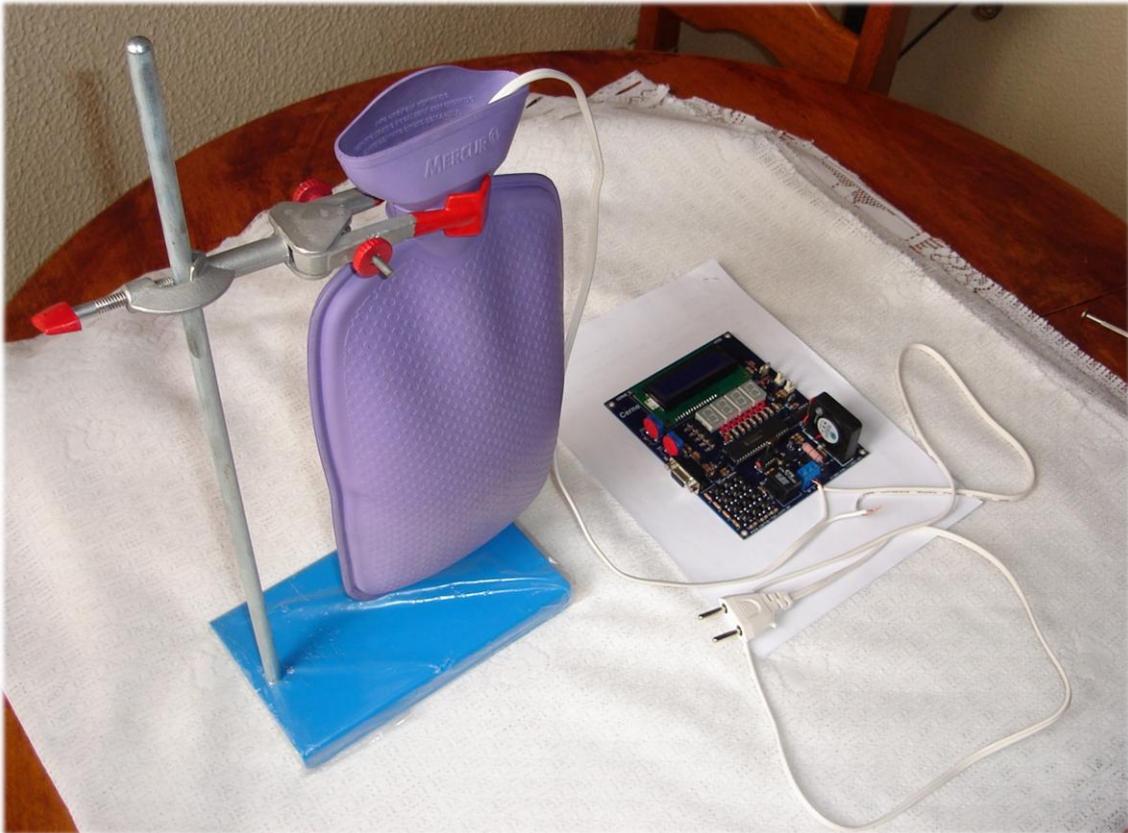


Figura 4.4 – Suporte firmando a bolsa na posição vertical (Autor).

O LCD (*Display Liquid Cristal*), já incluso no kit PICLAB, é utilizado para visualização da temperatura da bolsa térmica, de acordo com o sinal enviado pelo sensor de temperatura. Sendo assim, os respectivos valores são mostrados na escala *Celsius*, variando entre 40°C e 45°C.

4.2 Programação do Kit PICLAB

O código-fonte do kit PICLAB foi desenvolvido no compilador *PIC C Compiler* da CCS. Foi utilizada a linguagem de programação C para o desenvolvimento do mesmo, pois além de sua praticidade, esta linguagem possui ampla gama de funções e manipulação de variáveis.

Com a programação devidamente concluída, foi feito a compilação do programa, onde o compilador transforma o código em um arquivo de instruções sequenciais de extensão *.HEX. Na Figura 4.5 é mostrado o processo de compilação do programa desenvolvido.

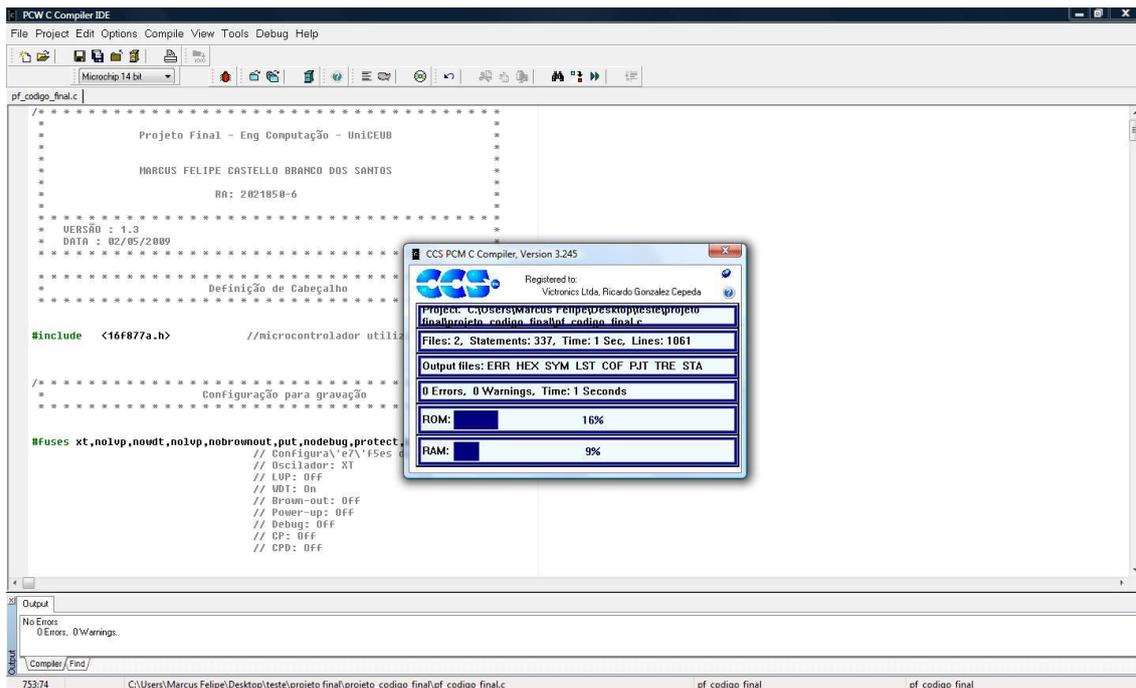


Figura 4.5 – Compilação do software controlador do relé (Autor).

Feito isso, é preciso gravar o programa na memória do PIC. O aplicativo gravador utilizado para realizar este processo foi o *WinPic 800*. A seguir, na Figura 4.6 é ilustrada a gravação do código-fonte em formato hexadecimal na memória do microcontrolador.

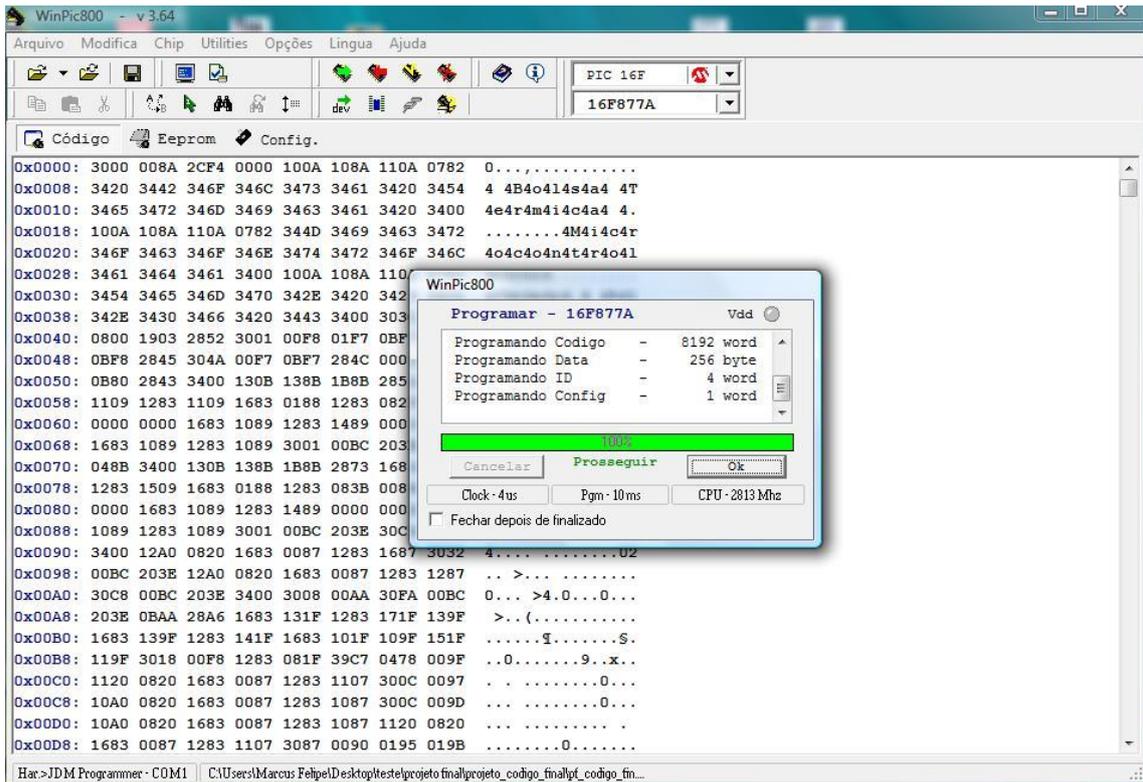


Figura 4.6 – Gravação do código na memória do PIC (Autor).

O software controlador do relé desenvolvido para a bolsa térmica microcontrolada, cujo código-fonte é mostrado no apêndice A, obedece ao fluxograma mostrado na Figura 4.7.

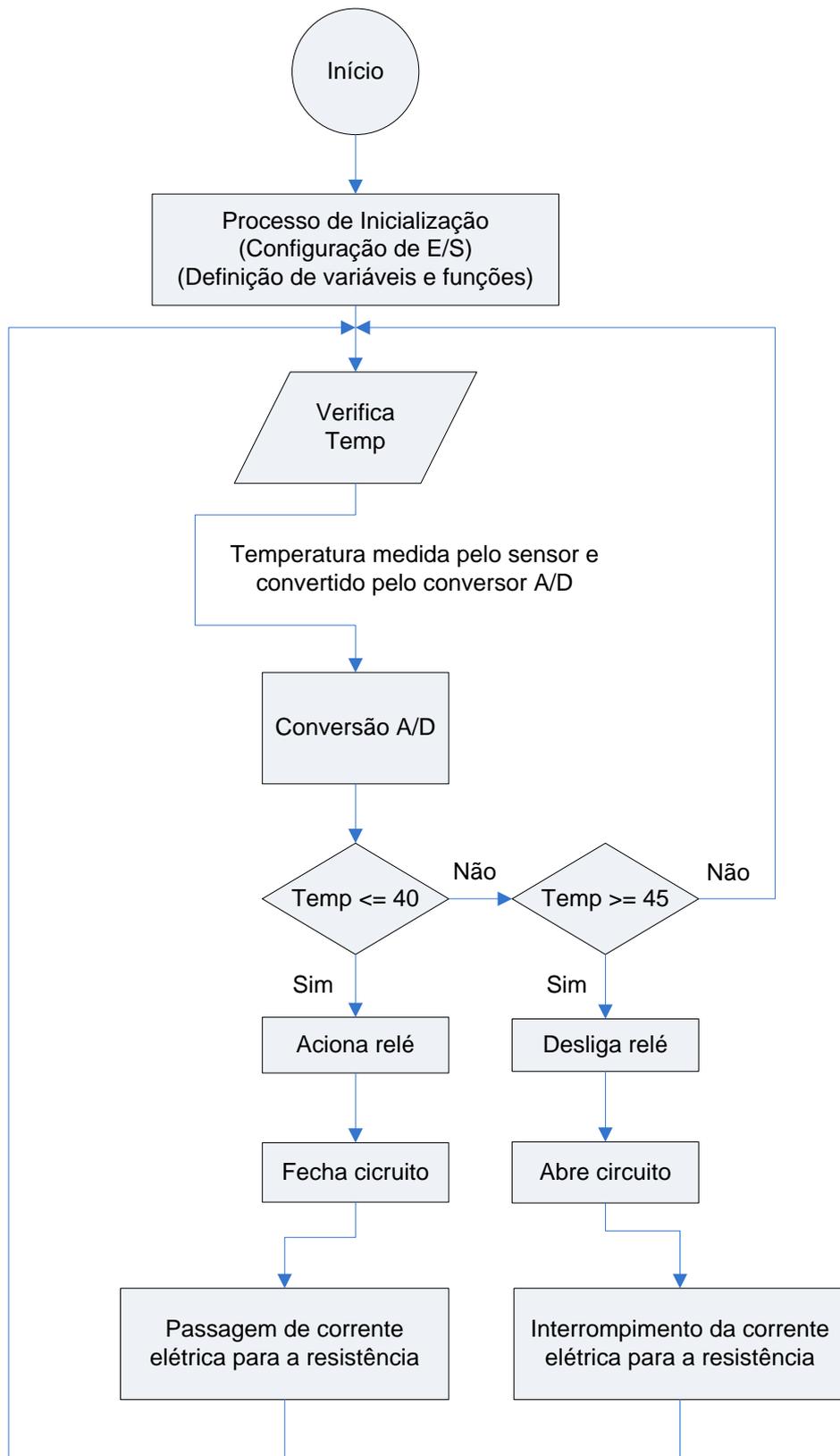


Figura 4.7 - Fluxograma do software controlador do relé (Autor).

O fluxograma resume a idéia geral do programa controlador do relé. O código funciona da maneira mais simples possível e faz jus aos objetivos fixados na proposta inicial deste projeto.

Primeiramente são estabelecidas as configurações para gravação no microcontrolador. Depois é feita a definição e inicialização das variáveis e constantes internas. As entradas e saídas são configuradas e, em seguida, é realizada a definição das funções utilizadas no programa. O PIC é inicializado ao ligar-se a bolsa térmica e então se inicia a rotina principal.

4.3 Funcionamento do Protótipo

Com os equipamentos adequados em mãos, é necessário fazê-los interagir. Para que este conjunto mantenha a temperatura da bolsa variando entre a faixa predeterminada, o papel do microcontrolador é de fundamental importância, pois o mesmo é a central lógica e de controle do protótipo. O PIC estabelece e comanda todos os recursos necessários para o funcionamento adequado do protótipo, de acordo com a programação inserida em sua memória.

O programa desenvolvido permite que o microcontrolador comande o funcionamento do relé, através do sinal de entrada medido pelo sensor de temperatura. Este sinal, ao término da realização da conversão para digital, é mostrado no *display de LCD* continuamente. A partir do sinal final convertido, a condição para o acionamento ou desligamento do relé é estabelecida.

Deste modo, quando a temperatura da bolsa registrada pelo sensor for menor ou igual a 40°C, o relé é acionado e então o circuito é fechado, fazendo com que haja a passagem de corrente elétrica para a resistência. A temperatura da água e conseqüentemente da bolsa térmica são elevadas.

Na Figura 4.8 é ilustrada a temperatura registrada da bolsa, mostrada no display de cristal líquido, ocasionando o acionamento do relé.

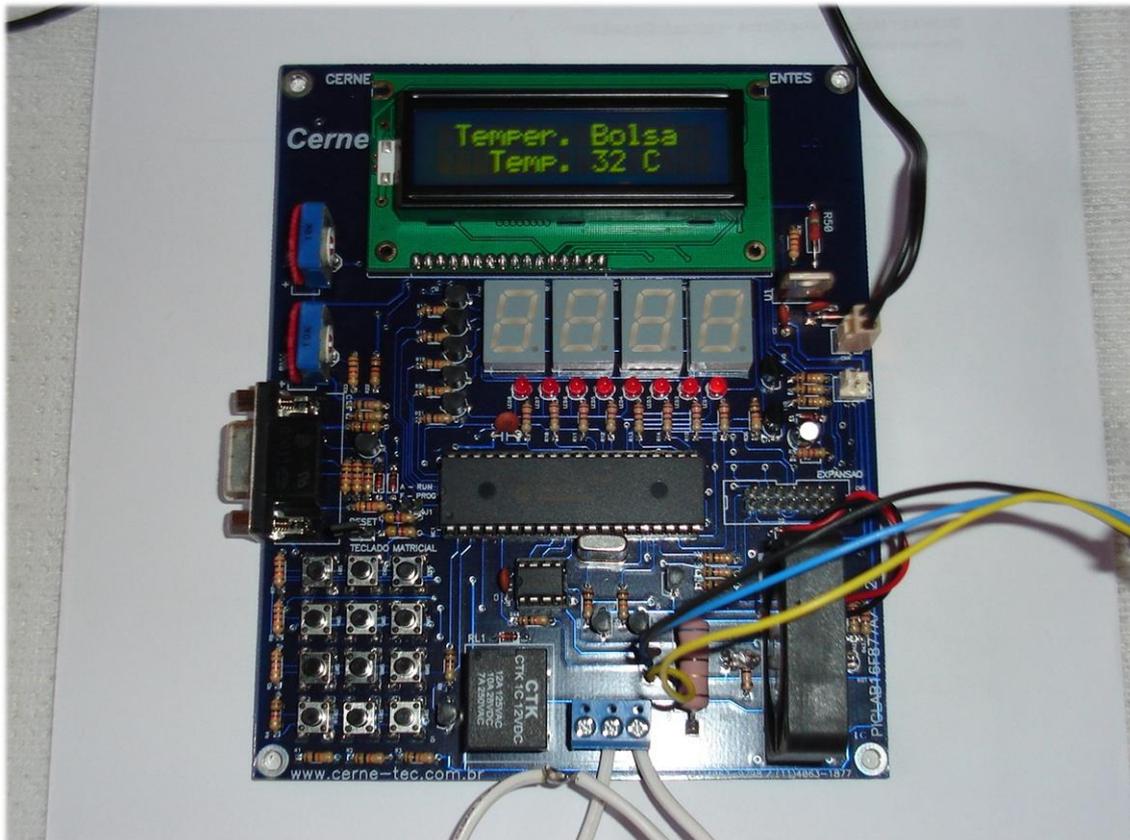


Figura 4.8 – Relé ligado quando a temperatura registrada for menor ou igual a 40°C (Autor).

Por outro lado, quando a temperatura registrada for maior ou igual a 45°C, o relé é desligado, ocasionando a abertura do circuito e o interrompimento da corrente elétrica para a resistência. Assim, a temperatura da água e da bolsa são diminuídas. Este processo pode ser visualizado a seguir na Figura 4.9.

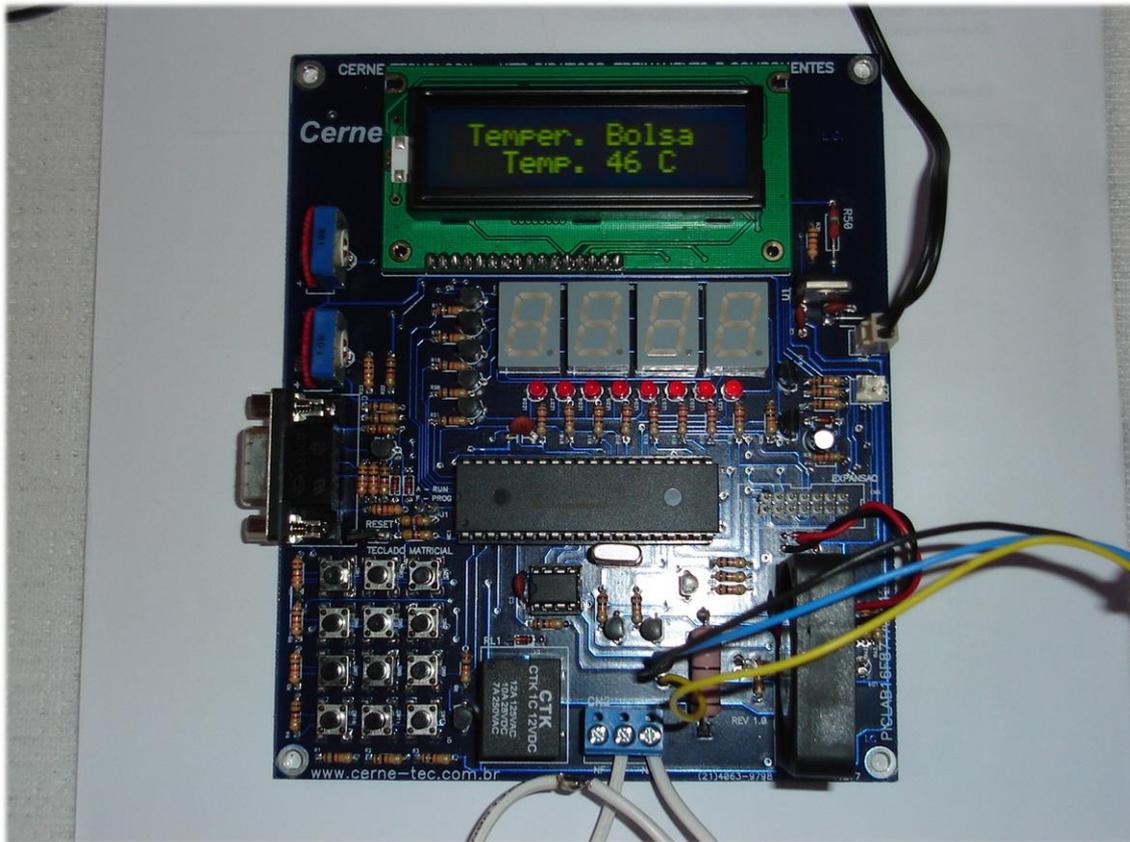


Figura 4.9 – Relé desligado quando a temperatura registrada for maior ou igual a 45°C (Autor).

Este procedimento é repetido infinitamente, a partir do momento em que o protótipo é ligado na corrente elétrica, permanecendo ativo pelo período de tempo em que o usuário desejar e, mantendo desta maneira, a temperatura da bolsa variando entre 40°C e 45°C.

Podem ocorrer picos de variação da temperatura, não constantes, de 5°C, tanto para mais quanto para menos, sendo que essa variação não ultrapassa esses limites. Essa variação ocorre de acordo com a evolução da temperatura do sistema, aquecimento (relé acionado), ou seja, tende a variar para mais, e queda da temperatura (relé desligado), tende a variar para menos.

Na Figura 4.10 é mostrado o protótipo montado e funcionando com a devida localização dos recursos implementados.

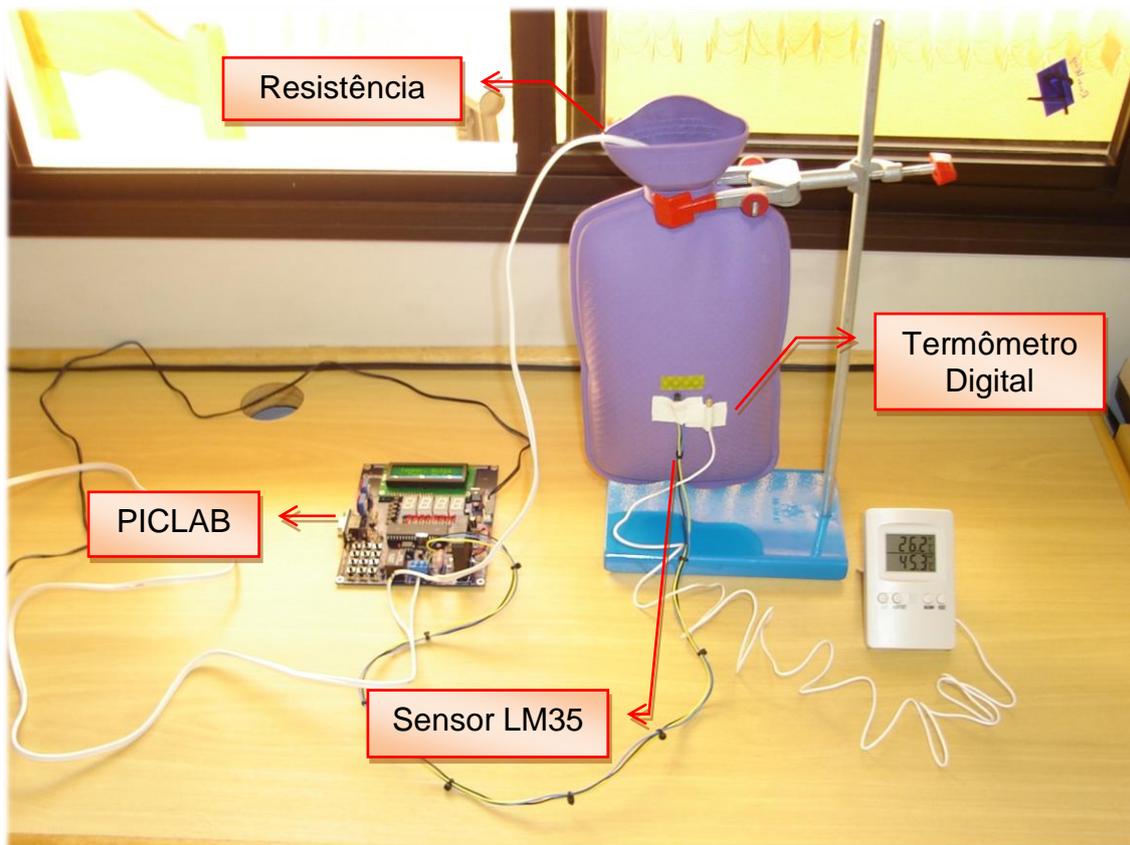


Figura 4.10 – Protótipo montado e funcionando com a localização dos recursos implementados (Autor).

4.4 Dificuldades

As principais dificuldades encontradas neste projeto foram:

- erros de compilação devido à escolha inicial do compilador;
- dificuldades na programação do código;
- posicionamento da bolsa para os devidos testes e demonstração do protótipo.

Durante o desenvolvimento do código-fonte do microcontrolador, ocorreram diversos de erros de compilação, impossibilitando que fosse gerado o arquivo hexadecimal para gravação na memória do PIC. Por isso, o

compilador inicialmente adotado, *MikroC*, foi substituído pelo *PIC C Compiler*, solucionando os erros de compilação aparentemente sem explicações.

Além dos erros de compilação, a programação do software controlador do relé gerou bastante dificuldade. A função *Sensor_Rele*, que se pode ser visto no apêndice A deste trabalho, é a parte principal do código e o responsável pela medição da temperatura e controle do relé. Surgiram problemas para estabelecer a condição de funcionamento do relé a partir do valor A/D convertido. A solução encontrada pelo autor foi atribuir esse valor A/D a uma variável chamada *temp*. Com isso, a condição de acionamento e desligamento do relé foi realizada com sucesso.

Outro problema encontrado foi em relação à montagem do protótipo. Para uma melhor aplicação de testes e demonstração do funcionamento para a banca examinadora, tinha-se a necessidade de manter a bolsa firmemente na posição vertical. A solução encontrada foi adotar o uso de um suporte para que essa condição fosse estabelecida. Como mostrado no item 4.1 deste capítulo, o suporte proporciona uma posição estável e firme, evitando contato direto com a pele e possíveis queimaduras.

5 TESTES E RESULTADOS

Após a montagem do protótipo a partir do hardware especificado, possibilitando a medição da temperatura da bolsa e o devido controle adequado do relé, iniciaram-se os testes, levando-se em conta os objetivos inicialmente propostos.

No primeiro teste realizado foi observado que a temperatura da bolsa após 10 minutos de espera ficou acima do estipulado, atingindo a eficiência quanto ao controle da temperatura, dentro da faixa preestabelecida, somente após aproximadamente 15 a 20 minutos de início do processo. Após esse período de tempo, o sistema se mostrou eficiente ao atingir o resultado esperado, mantendo a temperatura da bolsa entre 40°C e 45°C.

A demora no alcance da faixa esperada para a temperatura deu-se pela necessidade de se alcançar o equilíbrio térmico entre a bolsa e a água contida na mesma, onde as duas partes com temperaturas distintas, em contato térmico, após algum tempo, apresentam a mesma temperatura. Depois que o equilíbrio térmico entre a bolsa e a água foi atingido, o protótipo funcionou perfeitamente, atingindo os objetivos propostos.

Quando um corpo é aquecido ou resfriado, há alteração de algumas das suas propriedades físicas. A maior parte dos sólidos e dos líquidos expande-se ao ser aquecida. Uma propriedade física que se altera com a alteração da temperatura é denominada propriedade termométrica. Quando por exemplo, é colocada uma barra de cobre quente em contato com outra de ferro fria, de modo que a primeira se resfria e a segunda se aquece, pode-se dizer que há contato térmico entre as barras. A barra de cobre se contrai ligeiramente ao ser resfriar e a de ferro se dilata, também ligeiramente, ao se aquecer. Ao fim de um certo tempo, cessam as variações e os comprimentos das duas barras ficam constantes, ou seja, as propriedades termométricas não se alteram. Portanto, as duas barras estão, nestas circunstâncias, em equilíbrio térmico

uma com a outra. Este fenômeno é considerado como a antepimeira lei da termodinâmica (Tipler, 2000).

Além disso, foi observado que o protótipo alcança rapidamente uma faixa de temperatura que varia entre 45°C e 55°C, antes de atingir o equilíbrio térmico, como mostra a Figura 5.1. O microcontrolador se devidamente programado, poderia manter a temperatura da bolsa com estes índices, mas o objetivo deste projeto é controlar a temperatura dentro da faixa estabelecida pela literatura médica, a termoterapia, proporcionando melhor resposta ao tratamento pelo paciente.

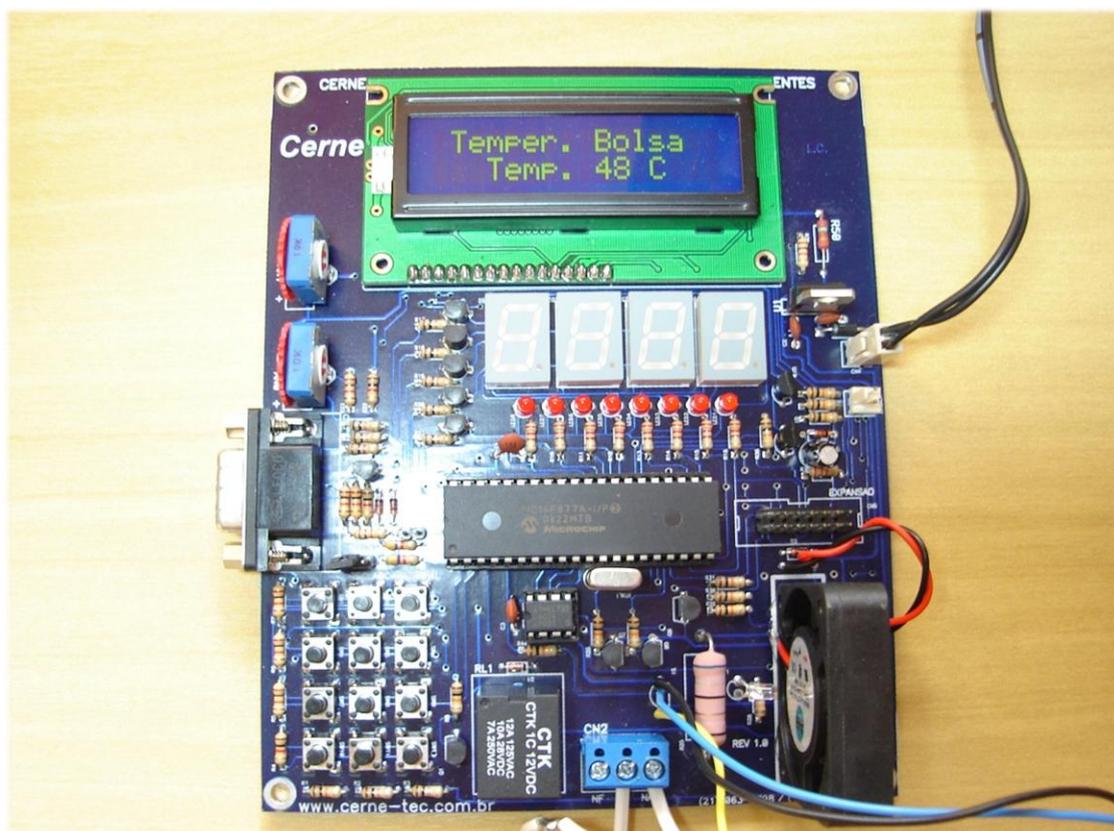


Figura 5.1 – Temperatura da bolsa acima de 45°C (Autor).

Todos os testes realizados para a busca do objetivo foram analisados de acordo com a proposta inicial do projeto e mostraram-se satisfatórios quanto ao controle da temperatura da bolsa térmica, dentro da faixa predeterminada, permitindo a utilização da bolsa térmica microcontrolada pelo usuário durante todo o tempo do tratamento, sem interrupção para reabastecimento da bolsa com água quente, obtendo melhor resposta e menor tempo para tratamentos termoterapêuticos.

A proposta inicial definiu a utilização de um termômetro digital para permitir a visualização da temperatura dentro da faixa estabelecida, o que também é possível através do display de LCD contido no kit PICLAB. O termômetro digital, em destaque na Figura 5.2, foi fixado junto à bolsa térmica para a devida medição, sendo a parte superior correspondente à temperatura ambiente e a parte inferior correspondente a temperatura medida pelo termômetro.



Figura 5.2 – Termômetro digital registrando temperatura da bolsa (Autor).

Pode ser visualizado abaixo, na Figura 5.3, o protótipo final da bolsa térmica microcontrolada.

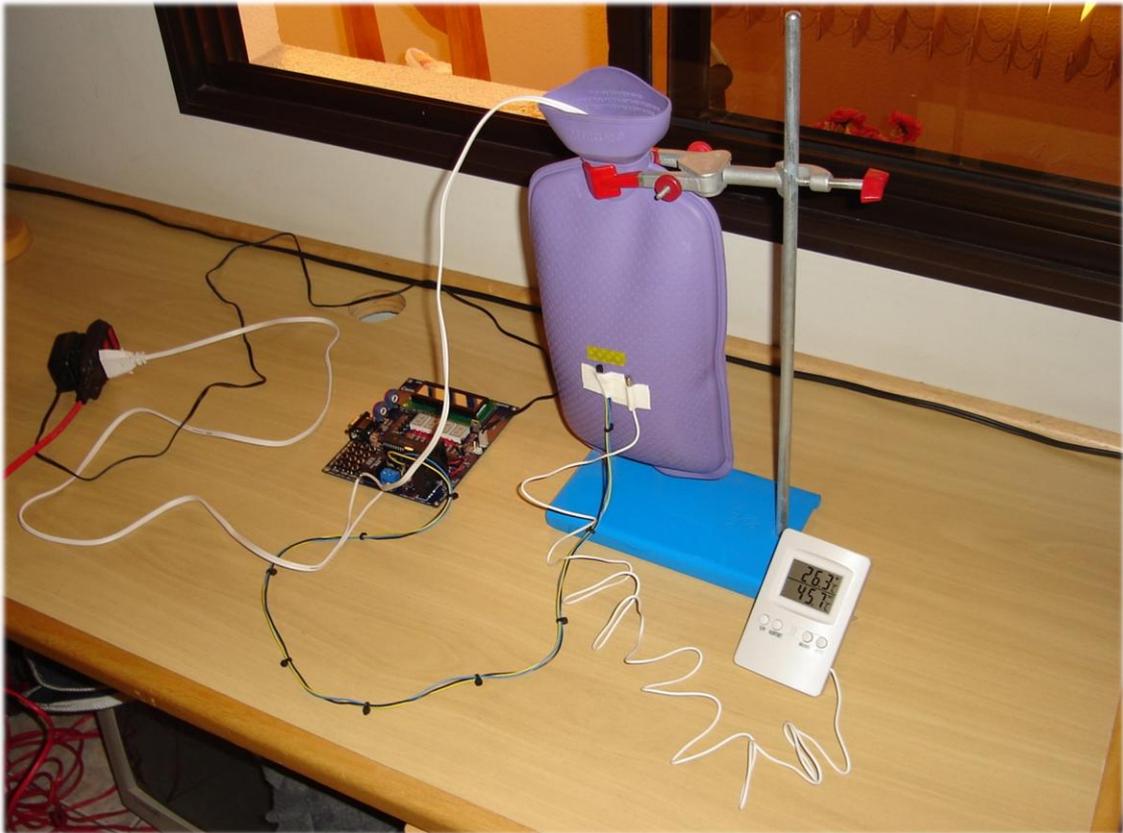


Figura 5.3 – Protótipo final (Autor).

6 CONCLUSÃO

Este projeto teve como finalidade o desenvolvimento e a construção de uma bolsa térmica microcontrolada, onde o protótipo mantém a temperatura da bolsa variando dentro de uma faixa predeterminada, estabelecida conforme literatura médica, a termoterapia, durante o período de tempo que o usuário desejar.

Com o exposto e o realizado, conclui-se que os objetivos foram atingidos com sucesso.

O protótipo desenvolvido é capaz de manter a temperatura da bolsa variando entre 40°C e 45°C, ocorrendo algumas vezes, picos de variação na temperatura, não constantes, de 5°C, tanto para mais quanto para menos.

O programa se comportou da maneira esperada, fazendo o controle correto do relé, a partir do sinal de entrada capturado e enviado pelo sensor de temperatura. O microcontrolador PIC analisou e interpretou corretamente a programação gravada em sua memória, fazendo com que o circuito fosse fechado, no momento em que o relé é acionado, na temperatura menor ou igual a 40°C medida pelo sensor, e aberto, no momento em que o relé é desligado, na temperatura maior ou igual 45°C.

A bolsa térmica construída é um projeto acadêmico, desenvolvida de forma artesanal, sem finalidades comerciais e por isso, necessita de ajustes para ser produzida em série. Entretanto espera-se que, de alguma maneira, este trabalho possa trazer benefícios para os usuários que necessitem da utilização de bolsa térmica.

6.1 Sugestões de Trabalhos Futuros

A bolsa térmica microcontrolada descrita neste projeto, apesar de completamente funcional e dentro dos objetivos propostos, aceita diversos aperfeiçoamentos.

Como proposta de trabalhos futuros, pode-se citar a melhoria deste protótipo através do acréscimo de um teclado numérico matricial, onde o usuário, caso deseje ou necessite de outras faixas de temperatura, poderá escolher a faixa de temperatura de operação da bolsa através do teclado numérico.

Além disso, pode-se acrescentar uma chave de três fases, contendo três faixas de temperaturas previamente programadas para a escolha do usuário.

Outra função interessante a ser acrescentada, seria possibilitar opções de *timer* para o sistema. Através de botões funcionais ou até mesmo uma chave de três fases, o usuário poderia escolher diferentes períodos de tempo para o desligamento automático da bolsa térmica.

Pode-se ainda desenvolver uma maneira para a vedação completa do bocal da bolsa, permitindo que não ocorra o vazamento de água e não necessitando da utilização do suporte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

HALLIDAY, David e RESNICK, Robert e KRANE, Kenneth S. Física 3. 5ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2004.

LEITÃO, Araújo. Fisiatria Clínica: Bases Físicas Fisiológicas e Terapêuticas. 1ª. Ed. Rio de Janeiro: Atheneu, 1979.

NUSSENZVEIG, H Moysés. Curso de Física Básica: Eletromagnetismo. 3ª. Ed. São Paulo: Edgard Blücher, 2003.

PEREIRA, Fábio. Microcontroladores PIC: Programação em C. 4ª. Ed. São Paulo: Érica, 2005.

SERWAY, Raymond A e JEWETT JR, John W. Princípios de Física: Eletromagnetismo. 3ª. Ed. São Paulo: Pioneira Thomson Learning, 2005.

SOUZA, David José e LAVINIA, Nicolás César. Conectando o PIC 16F877A: Recursos Avançados. 2ª. Ed. São Paulo: Érica, 2005.

STARKEY, Chad. Recursos Terapêuticos em Fisioterapia. 2ª. Ed. São Paulo: Manole, 2001.

TIPLER, Paul A. Física: Eletricidade e Magnetismo, Ótica. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

TIPLER, Paul A. Física: Mecânica, Oscilações e Ondas, Termodinâmica. 4ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000.

ZANCO, Wagner da Silva. Microcontroladores PIC 16F628A/648A: Uma Abordagem Prática e Objetiva. 1ª. Ed. São Paulo: Érica, 2005.

ZANCO, Wagner da Silva. Microcontroladores PIC 16F628A/648A: Uma Abordagem Prática e Objetiva. 2ª. Ed. São Paulo: Érica, 2006.

APÊNDICE A

Código do Microcontrolador

```
/* ****  
*  
*          Projeto Final - Eng Computação - UniCEUB  
*  
*  
*          MARCUS FELIPE CASTELLO BRANCO DOS SANTOS  
*  
*          RA: 2021850-6  
*  
* ****  
* VERSÃO : 1.3  
* DATA : 02/05/2009  
* ****  
*  
*          Definição de Cabeçalho  
* **** /  
  
#include <16f877a.h>          //microcontrolador utilizado  
#device adc=10                //resolução máxima do conversor A/D  
  
/* ****  
*          Configuração para gravação  
* **** /
```

```
#fuses xt,nolvp,nowdt,nolvp,nobrownout,put,nodebug,protect,nowrt,cpd
#use delay(clock=4000000) // Utiliza biblioteca de delay
#use rs232(baud=9600,xmit=pin_c6,rcv=pin_c7) // Configura Usart
#use i2c(master,sda=pin_c4, scl=pin_c3, SLOW, RESTART_WDT,
FORCE_HW) // Configura porta I2C
```

```
/* *****
*
*           Definição e inicialização das variáveis
*
* ***** */
```

```
//Aqui iremos definir as variáveis globais do sistema
```

```
int conversao_4,conversao_3,conversao_2,conversao_1,conversao_0;
```

```
/* *****
*
*           Constantes internas
*
* ***** */
```

```
//Aqui iremos definir as constantes utilizadas pelo sistema
```

```
#define ctrl_le    0b10100001 // byte de controle da memória p/ leitura
#define ctrl_escr  0b10100000 // byte de controle da memória p/ escrita
```

```
/* *****
*
*           Entradas
*
* ***** */
```

```
//Aqui iremos definir a entrada do sistema
```

```

#define SENSOR    PIN_A3
/* *****
*
*                               Saídas
*
* ***** /

//Aqui iremos definir as saídas do sistema

#define RS        PIN_E2    // Pino de seleção de modo do display LCD
#define EN        PIN_E1    // Pino de habilitação do display LCD
#define RELE      PIN_B0    // Rele

/* *****
*
*                               Prototipagem das Funções
*
* ***** /

//Aqui iremos declarar todas as funções definidas pelo usuário

void Inicializa(void);
void Tela_Inicial(void);
void Lcd_Inst(char dado);
void Lcd_Dado(char dado);
void le_ad(void);
void Sensor_Rele(void);

/* *****
*
*                               Rotina Principal
*
* ***** /

//Nessa parte ficará o loop principal do sistema

void main (void)
{
    char x;

```

```

Inicializa();          // Chama rotina para inicializar o sistema

lcd_inst(0x80);        // Atualiza a tela do LCD
printf(lcd_dado," Bolsa Termica ");
lcd_inst(0xC0);
printf(lcd_dado,"Microcontrolada");

delay_ms(4000);

Sensor_Rele();

Lcd_Inst(1);
delay_ms(1);

}

/* *****
*                               Inicialização do Sistema                               *
* ***** */

void Inicializa(void)
{

    delay_ms(2000);

    setup_adc(ADC_CLOCK_DIV_8);          // Configura clock da conversão
    setup_adc_ports(RA0_RA1_RA3_ANALOG); // Configura três entradas
como AD
    set_adc_channel(3);                  // Seleciona o canal 3 (Temperatura)

```

```

output_low(PIN_C1);
output_low(PIN_C2);          // Garante estado do port

Lcd_Inst(0x30);              // Inicializa o display
delay_ms(3);
Lcd_Inst(0x30);
Lcd_Inst(0x30);
Lcd_Inst(0x38);
Lcd_Inst(0x01);
delay_ms(1);
Lcd_Inst(0x0C);
Lcd_Inst(0x06);
Tela_Inicial();
}

/* *****
*                               Rotina para Apresentar a Tela Inicial                               *
* ***** */

void Tela_Inicial(void)
{

Lcd_Inst(0x80);              // Atualiza a tela do LCD
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado('P');
TocaBeep();
Lcd_Dado('r');
TocaBeep();
Lcd_Dado('o');
TocaBeep();
Lcd_Dado('j');
TocaBeep();
}

```

```

Lcd_Dado('e');
TocaBeep();
Lcd_Dado('t');
TocaBeep();
Lcd_Dado('o');
TocaBeep();
Lcd_Dado(' ');
TocaBeep();
Lcd_Dado('F');
TocaBeep();
Lcd_Dado('i');
TocaBeep();
Lcd_Dado('n');
TocaBeep();
Lcd_Dado('a');
TocaBeep();
Lcd_Dado('l');
TocaBeep();

delay_ms(1500);

Lcd_Inst(0xC0); // Atualiza a tela do LCD -> vai para linha de baixo
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado('M');
TocaBeep();
Lcd_Dado('a');
TocaBeep();
Lcd_Dado('r');
TocaBeep();
Lcd_Dado('c');
TocaBeep();
Lcd_Dado('u');
TocaBeep();
Lcd_Dado('s');

```

```

TocaBeep();
Lcd_Dado(' ');
TocaBeep();
Lcd_Dado('F');
TocaBeep();
Lcd_Dado('e');
TocaBeep();
Lcd_Dado('l');
TocaBeep();
Lcd_Dado('i');
TocaBeep();
Lcd_Dado('p');
TocaBeep();
Lcd_Dado('e');
TocaBeep();
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado(' ');
delay_ms(3000); //Aguarda 3 segundos

Lcd_Inst(0X01); //Limpa o display -> apaga tudo e começa a escrever a
partir daqui

delay_ms(100);
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado('U');
Lcd_Dado('n');
Lcd_Dado('i');
Lcd_Dado('C');
Lcd_Dado('E');
Lcd_Dado('U');
Lcd_Dado('B');
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado('F');
Lcd_Dado('A');

```

```

Lcd_Dado('T');
Lcd_Dado('E');
Lcd_Dado('C');
Lcd_Dado('S');
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado(' ');

delay_ms(2000);

Lcd_Inst(192); //Limpa o display

Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado('D');
Lcd_Dado('a');
Lcd_Dado('t');
Lcd_Dado('a');
Lcd_Dado(':');
Lcd_Dado(' ');
Lcd_Dado('1');
Lcd_Dado('5');
Lcd_Dado('/');
Lcd_Dado('0');
Lcd_Dado('5');
Lcd_Dado('/');
Lcd_Dado('0');
Lcd_Dado('9');
delay_ms(100);

delay_ms(3000);

}

```

```

/* *****
*
*           Rotina para escrever comandos no display
*
* *****
*/

```

```

void Lcd_Inst(char dado)
{
    disable_interrupts(GLOBAL);    // Desliga as interrupções
    output_low(RS);                // Põe pino de RS (seleção do lcd) em baixo,
modo comando
    output_d(dado);                // Põe o dado no portd
    delay_cycles(2);              // Aguarda 2 us, acomodação
    output_high(EN);              // Gera pulso de clock
    delay_cycles(2);
    output_low(EN);
    delay_ms(1);                  // Aguarda 1ms
    enable_interrupts(GLOBAL);    // Liga as interrupções
}

```

```

/* *****
*
*           Rotina para escrever dados no display
*
* *****
*/

```

```

void Lcd_Dado(char dado)
{
    disable_interrupts(GLOBAL);    // Desliga as interrupções
    output_high(RS);               // Seta o pino RS, modo dado
    output_d(dado);               // Põe o dado no portd
    delay_cycles(2);              // Aguarda 2us, acomodação
    output_high(EN);              // Gera pulso de clock
    delay_cycles(2);
}

```

```

output_low(EN);
delay_ms(1);          // Aguarda 1ms
enable_interrupts(GLOBAL); // Liga as interrupções
}

```

```

/* *****
 *           Rotina de interação do Rele e Sensor de temperatura           *
 * ***** /

```

```

void Sensor_Rele(void)
{
  int aux;
  float temp;
  delay_ms(1500);

  while(1)
  {

    Lcd_Inst(0X01); //limpa o display
    delay_ms(1);
    Lcd_Dado(' ');
    Lcd_Dado('T');
    Lcd_Dado('e');
    Lcd_Dado('m');
    Lcd_Dado('p');
    Lcd_Dado('e');
    Lcd_Dado('r');
    Lcd_Dado('.');
    Lcd_Dado(' ');
    Lcd_Dado('B');

```

```

    Lcd_Dado('o');
    Lcd_Dado('l');
    Lcd_Dado('s');
    Lcd_Dado('a');
    Lcd_Dado(' ');
    set_adc_channel(3);
    delay_ms(1);

    restart_wdt();
    Lcd_Inst(0xC3);
    temp= read_adc();
    temp*=2;
    printf(lcd_dado,"Temp. %1.0f C", temp);
    delay_ms(800);

    if (temp<=40)
    {
        output_high(RELE);
    }

    if (temp>=45)
    {
        output_low(RELE);
    }

}
}

/* *****
*
*                               Fim do Programa                               *
* ***** */

```

APÊNDICE B

Descrição detalhada da placa PICLAB

O kit é uma placa utilizada para o desenvolvimento de projetos microcontrolados, onde o mesmo contém vários componentes eletrônicos integrados, facilitando e tornando bastante eficiente o aprendizado.

O microcontrolador utilizado é PIC16F877A, que agrega em uma pequena pastilha, funções importantes comumente utilizadas em projetos eletrônicos.

C.1 Alimentação

A placa PICLAB funciona com uma fonte de alimentação de 12V estabilizada e com no mínimo 400mA de corrente.

C.2 Microcontrolador e Gravação In-Circuit

O microcontrolador utilizado como unidade central de processamento na PICLAB é o PIC16F877A, sendo que o mesmo funciona com um clock de até 20MHz, porém a placa vem equipada com um ressonador de 4MHz.

A placa possui também modo de gravação in-circuit, não necessitando o uso de um gravador externo para inserção da programação na memória do microcontrolador.

C.3 Botões

Estão disponíveis no PICLAB um conjunto de 12 botões, de modo que se possa utilizar os recursos existentes na placa. Existe um barramento de dados de 8 bits (PORTD) que é utilizado tanto pra o *display* de 7 segmentos, *leds*, *display de LCD* e as linhas do teclado. Desta maneira, este barramento fica multiplexado.

Na Tabela C.1, são mostrados as ligações entre os botões e os seus respectivos pinos do PIC16F877A.

Tabela C.1 – Ligações dos botões aos pinos do PIC.

Pino	Descrição
RA4	Coluna1
RA5	Coluna2
RE0	Coluna3
RD0	Linha1
RD1	Linha2
RD2	Linha3
RD3	Linha4

C.4 Leds

Para economia de pinos, os *leds* estão ligados junto ao barramento de dados da placa. Assim, o acesso aos *leds* é feito com um pino de habilitação para ler o barramento (SELLEDS) e outro que é o barramento propriamente dito (LEDS). Este processo de multiplexação garante a economia de pinos.

Pode ser visualizada na Tabela C.2, as ligações entre os *leds* e os pinos do microcontrolador PIC da placa em questão.

Tabela C.2 – Ligações dos *leds* aos pinos do microcontrolador.

Pino	Descrição
RB5	ENABLE (SELLEDS)
RD0	Led1
RD1	Led2
RD2	Led3
RD3	Led4
RD4	Led5
RD5	Led6
RD6	Led7
RD7	Led8

C.5 A/D

Os pinos RA0 (AN0) e RA1 (AN1) são utilizados como entradas analógicas no PIC. Para isto, existem dois trimpots fixos na placa (em destaque na Figura C.1) para medição da tensão analógico/digital.

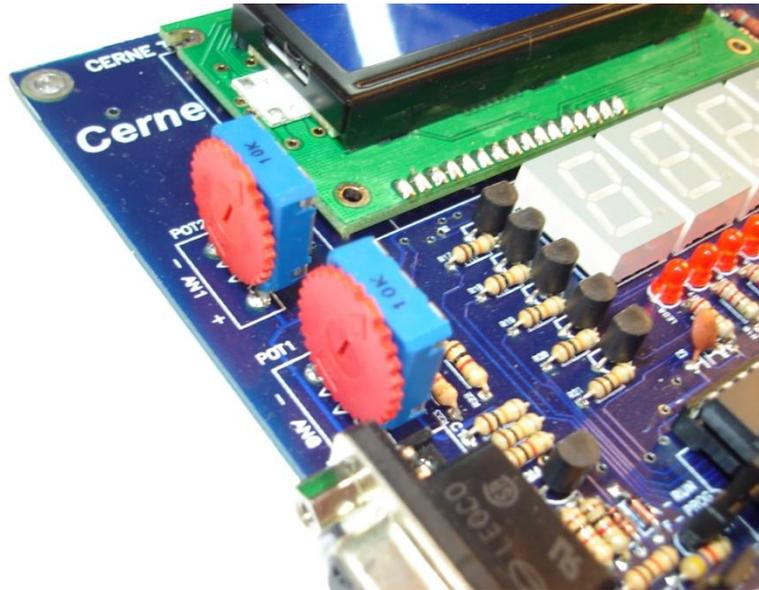


Figura C.1 – Trimpots da placa PICLAB (Autor).

A seguir, a Tabela C.3 mostra a descrição dos respectivos pinos.

Tabela C.3 – Ligações dos trimpots aos pinos do PIC.

Pino	Descrição
RA0 (AN0)	Entrada do A/D 0
RA1 (AN1)	Entrada do A/D 1

C.6 Display de LCD

A placa PICLAB vem com um conector para comunicação com um *display* do tipo *LCD*, com a finalidade de ser utilizado por modelos já existentes no mercado, como o HT4870. Além do conector de expansão, o kit possui também um *display* de *LCD* embutido, como mostra a Figura C.2.

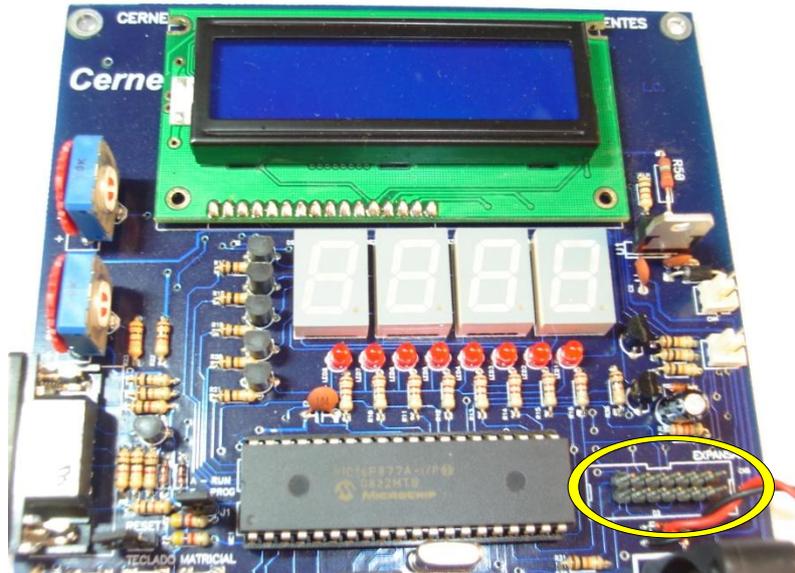


Figura C.2 – Expansão do LCD e *display* de LCD do kit (Autor).

A Tabela C.4 traz abaixo a pinagem disponibilizada para a comunicação com o *display* de LCD.

Tabela C.4 – Pinagem utilizada para comunicação com o *display* de LCD.

Pino	Descrição
RD0	DATA0 do display
RD1	DATA1 do display
RD2	DATA2 do display
RD3	DATA3 do display
RD4	DATA4 do display
RD5	DATA5 do display
RD6	DATA6 do display
RD7	DATA7 do display
RE1	Pulso de ENABLE (EN)
RE2	Pulso de comando (RS)

C.7 Display de 7 Segmentos

O *display* de 7 segmentos, existente na placa, fica multiplexado com o barramento de dados (PORTD). Para acesso a cada segmento do *display*, há um pino de seleção para cada segmento. A seguir, a Tabela C.5 traz a configuração adotada na placa PICLAB.

Tabela C.5 – Descrição dos pinos adotados para o *display* de 7 segmentos.

Pino	Descrição
RD0	Segmento A
RD1	Segmento B
RD2	Segmento C
RD3	Segmento D
RD4	Segmento E
RD5	Segmento F
RD6	Segmento G
RD7	Segmento Ponto
RB1	Seleção do Display 4
RB2	Seleção do Display 3
RB3	Seleção do Display 2
RB4	Seleção do Display 1

C.8 Ventilador

A placa possui um sistema de medição de velocidade, ilustrada na Figura C.3, permitindo que sejam feitas medições de velocidade externa.

Para esta aplicação, foi utilizada uma pequena ventoinha com um par de diodos IR de TX e RX. Conforme estas se movimentam, cada pulso é enviado ao pino do contador do Timer 1 para que seja feita a medição.

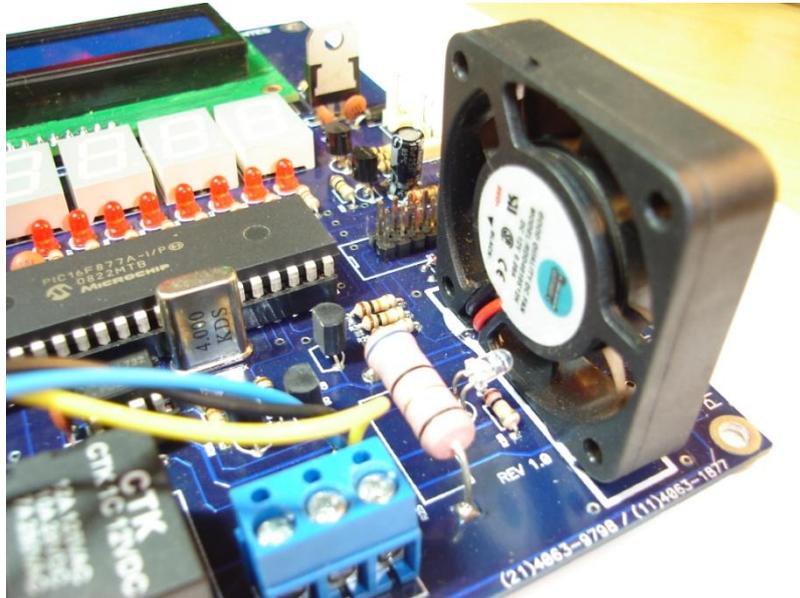


Figura C.3 – Sistema de medição de velocidade da placa (Autor).

Para controle da velocidade da ventoinha é utilizado um dos dois módulos CCP disponíveis no PIC16F877A. Desta forma, através de PWM é possível alterar a velocidade de movimentação do ventilador da placa. A pinagem utilizada é mostrada na Tabela C.6 abaixo.

Tabela C.6 – Descrição dos pinos utilizados para o ventilador.

Pino	Descrição
RC0 (PULSOS)	Entrada dos pulsos de medição externa
RC2 (CCP1)	Saída para controle do Ventilador

C.9 Aquecedor

Na PICLAB16F877A também está instalado um sistema de medição de temperatura. Além do sensor LM35 ligado a uma entrada analógica do PIC, a placa possui um resistor. Para o devido controle de temperatura do resistor, é utilizada a outra saída de PWM (módulo CCP2) disponível no microcontrolador. A seguir, a Tabela C.7 mostra a configuração utilizada para os pinos deste sistema.

Tabela C.7 – Pinagem utilizada para o sistema de medição de temperatura.

Pino	Descrição
RA3 (TEMP)	Entrada para medição da temperatura
RC1 (CCP2)	Saída para controle do Aquecedor

C.10 Esquema Elétrico da Placa

O circuito elétrico da placa pode ser visualizado abaixo, nas Figuras C.4, C.5 e C.6.

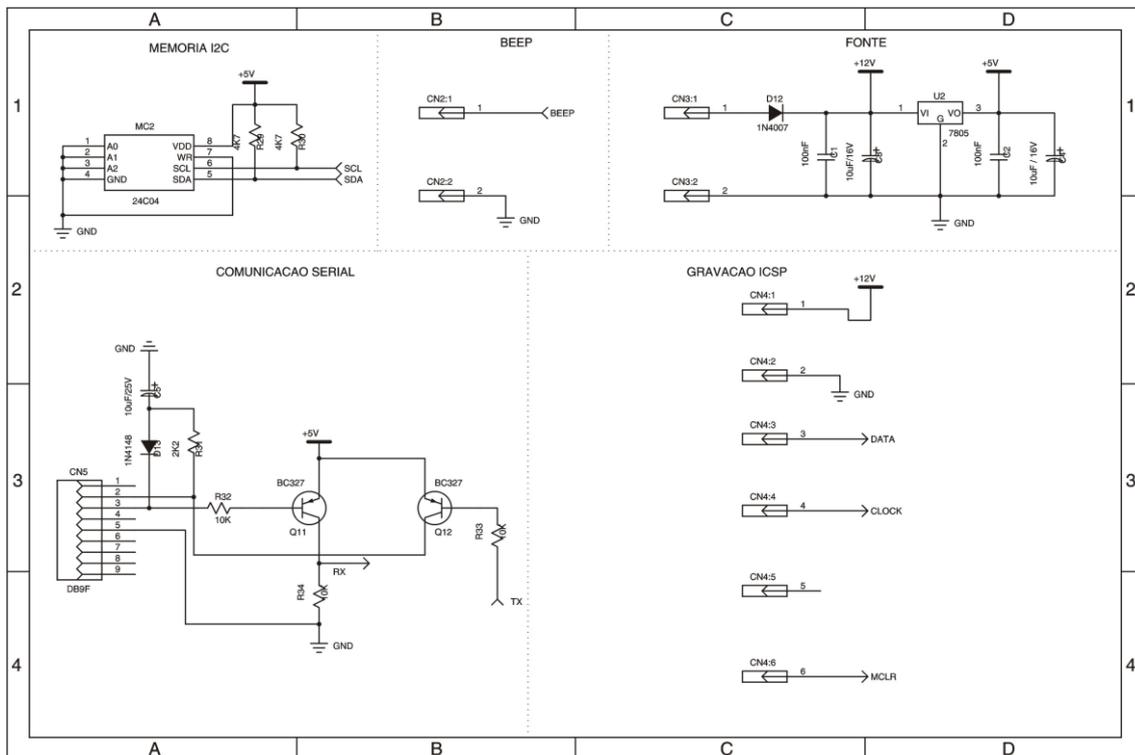


Figura C.6 – Esquema elétrico da placa.