



**CENTRO UNIVERSITÁRIO DE BRASÍLIA -UniCEUB**  
**CURSO DE ENGENHARIA DE COMPUTAÇÃO**

**RODRIGO CORDEIRO ARANTES**

**CONTROLE DA TEMPERATURA DA ÁGUA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR**

**Orientadora: Prof.<sup>a</sup>. MSc. Maria Marony Sousa Farias**

Brasília  
Dezembro, 2013

**RODRIGO CORDEIRO ARANTES**

**CONTROLE DA TEMPERATURA DA ÁGUA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR**

Trabalho apresentado ao Centro  
Universitário de Brasília (UniCEUB) como  
pré-requisito para a obtenção de  
Certificado de Conclusão de Curso de  
Engenharia de Computação.

Orientadora: **Prof.<sup>a</sup> MSc. Maria Marony Sousa Farias**

Brasília  
Dezembro, 2013

**RODRIGO CORDEIRO ARANTES**

**CONTROLE DA TEMPERATURA DA ÁGUA UTILIZANDO MICROCONTROLADOR**

Trabalho apresentado ao Centro Universitário de Brasília (UniCEUB) como pré-requisito para a obtenção de Certificado de Conclusão de Curso de Engenharia de Computação.

Orientadora: **Prof.<sup>a</sup>. MSc. Maria Marony Sousa Farias**

Este Trabalho foi julgado adequado para a obtenção do Título de Engenheiro de Computação, e aprovado em sua forma final pela Faculdade de Tecnologia e Ciências Sociais Aplicadas -FATECS.

---

Prof. Abiezer Amarilia Fernandes  
Coordenador do Curso

**Banca Examinadora:**

---

Prof. nome, titulação.  
Orientador

---

Prof. nome, titulação.  
Instituição

---

Prof. nome, titulação.  
Instituição

---

Prof. nome, titulação. Instituição

*À minha mãe Isabella que sonhou com a minha formatura e me inspirou pela sua fé, coragem e determinação.*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus, meu Senhor e Salvador, por estar sempre comigo dando sabedoria e força, em especial, no período em que realizei este projeto.

À minha orientadora, Professora Maria Marony Sousa Farias, pela compreensão e ajuda.

Ao Professor Francisco Javier pelas cobranças e incentivos.

Ao Paulo Netto, que generosamente compartilhou seus conhecimentos, obrigado por seu auxílio e estímulo na realização dos experimentos relacionados à este estudo.

À Jacqueline Lima que sempre me incentivou e me orientou na realização deste trabalho.

À Gabriela Tejerina que auxiliou na formatação da monografia.

À minha irmã Ana Carolina, por ter compartilhado comigo os seus conhecimentos em fisioterapia, o que inspirou este trabalho.

Ao meu irmão Tiago e minha cunhada Iara pelo incentivo dado todos esses anos.

Aos amigos Diego e Larissa pelo apoio e paciência nas etapas iniciais da execução deste trabalho.

Especialmente, agradeço meu pai, Iran Arantes, pelo incentivo, por ter acreditado em mim e ter oferecido todo o apoio necessário para a realização de meus estudos.

E aos demais Professores pelo conhecimento passado ao longo desses anos de curso.

## SUMÁRIO

|   |    |
|---|----|
| CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO .....                               | 10 |
| 1.1 Contextualização do Projeto.....                        | 10 |
| 1.2 Apresentação do Problema.....                           | 11 |
| 1.3 Objetivo Geral .....                                    | 12 |
| 1.3.1 Objetivos Específicos .....                           | 12 |
| 1.4 Motivação.....  | 12 |
| 1.5 Resultados Esperados .....                              | 12 |
| 1.6 Escopo .....  | 13 |
| 1.7 Estrutura do Trabalho.....                              | 13 |
| CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO .....                      | 14 |
| 2.1 Banho de Contraste .....                                | 14 |
| 2.1.1 Instalação de um Banho de contraste e Aplicações..... | 14 |
| 2.2 Termoterapia .....                                      | 15 |
| 2.3 Crioterapia.....  | 15 |
| 2.4 Transferência de Calor .....                            | 15 |
| 2.4.1 Condução.....   | 16 |
| 2.4.2 Convecção .....                                       | 17 |
| 2.4.3 Irradiação.....                                       | 17 |
| 2.5 Fenômenos Termoelétricos .....                          | 17 |
| 2.5.1 Efeito Seebeck.....                                   | 18 |
| 2.5.2 Efeito Peltier.....                                   | 18 |
| 2.5.3 Efeito Thomson .....                                  | 19 |
| 2.6 Células de Peltier.....                                 | 19 |
| 2.7 Sinal Analógico .....                                   | 20 |
| 2.8 Sinal Digital.....                                      | 21 |
| CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO.....                | 22 |
| 3.1. Descrição dos materiais utilizados .....               | 22 |
| 3.1.1 Resistência.....                                      | 23 |
| 3.1.2 Microcontroladores .....                              | 24 |
| 3.1.3 Arduino.....  | 24 |
| 3.1.4 Sensor de Temperatura LM 35 .....                     | 26 |
| 3.1.5 Relé.....   | 27 |
| 3.1.6 Display digital .....                                 | 28 |
| 3.1.7 Sensor de nível de água .....                         | 29 |
| 3.1.8 Coolers.....  | 29 |
| 3.1.9 Bombas de Água .....                                  | 29 |
| 3.1.10 Fonte.....   | 29 |
| 3.2 Dimensionamento dos reservatórios .....                 | 30 |
| 3.2.1 Medições de temperatura.....                          | 30 |
| 3.2.2 Cálculo da potência necessária.....                   | 33 |
| 3.3 Dimensionamento da Célula de Peltier .....              | 35 |
| 3.4 Montagem dos Reservatórios .....                        | 36 |
| 3.5 Montagem da unidade de controle .....                   | 38 |
| 3.6 <i>Software</i> do Arduino .....                        | 40 |
| CAPÍTULO 4 – TESTES E RESULTADOS.....                       | 42 |
| 4.1 Testes realizados.....                                  | 42 |
| 4.1.1 Teste de acionamento dos relés .....                  | 42 |

|   |    |
|---|----|
| 4.1.2 Teste de dois sensores de temperatura e Display digital ..... | 42 |
| 4.1.4 Teste da Unidade de Controle e de todo o sistema.....         | 43 |
| 4.2 Fluxograma da unidade de controle .....                         | 45 |
| CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS .....                             | 48 |
| 5.1 – Conclusões.....   | 48 |
| 5.2 - Sugestões para trabalhos futuros.....                         | 48 |
| APÊNDICE – A .....  | 51 |
| APÊNDICE – B.....   | 57 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 2.1 - Visão interna da Célula de Peltier. ....                                 | 20 |
| Figura 2.2 – Representação gráfica do sinal analógico .....                           | 20 |
| Figura 2.3 – Representação gráfica do sinal digital. ....                             | 21 |
| Figura 3.1 – Representação esquemática do projeto. ....                               | 23 |
| Figura 3.2 – Microcontrolador Arduino. ....   | 26 |
| Figura 3.3 – Aplicação típica do LM 35 .....  | 27 |
| Figura 3.4 – Representação de um Relé em sistema .....                                | 28 |
| Figura 3.5 – Gráfico da perda de calor em repouso .....                               | 32 |
| Figura 3.6 – Gráfico da absorção de calor em repouso .....                            | 33 |
| Figura 3.7 – Célula de Peltier.....   | 36 |
| Figura 3.8 – Reservatório de água fria .....  | 37 |
| Figura 3.9 – Cooler e célula de Peltier instalados no reservatório de água fria ..... | 37 |
| Figura 3.10 – Reservatórios de água quente e fria .....                               | 38 |
| Figura 3.11 – Mergulhão instalado no reservatório de água quente .....                | 38 |
| Figura 3.12 – Visão geral da unidade de controle .....                                | 39 |
| Figura 3.13 – Visão por dentro da unidade de controle .....                           | 39 |
| Figura 4.1 – Display Digital .....  | 43 |
| Figura 4.2 – Teste do display digital informando valores de temperatura .....         | 43 |
| Figura 4.3 – Unidade de controle e Reservatórios.....                                 | 44 |
| Figura 4.4 – Unidade de controle em funcionamento .....                               | 45 |
| Figura 4.5 – Valores de temperatura no display digital .....                          | 45 |

**LISTA DE TABELAS**

|  |    |
|--|----|
| Tabela 2.1 – Condutibilidade térmica de materiais a 300k ..... | 16 |
| Tabela 3.1 – Dados da perda de calor em repouso.....           | 31 |
| Tabela 3.2 – Dados da absorção de calor em repouso.....        | 32 |

**LISTA DE EQUAÇÕES**

|   |    |
|---|----|
| Equação 2.1 - Lei de Fourier .....                      | 16 |
| Equação 2.2 - Transferência de calor por convecção..... | 17 |
| Equação 2.3 - Calor de Peltier.....                     | 18 |

## RESUMO

Neste projeto foi proposta a automação do processo de banho de contraste que é um tratamento de fisioterapia que utiliza água quente e fria. Na construção do protótipo foram utilizados dois reservatórios. O de água fria foi utilizada a tecnologia das células de Peltier e o de água quente uma resistência (mergulhão). O microcontrolador Arduino foi utilizado para o controle de temperatura em conjunto com o sensor de temperatura.

**Palavras Chave:** Banho de contraste, Arduino, Controle, Microcontrolador, Peltier, Temperatura, Reservatório, Sensor de temperatura, Automação, Resistência.

## **ABSTRACT**

In this design the automation of the contrast shower which is a physical therapy that uses hot and cold water process was proposed. In the construction of the prototype two reservoirs were used. The cold water of the Peltier cell technology and hot water resistance(dipper) was used. Arduino microcontroller was used to control temperature in conjunction with the temperature sensor.

Keywords: Contrast shower, Arduino, Control, Microcontroller, Peltier, Temperature, Reservoirs, Temperature sensor, Automation, Resistance.

## CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

### 1.1 Contextualização do Projeto

No âmbito da saúde, a incorporação de tecnologias trouxe uma nova lógica para a organização da assistência à saúde (MERHY; FRANCO, 2003), pois aliou o avanço terapêutico à necessidade de mão de obra especializada e ao aumento dos custos (BARBASH; GLIED, 2010).

No Brasil, a assistência à saúde no Sistema Único de Saúde (SUS) está dividida em três níveis de atendimento: Atenção Básica, Média e Alta complexidades. Esta divisão permite, principalmente, a identificação do custo dos cuidados em saúde pela tecnologia<sup>1</sup> envolvida e pelo tipo de atendimento. Assim, no nível de atenção de alta complexidade estão os procedimentos que envolvem alta tecnologia e alto custo como, por exemplo, cirurgias cardíacas, transplantes, tratamento de câncer e terapias renais (BRASIL, 2007).

Nesta lógica, a assistência ou procedimentos que ocorrem nos níveis de atenção básica e de média complexidade possuem custos menos elevados, e a tabela de preços seja pelo SUS, planos de saúde ou atendimento privado possui valores compatíveis com nível de complexidade.

Assim, os investimentos em equipamentos com tecnologias de alto custo para atenção básica e média complexidade são mais escassos e no Brasil, a prática de parcerias interdisciplinares para o desenvolvimento, produção e comercialização de novas tecnologias em saúde ainda é incipiente.

Na fisioterapia, que é o foco indireto deste trabalho, não é diferente. Existem aparelhos e dispositivos eletrônicos que foram concebidos ou adaptados para uso em fisioterapia. Entretanto, muitos equipamentos são de alto custo para aquisição e ou manutenção, inviabilizando sua utilização em clínicas de fisioterapia e em atendimentos domiciliares, persistindo o uso de técnicas rudimentares ou improvisadas para a realização do atendimento/tratamento.

---

<sup>1</sup> O termo tecnologias em saúde, além de equipamentos, abrange também medicamentos. Neste estudo este termo será utilizado para equipamentos com utilização no âmbito da saúde que necessitam de sistema de hardware e software para seu funcionamento.

O banho de contraste é uma técnica terapêutica utilizada milenarmente para tratamento de edemas (inchaço) e equimoses (vermelhidão) após trauma (lesão) em tecidos corporais pela aplicação alternada de frio e calor por meio de imersão em água do membro afetado (STARKEY, 2001).

Na maioria dos serviços o controle e manutenção da temperatura são feitos manualmente. Apesar do baixo custo, pode acarretar riscos de queimaduras pelo excesso de frio ou calor, ou ineficiência do tratamento pela temperatura diferente da ideal.

A computação pode contribuir para a melhoria do processo de trabalho em fisioterapia e outras profissões da saúde que utilizam de técnicas terapêuticas para aquecimento/resfriamento de água por meio da automação do processo terapêutico.

## **1.2 Apresentação do Problema**

Durante o processo de tratamento pela aplicação alternada de frio e calor, a temperatura da água nos dois recipientes sofre alterações com consequente resfriamento da água quente e aumento da temperatura da água fria, até a estabilização de acordo com a quantidade de líquido e a temperatura do ambiente.

Dessa forma, a alteração da temperatura tende a ficar fora do limite de valores necessários para o êxito do tratamento, levando à interrupção do tratamento em curtos intervalos de tempo para adequação (aquecimento/resfriamento) da água dos recipientes. Este projeto propõe uma alternativa tecnológica para determinar e manter a temperatura da água na faixa ideal para o tratamento pela técnica de banho de contraste.

O aquecimento da água foi feito pelo uso de resistência e o resfriamento, pela célula de Peltier. A manutenção da temperatura da água nos dois recipientes foi possibilitada pelo uso de um microcontrolador e um sensor de temperatura.

No código fonte, o microcontrolador é programado para ligar a resistência enquanto a temperatura da água estiver abaixo dos 40°C e desligar quando a temperatura for superior a 45°C, e também, acionar a célula de Peltier para manter a água ente 8° e 15°C.

### **1.3 Objetivo Geral**

Especificar e desenvolver solução de hardware e software com o objetivo de manter a temperatura, dos reservatórios de água quente e fria, em uma faixa específica com o uso do microcontrolador, automatizando o processo do tratamento de banho de contraste.

#### **1.3.1 Objetivos Específicos**

- Montar o circuito utilizando o microcontrolador Arduino MEGA 2560, a resistência, a célula de Peltier e os sensores de temperatura LM 35.
- Desenvolver o programa de controle utilizando a linguagem de arduino.

### **1.4 Motivação**

A ideia de fazer esse projeto, partiu da necessidade de automatizar o processo de um tratamento da fisioterapia chamado de banho de contraste. O tratamento como é feito normalmente, tem falhas em relação ao controle da temperatura da água. Essas falhas ocorrem por situações como a troca de calor da água com o ambiente e com a parte do corpo que será tratada, ou seja, a água quente tende a se resfriar e a fria tende a esquentar e ambas chegam à temperatura ambiente. E isso gera uma ineficácia no tratamento.

A tecnologia para banho de contraste desenvolvida neste estudo, poderá contribuir para a qualidade do tratamento e conforto para o usuário por manter a temperatura ideal e evitar interrupção do tratamento para adequação da temperatura da água.

### **1.5 Resultados Esperados**

Espera-se que o protótipo desenvolvido possa contribuir para o desenvolvimento de equipamentos para resfriamento e aquecimento de água com potencial para comercialização e uso seguro em serviços de saúde e domicílio para tratamento por meio do banho de contraste.

## **1.6 Escopo**

Este estudo visa desenvolver um protótipo para aquecimento/resfriamento de água, utilizando resistência (mergulhão), Células de Peltier e reservatório (painéis de alumínio). Por este motivo, este trabalho ficou restrito ao processo de resfriamento/aquecimento de água, sem avaliar aspectos como riscos para choque e queimaduras.

Assim, trata-se de um experimento para controlar a temperatura, sem condições para uso comercial. Outros estudos deverão ser realizados posteriormente para avaliar custo, durabilidade, manutenção, limpeza e eficiência pelo uso contínuo.

## **1.7 Estrutura do Trabalho**

Este trabalho é apresentado em cinco capítulos, sendo no primeiro, a introdução, com a descrição do tema, problema, objetivos e motivação que conduziram este estudo.

O capítulo 2 apresenta o referencial teórico abordando os conceitos e abordagens teóricas que fundamentaram o presente estudo: banho de contraste e suas aplicações; fenômenos da transferência de calor; fenômenos termoelétricos e as células de Peltier, bem como, os sinais analógicos e digital.

O capítulo 3 descreve o desenvolvimento do projeto, mostrando descrição da montagem e a descrição dos materiais utilizados.

O capítulo 4 faz o registro dos testes realizados no protótipo e os resultados dos mesmos.

O capítulo 5 apresenta a conclusão do trabalho e as sugestões para estudos futuros.

## **CAPÍTULO 2 - REFERENCIAL TEÓRICO**

### **2.1 Banho de Contraste**

Um banho de contraste consiste na imersão alternada, da parte do corpo a ser tratada, em água quente e fria. Para este fim podem ser utilizados água estacionária ou turbilhões. O resultado é um tipo de exercício vascular, que causa um ciclo de vasodilatações (pelo calor) e vasoconstrições (pelo frio) dos vasos sanguíneos da área do corpo afetada. Esta mudança de calibre dos vasos sanguíneos estimula a circulação e auxilia o retorno venoso e linfático (STARKEY, 2001).

Os banhos de contraste são, em geral, empregados em quadros subagudos ou crônicos, para a remoção de edema e/ou equimose. A proporção de tempo mais utilizada é de 3 e 4 minutos em imersão quente para 1 minuto em imersão fria.

O tratamento pode terminar após uma imersão fria ou quente, dependendo do estágio da lesão. Quando se deseja um estado de vasoconstrição, o tratamento acaba depois de uma imersão fria. Se o desejado é a vasodilatação, o tratamento termina após uma imersão quente.

#### **2.1.1 Instalação de um Banho de contraste e Aplicações**

A aplicação do calor (termoterapia) ou do frio (crioterapia) são recursos valiosos na prática da fisioterapia e são instrumentos que auxiliam no tratamento de várias patologias ortopédicas.

Os reservatórios de água devem estar próximos um do outro, de forma que o paciente<sup>2</sup> ou profissional de saúde possa remover a parte do corpo de um reservatório e imediatamente mergulhá-la no outro.

A preparação para o banho de contraste é feita com o enchimento de dois reservatórios, um contendo água com temperatura em torno de 40 °C a 45 °C e o outro com água entre 8 °C a 15 °C. Os banhos de contraste são administrados por 20 a 30 minutos e podem ser repetidos quando necessário

---

<sup>2</sup> Técnica somente para pacientes em condições de levar membro afetado de um recipiente à outro.

(STARKEY, 2001). Entre as indicações para este procedimento terapêutico destacam-se a remoção de equimoses e edema, a circulação prejudicada, a redução da dor, o aumento da amplitude de movimento articular; as lesões nos músculos e articulações (como aquelas por Esforços Repetitivos (LER); artrite; fraturas; pés e tornozelos inchados (STARKEY, 2001; AUGUSTO, 2008).

## **2.2 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).

## **2.3 Crioterapia**

O termo crioterapia é utilizado para descrever a aplicação de modalidades de frio que têm uma variação de temperatura de 0 °C a 18,3 °C. Os efeitos locais da aplicação do frio incluem vasoconstrição e diminuição da taxa metabólica, da inflamação e da dor (STARKEY, 2001).

## **2.4 Transferência de Calor**

A transferência de calor ocorre quando dois ou mais corpos que estão em temperaturas diferentes são colocados em contato, ou em um mesmo local, fazendo com que a energia térmica de um corpo seja transferida para outro (BENNETT; MYERS, 2008)

Nesse projeto, a transferência de calor ocorre tanto no contato, da parte do corpo que será tratada, com a água, quanto entre os materiais utilizados. No reservatório quente ocorre entre a resistência, a água, a parte do corpo e o próprio reservatório. No reservatório frio ocorre entre a célula de Peltier, a água, a parte do corpo e o reservatório. O meio ambiente também interfere na troca de calor.

A transferência de calor pode ocorrer de três diferentes formas, são elas: condução, convecção e radiação.

### 2.4.1 Condução

A condução acontece principalmente em meios sólidos e essa forma de transferência de calor ocorre em razão do contato das partículas entre átomos, elétrons e moléculas. Uma barra metálica em contato com o fogo ficará tão quente que não conseguiremos segurá-la por muito tempo devido a transferência de calor. O calor flui do ponto mais quente para o mais frio da barra em razão da A lei da condução térmica, também conhecida como lei de Fourier é dada pela equação:

$$Q_x = -k \cdot A \frac{\Delta T}{\Delta x} \quad (2.1)$$

Em que:

- $Q_x$  = taxa de transferência de calor por condução direta na direção x em W (Watts);
- k = constante de condutividade térmica em W/(m . K);
- A = área da seção transversal na direção x em m<sup>2</sup>;
- $\frac{\Delta T}{\Delta x}$  = gradiente de temperatura na direção x em K (Kelvin). **(BENNET,2008).**

A constante de condutividade térmica (k) depende de cada tipo de material. Quanto maior o k, melhor condutor de calor é o material e quanto menor o k, pior é a condução de calor deste material. A Tabela 2.1 representa a condutibilidade térmica dos materiais à 300k:

**Tabela 2.1**

| <b>Materiais</b>     | <b>Condutibilidade Térmica (W/ m.K)</b> |
|----------------------|---|
| Cobre(puro)          | 399                                     |
| Ouro(puro)           | 317                                     |
| Alumínio(puro)       | 237                                     |
| Ferro(puro)          | 80,2                                    |
| Aço Carbono(1%)      | 43                                      |
| Aço Inoxidável(18/8) | 15,1                                    |
| Vidro                | 0,81                                    |
| Plásticos            | 0,2 – 0,3                               |
| Água(Líquido)        | 0,6                                     |

**Fonte: BENNET, 2008.**

### 2.4.2 Convecção

A convecção é o fenômeno da transferência de calor que se observa nos fluidos, gases e líquidos, e acontece em razão da diferença de densidade do fluido. O fluido frio desce para ocupar o lugar do fluido quente por ser mais denso.

Observa-se o calor sendo transferido por convecção quando um fluido, como ar ou água, está em contato com um objeto cuja temperatura é mais alta do que a sua vizinhança. A temperatura do fluido que está em contato com o objeto quente aumenta e (na maioria dos casos) o fluido se dilata. (HALLIDAY, 2003)

O cálculo da transferência de calor por convecção é dado pela equação a seguir:

$$Q = h_c * A * (t_s - t_f) \quad (2.2)$$

Em que:

- Q = taxa de transferência de calor em W;
- $h_c$  = coeficiente de transferência de calor convecção em W/m<sup>2</sup>.K,
- A = área da superfície em m<sup>2</sup>;
- $t_s$  = temperatura da superfície;
- $t_f$  = temperatura do fluido.

### 2.4.3 Irradiação

Irradiação é o conjunto de radiações emitidas por um corpo. Radiação é a energia que se propaga pelo espaço, mesmo vazio, por meio de ondas eletromagnéticas. O Sol aquecendo a terra é uma forma de transferência de calor por radiação.

### 2.5 Fenômenos Termoelétricos

Um fenômeno termoelétrico é a conversão direta da diferença de temperatura em tensão elétrica ou o contrário.

### 2.5.1 Efeito Seebeck

O efeito Seebeck foi observado pela primeira vez em 1821 quando o físico Thomas Johann Seebeck estudava fenômenos termoelétricos.

Nesse efeito observa-se a produção de uma diferença de potencial (tensão elétrica) entre duas junções de materiais condutores (ou semi-condutores) diferentes quando esses estão a diferentes temperaturas.

Seebeck observou o princípio termoelétrico dos termopares onde materiais condutores metálicos submetidos a um gradiente térmico, a energia da extremidade mais fria, gera uma diferença de potencial na ordem de alguns milivolts (mV). **(BENNET,2008)**

### 2.5.2 Efeito Peltier

O efeito Peltier foi observado em 1834 por Jean Charles Athanase Peltier, 13 anos após o físico Thomas Johann Seebeck ter descoberto o efeito Seebeck em 1821.

O efeito Peltier é um fenômeno termoelétrico que produz uma diferença de temperatura quando se aplica uma tensão em um circuito elétrico fechado. A corrente gerada passa por um componente formado por materiais condutores ou semicondutores, onde dependendo do sentido de passagem da corrente elétrica, uma das partes do material absorve o calor e a outra o libera.

O calor de Peltier gerado pelas junções pode ser calculado pela equação abaixo:

$$Q = (\pi_A - \pi_B) * I \quad (2.3)$$

Em que:

- Q = taxa de transferência de calor de Peltier absorvida pela junção fria por unidade de tempo;
- $\pi_A$  = coeficiente de Peltier do material A;
- $\pi_B$  = coeficiente de Peltier do material B;
- I = corrente aplicada ao circuito, em Ampéres (A). **(SOUZA, 2011)**

### 2.5.3 Efeito Thomson

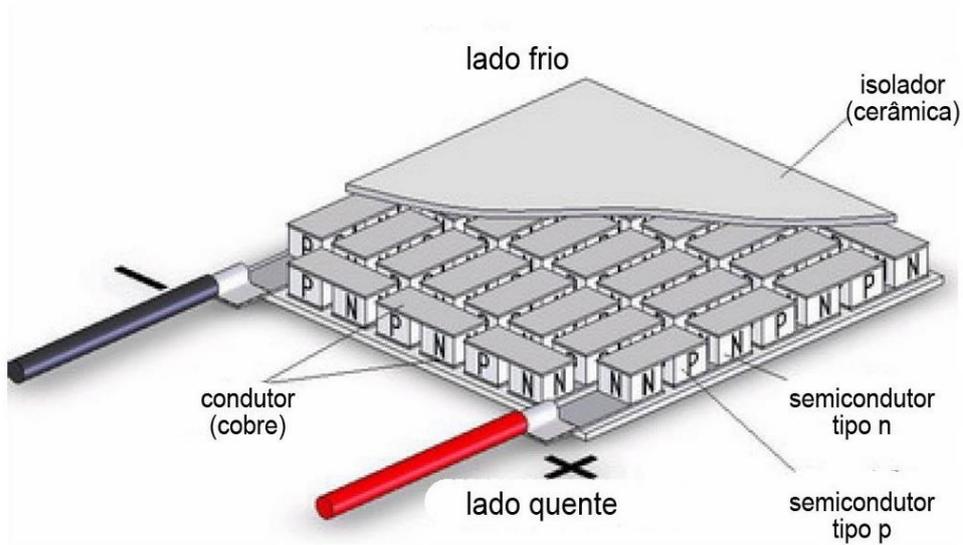
O efeito Thomson se inspirou numa abordagem teórica de unificação dos efeitos Seebeck (1821) e Peltier (1834). Ele descreve a capacidade de um metal submetido a uma corrente elétrica e um gradiente de temperatura em produzir frio ou calor.

Qualquer condutor submetido a uma corrente elétrica (com exceção de supercondutores), com uma diferença de temperatura em suas extremidades, pode emitir ou absorver calor, dependendo da diferença de temperatura e da intensidade e direção da corrente elétrica. (BENNET,2008)

### 2.6 Células de Peltier

As células de Peltier são pastilhas termoelétricas que utilizam o efeito Peltier. E são pequenas unidades que utilizam tecnologia de matéria condensada para operarem como bombas de calor. Uma unidade típica tem espessura de alguns milímetros e forma quadrada. Esses módulos são essencialmente um sanduíche de placas cerâmicas recheado com pequenos cubos de Bi<sub>2</sub>Te<sub>3</sub> (telureto de bismuto).

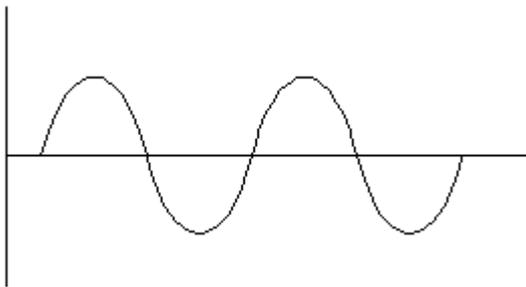
Quando a corrente elétrica passa pela célula de Peltier um lado da pastilha aquece e o outro resfria. É importante dizer que os módulos de peltier não consomem o calor produzido no lado quente e por isso que se torna necessário o uso do dissipador. (SITE DO FABRICANTE [HTTP://WWW.PELTIER.COM.BR](http://www.peltier.com.br)).



**Figura 2.1 - Visão interna da Célula de Peltier**

## 2.7 Sinal Analógico

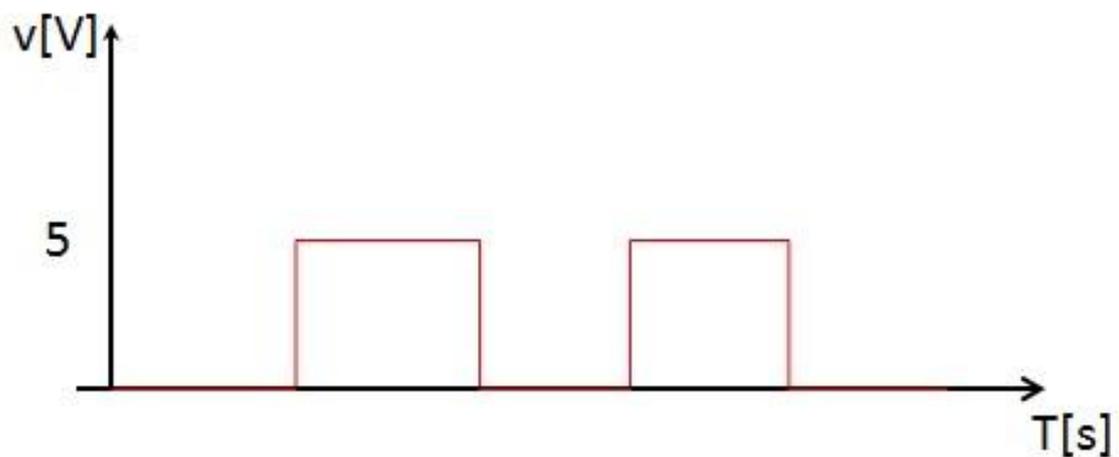
Sinal Analógico é um tipo de sinal contínuo que varia em função do tempo. A representação de um sinal analógico é uma curva, como mostra a Figura 2.2. Como exemplo, se um sinal varia seus valores 0 a 10, o sinal analógico passa por todos os valores intermediários possíveis (0,01; 0,766; 3,289; 6,55; 8,234).



**Figura 2.2 – Representação gráfica do sinal analógico.**

## 2.8 Sinal Digital

O Sinal Digital é um sinal com valores discretos (descontínuos) no tempo –  $T$  (em segundos) e em amplitude. Um sinal digital variará entre o valor 0 e o máximo de tensão -  $V_s$ . Nesse projeto, o valor máximo é 5, pois esse é o valor da tensão de saída máxima do Arduino. O Sinal Digital é representado pela Figura 2.3.



**Figura 2.3 – Representação gráfica do sinal digital**

## **CAPÍTULO 3 – DESENVOLVIMENTO DO PROJETO**

### **3.1.Descrição dos materiais utilizados**

Na Figura 3.1 observa-se a representação esquemática do projeto, mostrando a disposição dos componentes e como estão conectados entre si. Os seguintes equipamentos foram utilizados:

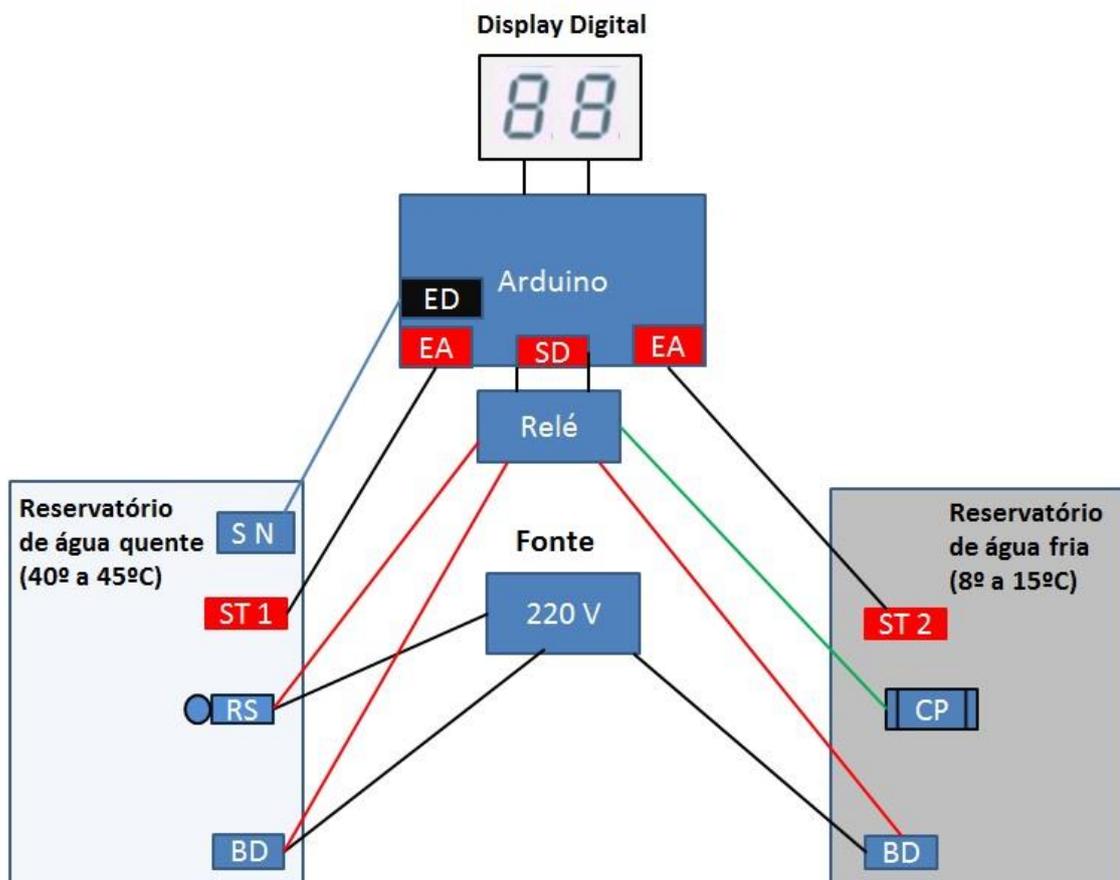
- Reservatórios de água quente e frio;
- Fonte de alimentação;
- Relé;
- Sensor de Nível de Água;
- Resistência;
- Bomba de Água;
- Célula de Peltier;
- Sensor de Temperatura 1;
- Sensor de Temperatura 2;
- Saída Digital;
- Entrada Analógica;
- Entrada Digital.

No display digital são mostradas as informações sobre os valores de temperatura. Essas informações provem dos sensores de temperatura que enviam esses dados para o Arduino que em conjunto com o relé, controlam a passagem de corrente elétrica para os demais equipamentos.

Um componente importante para o funcionamento do protótipo é o sensor de nível de água. Esse sensor é quem ativa a corrente elétrica de todo o protótipo. Se o nível de água nos reservatórios for o correto ele aciona a corrente elétrica vinda da fonte. Se não a corrente elétrica não é ativada e o equipamento não funciona.

Outro componente é a bomba de água que agita a água a fim de uniformizar a temperatura da mesma. A fonte de alimentação transmite a corrente elétrica necessária para o funcionamento do protótipo. Os dois sensores de temperatura enviam as informações, vindas do reservatório de água quente e do de água fria, para o Arduino.

Os dois componentes principais desse projeto são a resistência (mergulhão) que fará o aquecimento de água e a célula de Peltier que fará o resfriamento de água.



SN = Sensor de Nível de Água; RS = Resistência; BD = Bomba de Água; CP = Célula de Peltier; ST1 = Sensor de Temperatura 1; ST2 = Sensor de Temperatura 2; SD = Saída Digital; EA = Entrada Analógica e ED = Entrada Digital.

**Figura 3.1 - Representação esquemática do projeto.**

### 3.1.1 Resistência

A resistência, ou mergulhão como é popularmente conhecido, utilizada no projeto é um ebulidor de água. Ou seja, ela serve para aquecer e ferver a água. O mergulhão utilizado possui tensão de 220V (Volts) e potência de 2000W (Watts).

Num ebulidor elétrico, a energia elétrica consumida é transformada em energia térmica, aquecendo o material metálico do ebulidor e a água que o circunda.

### 3.1.2 Microcontroladores

O microcontrolador é um dispositivo, que integra todas as partes básicas de um microcomputador como, por exemplo, o microprocessador, portas de entrada e saída, e memórias. Geralmente é limitado em termos de quantidade de memória no que diz respeito a memória de dados. (GIMENEZ, 2002).

O microcontrolador possui vários periféricos na mesma pastilha:

- Memória de Dados;
- Memória de Programa;
- EEPROM;
- Portas de Entrada e Saída (I/O);
- Temporizadores (Timers);
- USB.

Os microcontroladores são utilizados, por exemplo, em eletrodomésticos, na área automobilística, automação, segurança, controle de tráfego, médica, onde a velocidade de processamento não é tão alta.

### 3.1.3 Arduino

O Arduino iniciou-se na cidade de Ivrea, Itália, em 2005, com o intuito de interagir em projetos escolares de forma a ter um orçamento menor que outros sistemas e prototipagem disponíveis naquela época.

Arduino é uma plataforma de prototipagem eletrônica de hardware livre, projetada com um microcontrolador Atmel AVR de placa única, com suporte de entrada /

saída embutido, uma linguagem de programação padrão, a qual tem origem em Wiring, e é essencialmente C/C++. O Arduino foi criado para ser uma ferramenta acessível, com baixo custo, flexível e fácil de usar. Principalmente para aqueles que não teriam alcance aos controladores mais sofisticados e de ferramentas mais complexas.

O Arduino que será utilizado no projeto é o Arduino Mega 2560 que possui 54 entradas/saídas digitais, 16 entradas analógicas e 04 portas seriais. A placa ainda conta com conexão USB, conector de força e botão de reset. A placa pode operar com uma fonte externa de 6 a 20 volts, mas o recomendado é de 7 a 12 volts.

Os pinos de energia são os seguintes:

- VIN é a tensão de entrada para a placa Arduino quando se está usando uma fonte de alimentação externa.
- 5V. Este pino gera um 5V pelo regulador da placa. A placa pode ser alimentada com energia a partir da tomada DC (7 - 12V), o conector USB (5V), ou o pino VIN (7-12V).
- 3V3. É gerado 3,3 volts pelo regulador da placa. Corrente máxima é de 50 mA.
- GND. Pinos de aterramento.
- IOREF. Este pino na placa Arduino fornece a referência de tensão com que o microcontrolador opera. O regulador da placa quando configurado corretamente, pode ler a tensão no pino IOREF e selecionar a fonte de alimentação adequada ou habilitar a tensão nas saídas de 5V ou 3.3V.
- AREF. Tensão de referência para as entradas analógicas.

O Arduino Mega 2560 tem 256 KB de memória flash para armazenamento de código. Cada um dos 54 pinos digitais pode ser usado como uma entrada ou uma saída. Eles operam a 5 volts. Cada pino pode fornecer ou receber um máximo de 40 mA e tem um resistor interno de 20 a 50 kohms. E tem 16 entradas analógicas, cada uma das quais com 10 bits de resolução (1024 valores diferentes). Por padrão elas medem 5 volts, embora seja possível mudar o limite superior de sua faixa usando o pino AREF.

O Arduino Mega é programado com o software Arduino disponível no site.

(Fonte: [www.Arduino.cc](http://www.Arduino.cc))



**Figura 3.2 – Microcontrolador Arduino**

### **3.1.4 Sensor de Temperatura LM 35**

O sensor de temperatura LM35 é um sensor analógico que apresenta uma saída de tensão proporcional à temperatura em que ele se encontrar no momento que for alimentado por uma tensão de 4 a 20V, tendo em sua saída um sinal de 10 mV para cada grau de temperatura, sendo assim podemos utilizar uma regra de 3 para descobriremos a temperatura atual. O LM35 não necessita de calibração externa e também tem um baixo custo, pois tem uma comunicação perfeita com circuitos de leitura de temperatura. Consome apenas 60 mA e pode operar numa faixa de  $-55^{\circ}\text{C}$  a  $150^{\circ}\text{C}$  de temperatura. **(Datasheet do LM35)**

O sensor LM35 mandará as informações de temperatura para o Arduino que ativará o relé e o mesmo fará o acionamento do aquecimento (mergulhão) ou do resfriamento (placas de Peltier). Ou seja, o relé ligará ou desligará os equipamentos dependendo dos valores de temperatura necessários para o funcionamento do projeto.

Para que o Arduino leia o sinal analógico da temperatura é necessário passá-lo pelo conversor analógico/digital deste microcontrolador que tem uma resolução de 10 bits, sendo assim podemos medir um valor que tenha uma correspondência de 0 até 1023. A tensão de alimentação é de 5V que corresponderá ao valor máximo de medida que é de 1023, e o valor mínimo é 0. **(Fonte: [www.Arduino.cc](http://www.Arduino.cc))**

Utilizando a regra de 3 para calcular a variação de temperatura na sua correspondência binária, ou seja qual seria a temperatura para o valor de  $V_s$  (sob o ponto de vista de cálculo, pois o sensor não aguenta tal temperatura):

$$10\text{mV} \text{ ---- } 1^\circ\text{C}$$

$$5\text{V} \text{ ---- } x$$

$$x = 500^\circ\text{C}$$

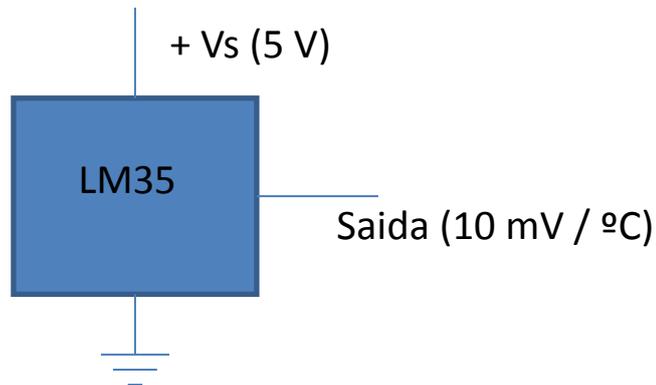
Ora se o valor máximo corresponde a 1023 então temos:

$$500^\circ\text{C} \text{ --- } 1023$$

temperatura --- valor lido na entrada analógica

logo: temperatura = valor lido \* 500 / 1023 (em °C)

A aplicação típica está representada na Figura 3.2:



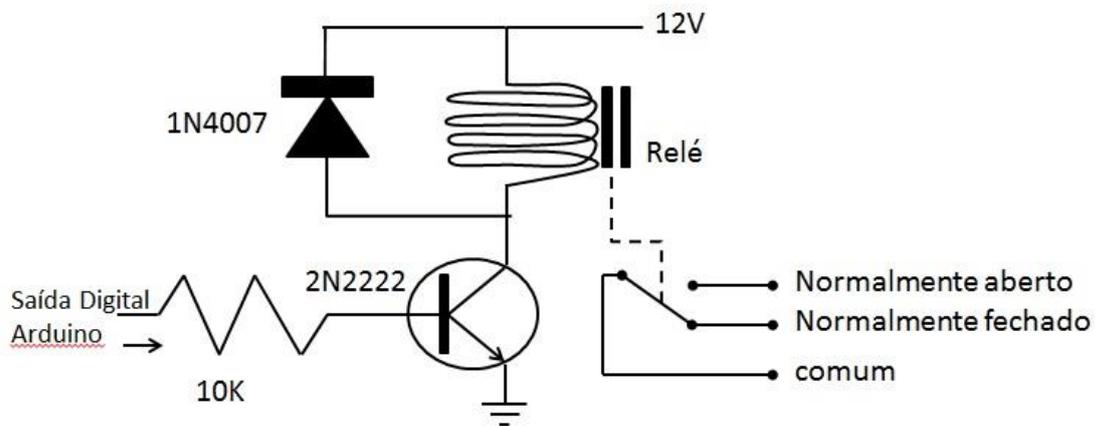
**Figura 3.3 – Aplicação típica do LM 35.**

### 3.1.5 Relé

Um relé funciona como um interruptor eletromecânico. A movimentação física deste interruptor ocorre quando a corrente elétrica percorre as espiras da bobina do relé, criando

assim um campo magnético que por sua vez atrai a alavanca responsável pela mudança do estado dos contatos, abrindo ou fechando a passagem de corrente elétrica. Serve para ligar ou desligar dispositivos.

Como a saída máxima do Arduino (saídas digitais) é de 40 mA e os relés comerciais, mesmo os mini relés têm uma corrente mínima de 70 mA, há a necessidade de “amplificar” o sinal, ou seja, fazer a transição entre o sinal de saída do Arduino e o sinal que vai ativar o relé, para isso será utilizado um transistor que amplificará o sinal digital (Figura 3.3), ou seja, na saída do Arduino o circuito de ativação do relé drena muito menos que o limite de 40 mA.



**Figura 3.4 – Representação de um Relé em sistema.**

### 3.1.6 Display digital

Um display de cristal líquido ou de LCD (em inglês *liquid crystal display*) é um painel usado para exibir informações por via eletrônica, como texto, imagens e vídeos. Exemplos de equipamentos de LCD são monitores para computadores, televisores, painéis de instrumentos, telefones celulares entre outros.

### **3.1.7 Sensor de nível de água**

Sensor de nível de água, é uma chave magnética normalmente aberta. Possui uma boia, que quando se aproxima da haste principal fecha o contato da chave e a corrente elétrica circula e aciona os equipamentos. Para o funcionamento correto do protótipo, é necessário que tenha um controle do nível de água dos reservatórios para não ocorrer que os equipamentos sejam acionados sem que tenha o nível de água correto e com isso se evita o desperdício de energia elétrica ou até possíveis acidentes.

O sensor de nível vai informar, através de um sinal digital (0 ou 5V), ou ligado/desligado, se o nível de água está, pelo menos no mínimo necessário ou não.

### **3.1.8 Coolers**

O cooler é um conjunto de dissipação térmica, formado por dois dispositivos: um dissipador de calor e uma ventoinha. A função da peça é garantir a integridade dos equipamentos que podem sofrer algum tipo de dano com o calor gerado pelo seu funcionamento. Nesse projeto serão utilizados quatro coolers para dissiparem o calor gerado pelo funcionamento das quatro pastilhas de Peltier.

### **3.1.9 Bombas de Água**

As bombas de água farão o turbilhonamento da água para uma melhor uniformização da temperatura da água e troca de calor com aquecedor (mergulhão) e resfriador (pastilhas de Peltier).

### **3.1.10 Fonte**

Para esse projeto foi utilizada uma fonte de alimentação ATX, para poder fornecer energia elétrica para a unidade de controle. A fonte é da marca Aerocool Strike X que possui as seguintes especificações:

Tensão: Seleção Automática (100 - 240V);

Saída DC com tensão de +3,3V, +5V e +12V com corrente máxima de 24A, 24A e 41A respectivamente;

Potência máxima de 500W.

### **3.2 Dimensionamento dos reservatórios**

Diâmetro da panela: 30 cm

Altura da panela: 27 cm

Altura da água na panela: 18 cm

O reservatório correto para o tratamento, por tanto para o projeto, tem que caber o tamanho do pé que foi a parte do corpo medida para escolher no caso a panela com as medidas corretas.

#### **3.2.1 Medições de temperatura**

Foram feitas as medições das temperaturas, com água nos reservatórios, antes de iniciar o experimento para observar as variações térmicas da água fria e quente, colocadas nos recipientes com temperatura dentro dos valores apresentados como terapêuticos no banho de contraste. Foram realizadas duas vezes, uma sem interferência e outra simulando um tratamento de banho de contraste sem auxílio tecnológico para manutenção da temperatura da água.

Tem os recipientes (a) em repouso com medições periódicas de temperatura sem interferências e, (b) simulando um banho de contraste em membro inferior.

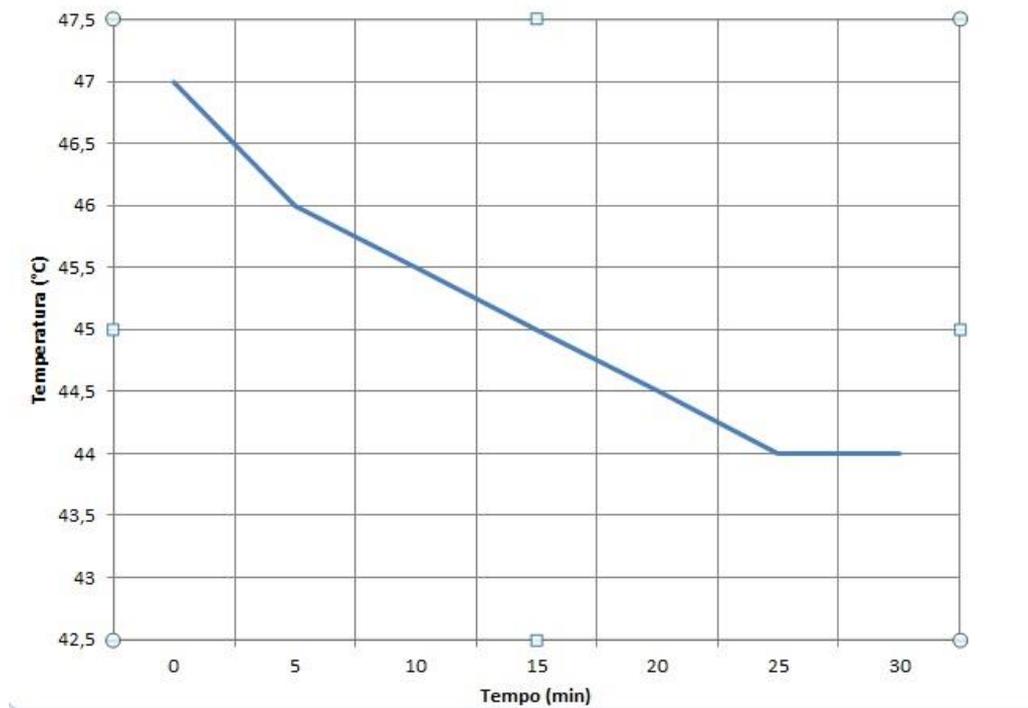
Foi utilizado um termômetro digital para realizar as medições de temperatura descritas abaixo:

- (a) Para avaliar a perda de calor durante o repouso, observou-se a relação tempo x temperatura da água quente sem mergulhar o pé (Tabela 3.1). A temperatura ambiente era de 24,5°C.

**Tabela 3.1 – Dados da perda de calor em repouso**

| Tempo (min) | Temp (°C) |
|-------------|-----------|
| 0           | 47        |
| 5           | 46        |
| 10          | 45,5      |
| 15          | 45        |
| 20          | 44,5      |
| 25          | 44        |
| 30          | 44        |

Na Figura 3.5 é mostrado o comportamento da temperatura durante a perda de calor em repouso.



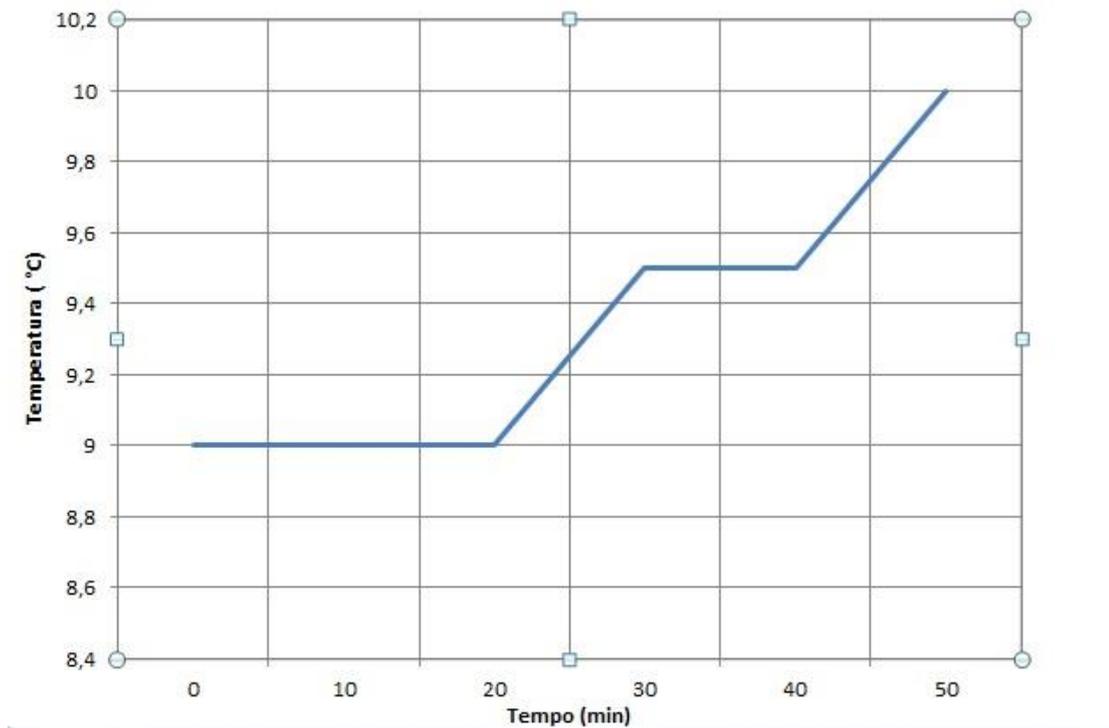
**Figura 3.5 – Gráfico da perda de calor em repouso (Autor: Rodrigo Arantes)**

Para avaliar a absorção de calor durante o repouso, observou-se a relação tempo x temperatura da água gelada sem mergulhar o pé (Tabela 3.2). A temperatura ambiente era de 22,5°C.

**Tabela 3.2 – Dados da absorção de calor em repouso**

| Tempo (min) | Temp (°C) |
|-------------|-----------|
| 0           | 9         |
| 10          | 9         |
| 20          | 9         |
| 30          | 9,5       |
| 40          | 9,5       |
| 50          | 10        |

Na Figura 3.6 é mostrado o comportamento da temperatura durante a absorção de calor em repouso.



**Figura 3.6 – Gráfico da absorção de calor em repouso (Autor: Rodrigo Arantes)**

(b) Água quente e gelada com o pé:

Ao fazer medidas semelhantes com o pé no reservatório quente, observou-se que há uma perda de temperatura de 1,5 °C por 3 minutos de imersão. Semelhantemente houve um aumento de temperatura no reservatório frio de 0,5 °C por minuto.

### 3.2.2 Cálculo da potência necessária

Como houve a necessidade de dimensionar a potência das células de Peltier, foram feitos os seguintes cálculos:

A maior alteração de temperatura no reservatório frio ocorre com uma perda de calor de  $0,5^{\circ}\text{C}/\text{minuto}$ .

Para chegar ao valor da potência necessária, calculou-se o volume de água dos reservatórios, os dois reservatórios tiveram a mesma quantidade de água, considerando a altura da água da panela igual a 18 cm (0,18 m) e o diâmetro da panela igual a 30 cm (0,3 m). Segue abaixo a fórmula do volume utilizada:

$$V = A * h$$

Em que,

- V = Volume em  $\text{m}^3$ ;
- A = área do reservatório em  $\text{m}^2$ ;
- h = altura da coluna de água, em metros.

$$A = \pi \times r^2 = \frac{\pi \times d^2}{4} = \pi \times \left(\frac{d}{2}\right)^2 = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

$$V = \text{Área} \times \text{Altura}$$

$$V = A \times h$$

$$V = \frac{\pi \times (0,3)^2}{4} \times 0,18$$

$$V = \pi \times \frac{3^2 \times 10^{-2}}{4} \times 1,8 \times 10^{-1}$$

$$V = 3,1416 \times 2,25 \times 10^{-2} \times 1,8 \times 10^{-1}$$

$$V = 12,72 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

O volume obtido foi convertido em massa (em gramas) para assim obter as calorias perdidas durante o processo. Calculou-se as calorias perdidas por  $0,5^{\circ}\text{C}$  em um minuto, lembrando que caloria é a quantidade de energia necessária para elevar em 1 grau a temperatura de 1g de água.

Pela regra de três calculamos a massa da água:

$$1\text{m}^3 \text{ --- } 10^6 \text{ g}$$

$$12,72 \times 10^{-3} \text{ --- } y$$

$$y = 12,72 \times 10^3 \text{ g}$$

$$1\text{cal} = 1\text{g/seg}$$

C= Calorias perdidas

$$C = 12,72 \times 10^3 \times 0,5^\circ\text{C}$$

$$C = 6360 \text{ cal/min}$$

$$C = \frac{6360}{60} = 106 \text{ cal/s}$$

Após obter esta caloria, foi possível calcular a potência necessária para a realização do experimento, lembrando que 1W equivale a 0,23 cal/s

Agora, pela regra de três calculamos a potência necessária:

P= Potência

$$1\text{W} \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 0,23 \text{ cal/s}$$

$$\times \quad \underline{\hspace{2cm}} \quad 106 \text{ cal/s}$$

$$x = 460 \text{ W}$$

### 3.3 Dimensionamento da Célula de Peltier

Para definir qual o tipo de célula de Peltier necessária para o funcionamento correto do projeto, foram feitas as medidas de temperatura relacionadas no tópico 3.2.1 "Medições de Temperatura" deste documento. Com esses dados e com o cálculo da potência no valor de 460W, foi verificado qual seria o tipo de célula de Peltier ideal para o projeto. O rendimento da célula de Peltier é cerca de 40% e em alguns casos até 70%. Logo, necessitaríamos de, pelo menos, cerca de 900W. O problema foi: custo da fonte de alimentação, colocação de coolers.

Assim, foi decidido que o melhor seria montar o experimento dentro das condições possíveis, e verificar qual temperatura seria possível atingir, sabendo que a troca de calor com meio ambiente também influencia a temperatura da água.

Como o tamanho dos coolers foi um limitador adicional, o reservatório de água fria recebeu quatro células de Peltier de 90W fixadas no fundo exterior da mesma (figura 3.8). Foram realizados novos testes com as células de Peltier para analisar se teriam o efeito desejado. Ou seja, se o processo de resfriamento iria atingir e manter a temperatura planejada.

As células de Peltier utilizadas no projeto possuem as características técnicas abaixo:

- Modelo TEC1-12706
- Tensão máxima: 15,2 V
- Corrente máxima: 06 A
- Diferença de temperatura: ( $\Delta T$ ) 66°C
- Potência: 91,2 W
- Medidas: 40 × 40 × 3.4 mm

A figura 3.7 mostra a imagem da célula de Peltier utilizada no reservatório de água fria.



**Figura 3.7 – Célula de Peltier**

### **3.4 Montagem dos Reservatórios**

Foi feita a montagem dos reservatórios, um que contém quatro células de Peltier, quatro Coolers, além de bomba de água, sensor de nível e de temperatura (Figuras 3.8 e 3.9). O outro com o mergulhão (aquecedor), uma bomba de água, um sensor de nível e um sensor de temperatura (Figuras 3.10 e 3.11 ). Foram instalados também conectores de dados e de energia.



**Figura 3.8 – Reservatório de água fria**



**Figura 3.9 – Cooler e célula de Peltier instalados no reservatório de água fria**



**Figura 3.10 – Reservatórios de água quente e fria**



**Figura 3.11 – Mergulhão instalado no reservatório de água quente**

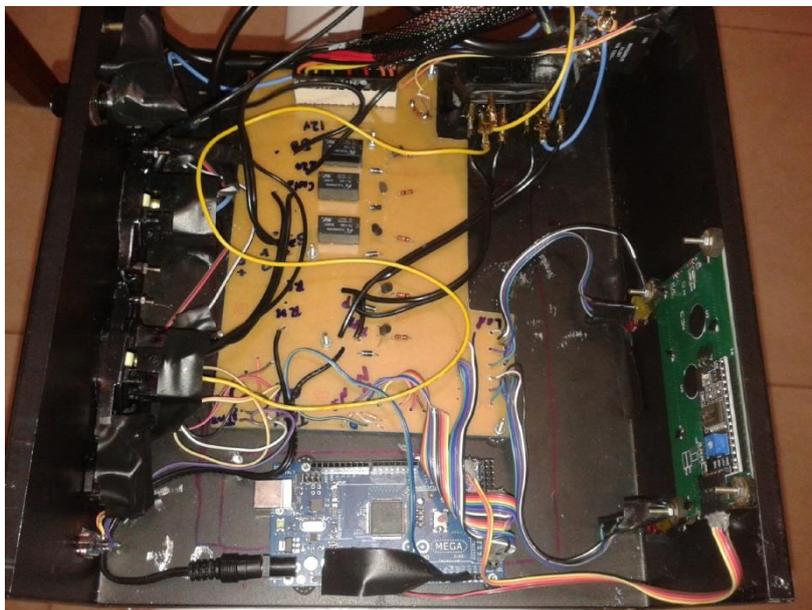
### **3.5 Montagem da unidade de controle**

A unidade de controle contém o microcontrolador Arduino, display digital, chave liga e desliga, fonte de alimentação, conectores de dados e de energia, leds nas cores verde, amarelo e vermelho, além do circuito elétrico. Nas Figuras 3.12 e 3.13 pode-se observar a unidade de controle e o interior da mesma.

No circuito montado na unidade de controle, temos cinco relés. Um dos relés é para controlar o cooler, outro para as bombas de água e um para a buzina. Os relés maiores são para ligar o mergulhão e outro para as células de Peltier.



**Figura 3.12 – Visão geral da unidade de controle**



**Figura 3.13 – Visão por dentro da unidade de controle**

A fonte alimenta o circuito com tensões de 5V para os sensores de nível de água e de temperatura. Alimenta também com 12V para os coolers, buzina, célula de Peltier e o Arduino. O mergulhão e as bombas de água são alimentados diretamente em 220V.

As portas digitais e analógicas do Arduino utilizadas pelo circuito são as relacionadas abaixo:

Entradas Analógicas:

Porta 3 – Sensor de temperatura do reservatório de água quente

Porta 6 – Sensor de temperatura do reservatório de água fria

Entradas digitais:

Portas 41 e 43 para os sensores de nível de água.

Saídas digitais:

Porta 39 – Mergulhão

Porta 37 – Peltier

Porta 35 – Buzina

Porta 33 – Coolers

Porta 31 – Bombas de água

Portas 45, 47, 49, 51, 52 e 53 para os leds.

### **3.6 Software do Arduino**

Com as informações dos valores de temperatura de cada um dos reservatórios feita pelo sensor de temperatura LM35 e enviada ao Arduino para que ele possa ligar e desligar os dispositivos através dos relés, foi desenvolvido através do ambiente de programação em Arduino, um programa (descrito no Apêndice - A) que faz o controle de temperatura da água dos reservatórios.

O Arduino possui a função *setup* onde é feita a configuração das portas utilizadas. Nessa função é declarada se as portas são de dados de entrada ou de saída e também as primeiras informações que serão mostradas no display digital.

A função *loop* é aonde ocorre o controle de temperatura da água. Nessa função temos os comandos “digitalRead(pinoNDQuente)” que lê a informação do sensor de nível de água, “digitalWrite(pinoPeltier,HIGH)” que aciona as células de Peltier, digitalWrite(pinoMerg, LOW) que desliga o mergulhão e analogRead (pinoLM35Q) que lê os dados do sensor de temperatura.

## **CAPÍTULO 4 – TESTES E RESULTADOS**

### **4.1 Testes realizados**

#### **4.1.1 Teste de acionamento dos relés**

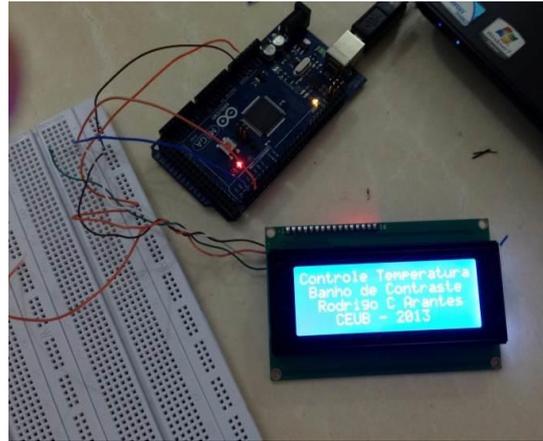
O teste de acionamento dos relés foi realizado por meio do microcontrolador, utilizando um código do Arduino de acionamento de portas. O relés funcionaram corretamente.

O código está no Apêndice – B.

#### **4.1.2 Teste de dois sensores de temperatura e Display digital**

Inicialmente o LM35 apresentou instabilidade de leitura. Lendo o datasheet da National Semiconductors, há a sugestão de se colocar um resistor entre a saída do sinal e o terra junto ao LM35 e outro resistor de igual valor (220 ohms), para a reconstituição do sinal, perto do Arduino, e utilizando somente um cabo de par trançado ( 2 fios) como cabo de dados e tensão. Isso resolveu o problema de instabilidade na leitura e foi feito o teste.

Foi verificado o acionamento através do microcontrolador dos sensores de temperatura e de informações no display digital. Utilizando outro código, verificou-se que os sensores de temperatura leram as informações corretamente e enviaram os dados para o Arduino. Esses dados foram visualizados corretamente no display digital, mostrando os valores de temperatura do reservatório de água quente e do de água fria conforme mostram as figuras 4.1 e 4.2.



**Figura 4.1 – Display Digital**



**Figura 4.2 – Teste do display digital informando valores de temperatura**

#### **4.1.4 Teste da Unidade de Controle e de todo o sistema**

Foi feito o teste de controle de temperatura da água, utilizando o microcontrolador arduino, a resistência e as células de Peltier ligados ao mesmo tempo e controlados pela unidade de controle. O teste geral foi feito utilizando o código Arduino que está no Apêndice – A. As temperaturas são mostradas no display digital (Figura 4.5).

Esse teste mostrou que no reservatório de água quente, a resistência está aquecendo corretamente e o controle da temperatura está correto. O Arduino liga a resistência quando a temperatura está baixa e desliga quando está na temperatura máxima. A água ficou entre as temperaturas de 39 °C e 46 °C. A bomba de água e o sensor de nível de água funcionaram

corretamente e o sensor de temperatura enviou os dados com os valores de temperatura corretamente para o Arduino.

Quanto ao reservatório de água fria, o teste mostrou que as quatro células de Peltier estavam sobrecarregando a fonte de alimentação, pois a mesma estava desligando sozinha. Por este motivo, foi desconectada uma célula de Peltier, quando não ocorreu o problema e o sistema funcionou corretamente com as três células.

Entretanto, as células não conseguiram fazer com que água resfriasse de acordo com os valores de temperatura indicados para o sucesso do tratamento com banho de contraste. Apesar de não atingir a temperatura desejada, os testes mostraram que houve resfriamento da água.

A bomba de água funcionou como planejado e o sensor de temperatura enviou os dados corretamente para o Arduino. Nesse reservatório não foi utilizado o sensor de nível de água, pois o reservatório de água fria recebeu uma quantidade menor de água, o que correspondeu a 9 centímetros de altura. A decisão de reduzir a quantidade de água do reservatório para resfriamento é justificada pelo fato do experimento, neste momento, ter interesse em demonstrar somente a redução da temperatura de água pelas células de Peltier.



**Figura 4.3 – Unidade de controle e Reservatórios**



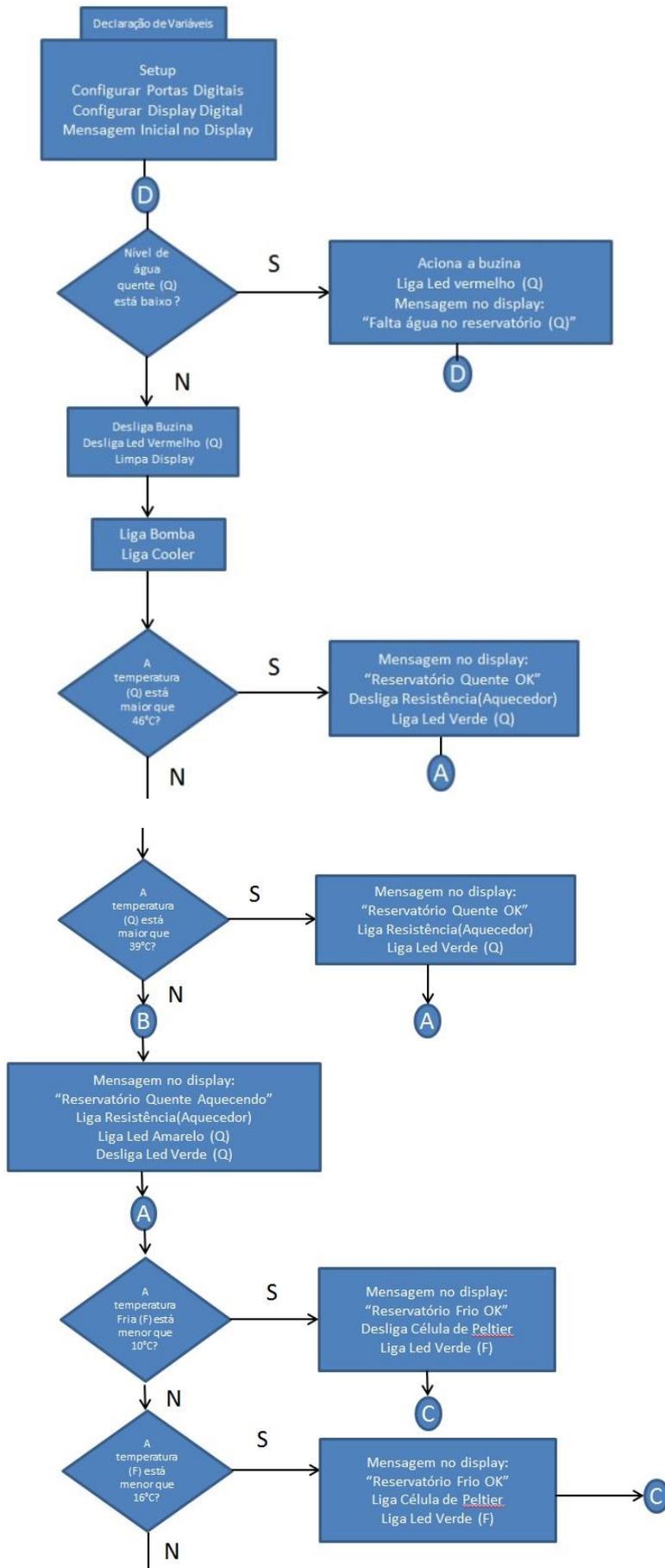
**Figura 4.4 – Unidade de controle em funcionamento**

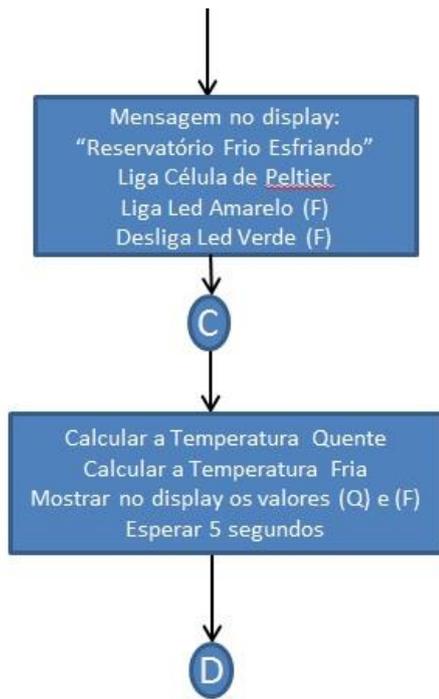


**Figura 4.5 – Valores de temperatura no display digital**

## **4.2 Fluxograma da unidade de controle**

Segue o fluxograma da programação do Arduino.





## **CAPÍTULO 5 – CONSIDERAÇÕES FINAIS**

### **5.1 – Conclusões**

Nesse trabalho foi desenvolvido um protótipo que possui uma unidade de controle e dois reservatórios e que utiliza como base a célula de Peltier e uma resistência.

Com os testes realizados para verificar a temperatura atingida em cada reservatório, concluiu-se que o objetivo geral foi atingido pois a temperatura é controlada pelo Arduino corretamente.

As células de Peltier não possuem uma boa eficiência para resfriar a água em grande quantidade dentro de um reservatório de grandes dimensões como o utilizado nesse projeto.

A demora no resfriamento pode ser explicado também pelas possíveis transferências de calor da superfície da água, com os pés de alumínio dos reservatórios, com as bombas de água que transmitem calor em seu funcionamento, com os parafusos de fixação dos coolers e com o meio ambiente.

Finalmente, apesar de não atingir a temperatura ideal (entre 8 °C e 15 °C no reservatório frio), os testes serviram para demonstrar que as células de Peltier realizaram o resfriamento da água.

### **5.2 - Sugestões para trabalhos futuros**

Utilizar células de Peltier de maior potência. Aumentar o número de células para atingir a temperatura especificada na terapia de banho de contraste. Utilizar fontes mais potentes.

Fazer uma proteção mecânica para evitar o contato direto do paciente com o mergulhão.

A viabilidade operacional e financeira da célula de Peltier necessita de outras avaliações em relação ao tamanho e material do recipiente, volume de água necessário para o resfriamento e à troca de calor com o ambiente.

Estudos complementares deveriam ser realizados no intuito de desenvolver ou verificar a possibilidade de utilização de outros componentes para resfriamento de água.

## REFERÊNCIAS

ARDUINO. Disponível em < Fonte: [www.Arduino.cc/](http://www.Arduino.cc/)>. Acesso em: agosto de 2013.

AUGUSTO, VG. Um olhar sobre as LER/DORT no contexto clínico do fisioterapeuta. Rev. bras. fisioter. [online]. 2008, vol.12, n.1 [citado 2013-01-08], pp. 49-56. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1413-35552008000100010&lng=pt&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-35552008000100010&lng=pt&nrm=iso)>

BARBASH G.I.; GLIED S. A. New Technology and Health Care Costs - The Case of Robot-Assisted Surgery. New England Journal of Medicine, 363;8. august 19, 2010. 701-704. Disponível em: <http://www.doctorsandmanagers.net/adjuntos/250.1-NEJMp1006602.pdf>

BENNETT C.O; MYERS.J.E. Fenômenos de Transporte. 2 ed. Mcgraw Hill 2008.

BRASIL. Conselho Nacional de Secretários de Saúde. Assistência de Média e Alta Complexidade no SUS / Conselho Nacional de Secretários de Saúde. – Brasília : CONASS, 2007. 248 p. (Coleção Progestores – Para entender a gestão do SUS, 9)

GIMENEZ, SALVADOR PINILLOS Microcontroladores 8051 São Paulo : Pearson

Education do Brasil, 2002

HALLIDAY, David e RESNICK, Robert e KRANE, Kenneth S., Física 2 e 3. 5ª. Ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

MERHY E.E.; FRANCO T.B. Por uma Composição Técnica do Trabalho Centrada nas Tecnologias Leves e no Campo Relacional. Saúde em Debate, Ano XXVII, v.27, N. 65, Rio de Janeiro, Set/Dez de 2003.

SOUZA, Daniel de Oliveira. Condicionador de ar para cabine de caminhão, utilizando Células de Peltier. Monografia, Faculdade de Tecnologia e Ciências Aplicadas, Centro Universitário de Brasília, Brasília, DF, 2011. Orientado por: FARIAS, Maria Marony.

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

TECNOLOGIA em Peltier. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br>>. Acesso em: agosto de 2013

## APÊNDICE – A

Neste Apêndice – A é mostrado o código utilizado no Arduino para o controle de temperatura.

```
#include <Wire.h>

#include <LiquidCrystal_I2C.h>

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27,20,4);

int pinoNDQuente=41;

int pinoBuz=35;

int pinoLM35Q=3;

int pinoLM35F=6;

int pinoCooler=33;

int pinoPeltier=37;

int pinoBomba=31;

int pinoMerg=39;

float valorLidoQ=0;

float valorLidoF=0;

float temperaturaQ=0;

float temperaturaF=0;

int ledVerdeQ=52;

int ledAmareloQ=53;

int ledVermelhoQ=51;

int ledVerdeF=49;

int ledAmareloF=47;

int ledVermelhoF=45;
```

```
void setup()
{
  pinMode(pinoNDQuente, INPUT_PULLUP);
  pinMode(pinoBomba,OUTPUT);
  pinMode(pinoMerg,OUTPUT);
  pinMode(pinoCooler,OUTPUT);
  pinMode(pinoPeltier,OUTPUT);
  pinMode(pinoBuz,OUTPUT);
  pinMode(ledVermelhoQ,OUTPUT);
  pinMode(ledAmareloQ,OUTPUT);
  pinMode(ledVerdeQ,OUTPUT);
  pinMode(ledVermelhoF,OUTPUT);
  pinMode(ledAmareloF,OUTPUT);
  pinMode(ledVerdeF,OUTPUT);

  lcd.init();

  lcd.backlight();

  lcd.setCursor(0,0);
  lcd.print("Controle Temperatura");
  lcd.setCursor(1,1);
  lcd.print("Banho de Contraste ");
  lcd.setCursor(2,2);
  lcd.print("Rodrigo C Arantes");
  lcd.setCursor(4,3);
  lcd.print("CEUB - 2013");
```

```
delay (10000);  
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("      ");  
lcd.setCursor(1,1);  
lcd.print("      ");  
lcd.setCursor(2,2);  
lcd.print("      ");  
lcd.setCursor(4,3);  
lcd.print("      ");  
temperaturaF = 50.0;  
}  
  
void loop()  
{  
  if (digitalRead(pinoNDQuente) == LOW)  
  {  
    digitalWrite(pinoBuz, HIGH);  
    digitalWrite(ledVermelhoQ,HIGH);  
    lcd.setCursor(0,0);  
    lcd.print("      ");  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("Falta AGUA Res QUENT");  
    lcd.setCursor(0,2);  
    lcd.print("      ");  
    lcd.setCursor(0,3);  
    lcd.print("      ");
```

```
}  
else {  
    lcd.setCursor(0,1);  
    lcd.print("      ");  
    digitalWrite(pinoBuz, LOW);  
    digitalWrite(ledVermelhoQ,LOW);  
    digitalWrite(pinoBomba,HIGH);  
    digitalWrite(pinoCooler,HIGH);  
  
    if (temperaturaQ > 44.0) {  
        lcd.setCursor(0,0);  
        lcd.print("Reserv Quente OK  ");  
        digitalWrite(pinoMerg,LOW);  
        digitalWrite(ledAmareloQ, LOW);  
        digitalWrite(ledVerdeQ, HIGH);  
        digitalWrite(ledVermelhoQ, LOW);  
    }  
    else if (temperaturaQ > 39.0) {  
        lcd.setCursor(0,0);  
        lcd.print("Reserv Quente OK  ");  
        digitalWrite(pinoMerg,HIGH);  
        digitalWrite(ledAmareloQ, LOW);  
        digitalWrite(ledVerdeQ, HIGH);  
        digitalWrite(ledVermelhoQ, LOW);  
    }  
    else {
```

```
lcd.setCursor(0,0);  
lcd.print("Reserv Quente Aquec ");  
digitalWrite(pinoMerg,HIGH);  
digitalWrite(ledAmareloQ, HIGH);  
digitalWrite(ledVerdeQ, LOW);  
digitalWrite(ledVermelhoQ, LOW);  
}  
if (temperaturaF < 10.0) {  
  lcd.setCursor(0,2);  
  lcd.print("Reserv Frio OK ");  
  digitalWrite(pinoPeltier,LOW);  
  digitalWrite(ledAmareloF, LOW);  
  digitalWrite(ledVerdeF, HIGH);  
  digitalWrite(ledVermelhoF, LOW);  
}  
else if (temperaturaF < 16.0) {  
  lcd.setCursor(0,2);  
  lcd.print("Reserv Frio OK ");  
  digitalWrite(pinoPeltier,HIGH);  
  digitalWrite(ledAmareloF, LOW);  
  digitalWrite(ledVerdeF, HIGH);  
  digitalWrite(ledVermelhoF, LOW);  
}  
else {  
  lcd.setCursor(0,2);  
  lcd.print("Reserv Frio Esfr ");
```

```
digitalWrite(pinoPeltier,HIGH);  
digitalWrite(ledAmareloF, HIGH);  
digitalWrite(ledVerdeF, LOW);  
digitalWrite(ledVermelhoF, LOW);  
}  
valorLidoQ = analogRead (pinoLM35Q);  
temperaturaQ = valorLidoQ * 500 / 1023;  
valorLidoF = analogRead (pinoLM35F);  
temperaturaF = valorLidoF * 500 / 1023;  
lcd.setCursor(0,1);  
lcd.print("Temp Q: " + String((int)temperaturaQ));  
  
lcd.setCursor(0,3);  
lcd.print("Temp F: " + String((int)temperaturaF));  
  
delay(5000);  
}  
}
```

**APÊNDICE – B**

Teste de acionamento dos relés:

```
int pinTeste=37;

void setup () {

    pinMode (pinTeste, OUTPUT);

    pinMode (13, OUTPUT);

}

void loop() {

    digitalWrite (pinTeste, HIGH);

    digitalWrite (13, HIGH);

    delay (500);

    digitalWrite (pinTeste, LOW);

    digitalWrite (13, LOW);

    delay (2000);

}
```