

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CAMPUS PONTA GROSSA – DEPARTAMENTO DE ELETRÔNICA
TECNOLOGIA EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

**ALISSON LUIZ BUENO
LEANDRO CESAR DALOSKI
RAFAEL DALBELLO ALMEIDA**

**APLICAÇÃO DE PASTILHAS PELTIER PARA FABRICAÇÃO DE
HIDROMEL**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PONTA GROSSA

2018

**ALISSON LUIZ BUENO
LEANDRO CESAR DALOSKI
RAFAEL DALBELLO ALMEIDA**

**APLICAÇÃO DE PASTILHAS PELTIER PARA FABRICAÇÃO DE
HIDROMEL**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito para a obtenção do título de Tecnólogo em Automação Industrial, do Departamento de Eletrônica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. Abraham Elias Ortega Paredes

PONTA GROSSA

2018



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Câmpus Ponta Grossa
Diretoria de Graduação e Educação
Profissional Departamento Acadêmico de
Eletrônica



Tecnologia em Automação Industrial

TERMO DE APROVAÇÃO

APLICAÇÃO DE PASTILHAS PELTIER PARA FABRICAÇÃO DE
HIDROMEL

por

ALISSON LUIZ BUENO

LEANDRO CESAR DALOSKI

RAFAEL DALBELLO ALMEIDA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em 06 de dezembro de 2018 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel(a) em Tecnologia em Automação Industrial. Os candidatos foram arguidos pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

Prof(a). Dr. Abraham Elias Ortega Paredes
Orientador(a)

Prof(a). Dr. Felipe Mezzadri
Membro Titular

Prof(a). Dr. Josmar Ivanqui
Membro Titular

Prof. Dr. Josmar Ivanqui
Responsável pelos TCC

Prof. Dr. Felipe Mezzadri
Coordenador do Curso

– O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso –

Dedico aos meus familiares, amigos e
companheiros de trabalho que me
apoiaram e me deram bons conselhos
durante toda à minha trajetória e também
a todos os professores e colegas de
classe que estiveram ao meu lado durante
esta fase de conhecimento e aprendizado,
sempre dispostos a ajudar.
(BUENO, Alisson – 2018)

Dedico este trabalho a minha família e
amigos que compreenderam as minhas
ausências durante todo o período do
curso e a todos os professores e
funcionários da UTFPR – Câmpus Ponta
Grossa, que com dedicação sempre se
mostraram dispostos a ajudar e transmitir
seus conhecimentos da melhor forma
possível.
(DALOSKI, Leandro - 2018)

Dedico este trabalho aos meus pais,
Lourival e Geni, pelo apoio, também a
minha noiva, e futura esposa, Juliana por
sua companhia nos momentos de
angústia, ao meu irmão Jeferson que me
ajudou com os materiais em inglês, sendo
meu tradutor predileto, aos professores e
a todos que me ajudaram a conclusão
deste trabalho e formação.
(ALMEIDA, Rafael - 2018)

AGRADECIMENTOS

Agradecemos a DEUS, primeiramente, por nos permitir terminar este curso e nos conceder forças para seguir em frente, mesmo que por diversas vezes pensamos em desistir.

A esta instituição que, com seu corpo docente, direção e administração oportunizaram a janela que hoje vislumbramos um horizonte superior, alicerçado pela acendrada confiança no mérito e ética aqui presentes.

Aos nossos pais, cônjuges e familiares pelo amor, incentivo e apoio incondicional.

Agradecemos a cada um de nós integrantes deste grupo, por termos nos apoiados e respeitado a cada situação adversa enfrentada.

Ao nosso orientador Prof. Dr. Abraham Elias Ortega Paredes e também nosso coordenador Prof. Dr. Felipe Mezzadri, que nos deram ajuda com seus conhecimentos, suas correções e incentivos.

Enfim, a todos os que por algum motivo direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa e nossa formação.

Beber a grandes tragos extingue a sede;
beber em pequenos goles prolonga o
prazer da bebida. Assim é também com a
relação ao prazer do amor. E com tudo o
mais na vida. (Proverbio Italiano)

RESUMO

BUENO, Alisson; DALOSKI Leandro; ALMEIDA, Rafael. **Aplicação de pastilhas Peltier para fabricação de Hidromel**. 2018. 39f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Automação Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

O presente trabalho foi proposto a fim de desenvolver uma ferramenta que auxilie o processo de fermentação de hidromel com temperatura controlada. Sendo que o mosto é fermentando por meio de uma reação exotérmica, a mesma libera o calor produzido, prejudicando algumas propriedades da levedura e deixando no produto final aromas não desejáveis. A proposta é utilizar pastilhas de Peltier em uma caixa com isolamento térmico e um Arduino para controle, a fim de produzir um fermentador de baixo custo, tendo como público alvo os produtores de “garagem”, que executam a prática por *hobby*.

Palavras-chave: Fermentação. Peltier. Hidromel. Mosto. Temperatura.

ABSTRACT

BUENO, Alisson; DALOSKI, Leandro; ALMEIDA, Rafael. **Application of Peltier pellets for the production of Mead.** 2018. 39pg. Term Paper (Automation Technology) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Ponta Grossa, 2018.

The present term paper was proposed in order to develop a tool that helps with the process of mead fermentation with temperature control. Keeping in mind that the wort fermentation is an exothermic reaction that liberates heat, harming some of the yeast properties, leaving on the final product some undesirable aromas. The idea is to use Peltier plates inside a thermal box been controlled by an Arduino controller, to produce a low-cost fermenter, having as target audience the “garage” producers that ferments mead as a hobby.

Keywords: Fermentation. Peltier. Mead. Wort. Temperature.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Pastilha de Peltier	14
Figura 2 - Princípio de funcionamento dos módulos termoeletricos Peltier.....	15
Figura 3 - Sensor de temperatura	18
Figura 4 - Especificações da fonte	19
Figura 5 - Fonte de alimentação.....	19
Figura 6 - Resistência 220 volts	20
Figura 7 - Esquema teórico do funcionamento do projeto.....	21
Figura 8 - Recipiente de isopor	23
Figura 9 - Recipiente usinado.....	23
Figura 10 - Dissipador de alumínio fixado na caixa de isopor.	24
Figura 11 - Montagem da resistência	24
Figura 12 - Recipiente montado	25
Figura 13 - Temperatura das placas de Peltier	27
Figura 14 - Recipiente impermeabilizado completo.....	27
Figura 15 - Recipiente montado e com água	28
Figura 16 - Perfis de alumínio	29
Figura 17 - Pré-montagem segundo protótipo de resfriador.....	29
Figura 18 - Montagem final do segundo protótipo.....	30
Figura 19 - Protótipo dois com os dissipadores de potência.	31
Figura 20 - Código Arduino (inclusão bibliotecas e definições de variáveis).....	32
Figura 21 - Código Arduino (void setup).....	33
Figura 22 - Código Arduino (Função para visualizar o endereçamento do sensor DS18B20).....	33
Figura 23 - Código Arduino (void loop).....	34
Figura 24 - IDE Arduino (exemplo de inicialização do programa do micro controlador)	34
Figura 25 - Monitoramento de temperatura durante o teste 03	35
Figura 26 - Pastilha de Peltier TEC1-12706.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA	12
1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS	12
1.3 OBJETIVO	12
1.3.1 Objetivo geral.....	13
1.3.2 Objetivo específico.....	13
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1 PASTILHAS TERMOELÉTRICAS DE PELTIER.....	14
2.2 TERMODINÂMICA.....	15
2.2.1 Condução Térmica.....	16
2.2.2 Convecção Térmica	16
2.2.3 Irradiação Térmica	17
2.3 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20.....	17
2.4 FONTE DE ALIMENTAÇÃO	19
2.5 RESISTÊNCIA	20
3 DESENVOLVIMENTO.....	21
3.1 CONFECÇÃO RECIPIENTE RESFRIADOR/AQUECEDOR.....	23
3.2 VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DAS PASTILHAS DE PELTIER COM DISSIPADORES SOMENTO NA FACE QUENTE	26
3.3 IMPERMEABILIZAÇÃO E ISOLAMENTO TÉRMICO DO RECIPIENTE RESFRIADOR/AQUECEDOR	27
3.4 PROTÓTIPO COM PERFIS DE ALUMÍNIO RESFRIADOR E AQUECEDOR..	28
3.5 REMONTAGEM DO PROTÓTIPO COM PERFIS DE ALUMÍNIO	31
3.6 CÓDIGO ARDUINO	32
4 RESULTADOS	35
4.1 POSSÍVEIS SOLUÇÕES	36
5 CONCLUSÃO.....	38
REFERÊNCIAS.....	39

1 INTRODUÇÃO

No decorrer dos anos a automação industrial está cada vez mais presente nos mais diversos segmentos das indústrias.

As implantações dos sistemas automatizados são feitas para alcançar os mais variados objetivos, podendo ser o aumento de produtividade, segurança, qualidade e repetitividade em processos ou produtos, etc.

Seguindo essa premissa e observando a ascensão do mercado de produtos artesanais no Brasil, este projeto consiste em verificar a capacidade de trabalho das pastilhas de Peltier, a fim de aplicá-las em um dispositivo automatizado de controle de temperatura, que será utilizado no processo de fermentação de bebidas artesanais, com um foco mais voltado para produção do Hidromel.

Segundo Pinto, Tales, (2018), O Hidromel conhecido também por “néctar dos deuses” é uma bebida alcoólica obtida através da fermentação da mistura de mel e água, sendo provavelmente a mais antiga do mundo. Existem relatos que essa bebida foi consumida desde a Grécia Antiga até a Índia, sendo encontrados ainda indícios que os povos Maias também a consumiam. Mas foi mesmo durante a Idade Média que seu consumo tornou-se popular por todo o continente que conhecemos hoje como Europa. Atualmente a bebida segue o mesmo princípio básico de fabricação, porém, ao contrário do passado, que basicamente eram utilizados agentes fermentadores comuns para o processo de fermentação, hoje dispomos diversas variedades de leveduras¹ para tal finalidade, sendo que cada uma dessas leveduras possuem suas próprias características de trabalho, ou seja, para que possamos extrair o máximo proveito das características de cada fungo, precisamos fornecer o ambiente perfeito de trabalho que cada um necessita. Para isso se faz necessário o controle da temperatura do ambiente de fermentação.

Este controle deve ser automatizado, pois a temperatura de fermentação para certas leveduras deve se manter constante durante todo o processo, ou seja, o sistema utilizado deve ser capaz de corrigir todas as oscilações de temperaturas, tanto as provenientes do ambiente externo, quanto as provenientes da própria

¹ Leveduras são certos tipos de fungos. São organismos unicelulares, os quais não efetuam fotossíntese e num geral se reproduzem de modo assexuado. Esses fungos se multiplicam rápido e também realizam respiração anaeróbica, ou fermentação, sendo assim muito utilizados nas produções de bebidas alcoólicas e massas como os pães.

fermentação. Caso o controle não ocorra, poderão ocorrer perdas significativas de qualidade ou até perdas totais de produção, acarretando em prejuízos financeiros consideráveis.

1.1 DELIMITAÇÃO DO TEMA

O trabalho centraliza-se na área de instrumentação, sendo basicamente a verificação do desempenho das pastilhas de Peltier por meio de testes práticos, a fim de averiguar se as mesmas possuem a capacidade de atuar no controle de temperatura em um fermentador de bebidas artesanais.

1.2 PROBLEMAS E PREMISSAS

Muitas das leveduras utilizadas nos processos de fermentação de bebidas artesanais possuem *ranges* de temperatura de trabalho bem estreitos, isto é, para obter o melhor aproveitamento possível destes fermentos é preciso um controle de temperatura do mosto².

Além disso, os equipamentos hoje disponíveis no mercado para essa função são de elevado custo, tornando inviável sua aquisição para pequenos produtores e praticantes do *hobby*.

Espera-se que ao término desse trabalho, possa se atingir resultados satisfatórios sobre a possibilidade da aplicação das pastilhas de Peltier em um equipamento economicamente viável e totalmente funcional comparado com os encontrados no mercado atualmente.

1.3 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é a verificação da capacidade térmica das pastilhas de Peltier, a fim de averiguar sua possível aplicação em um dispositivo de baixo custo, que será utilizado para o controle de temperatura na fabricação em pequenas escalas de bebidas fermentadas.

² Mosto: É todo tipo de mistura açucarada destinada à fermentação alcoólica.

1.3.1 Objetivo geral

Obtenção de dados sobre a viabilidade da utilização das pastilhas de Peltier como atuadoras no processo de fabricação de Hidromel.

1.3.2 Objetivo específico

- Verificar com o auxílio de sensores de temperatura o comportamento das pastilhas de Peltier ao serem ligadas em um circuito de malha aberta.
- Criar um dispositivo de controle de temperatura para fermentação em pequenas escalas de bebidas, utilizando pastilhas de Peltier como atuadoras.
- Obter um líquido fermentado com equivalência de temperatura adequada;
- Tornar este projeto economicamente viável para práticas do *hobby* de fabricação artesanal de bebidas fermentadas;

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 PASTILHAS TERMOELÉTRICAS DE PELTIER

Pastilhas termoelétricas com efeito Peltier (Figura 1), são pequenos cubos de Telureto de Bismuto (Bi_2Te_3), comprimidas por duas placas de cerâmica que agem como bombas de calor, assim como o próprio nome diz, trabalham com o princípio do “Efeito Peltier”, esse efeito foi pesquisado em 1834, por Jean Charles Athanase Peltier. Pela aplicação de uma corrente elétrica em seus terminais, produz um diferencial de temperatura entre as duas placas cerâmicas, tendo o calor transferido de um lado para o outro da pastilha, conforme verificado na patente US Patent 0073716 [2002]. As grandes vantagens das pastilhas de Peltier são dadas por não possuir peças móveis, a não utilizar “gás Freon”³, também não emitem ruídos e vibrações; além de ter tamanho reduzido, alta durabilidade e precisão. É importante salientar que por mais tecnologicamente avançados que sejam, os módulos não consomem calor, por isso é necessário o uso de dissipador de calor.

Figura 1 - Pastilha de Peltier

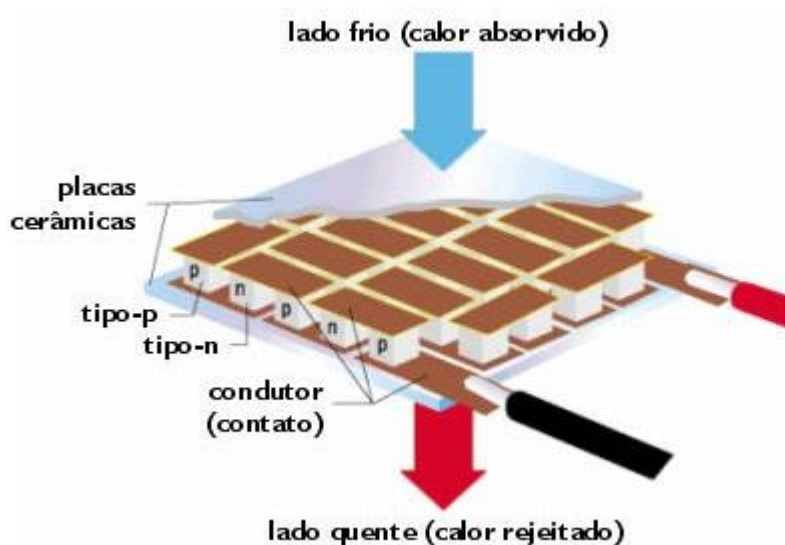


Fonte: Autoria própria

³ Gás Freon: O gás Freon foi descoberto em 1931, desde então passou a ser muito utilizado no circuito de uma geladeira. No entanto hoje sabemos que este gás é nocivo à camada de ozônio.

Pastilhas Peltier possuem em sua composição materiais semicondutores tipo-n e tipo-p, agrupados em pares. Quando a corrente elétrica passa por estes materiais ocorre o aquecimento na “junta quente” e o resfriamento na “junta fria”. Vale ressaltar que essa variação de temperatura causada pela transferência de calor de um lado ao outro das juntas dos semicondutores possibilita a transferência de calor do ambiente no entorno da junta fria da pastilha para a junta quente, como podemos ver na Figura 2.

Figura 2 - Princípio de funcionamento dos módulos termoelétricos Peltier.



Fonte: www.efeitopeltier.com.br

2.2 TERMODINÂMICA

A termodinâmica é uma área da física na qual se estuda as relações entre a troca de calor em um determinado processo físico onde envolve a presença de um corpo, sistema e um meio externo. A física procura compreender o comportamento de algumas transformações que se ocorrem na natureza, isto sendo por meio das variações de temperatura, volume e pressão. (SANTOS, 2018).

- Calor é energia térmica, e ocorre das diferenças de temperatura existentes entre os sistemas envolvidos ou corpos.
- Energia é a capacidade de realização de trabalho de um corpo.

2.2.1 Condução Térmica

Segundo Santos, Marco Aurélio da Silva, (2018). Condução térmica é o calor que se propaga e consiste na energia térmica sendo transferida entre as partículas que compõe o sistema, por exemplo, ao colocar em uma chama de fogo uma das extremidades de uma barra metálica, após alguns instantes, percebe-se o aumento de temperatura em sua outra extremidade, mesmo com essa fora da chama. Esse fato ocorre porque o material é formado por partículas que receberão energia, assim essas partículas passarão a se agitar de uma forma mais intensa, sendo assim, com esta agitação as partículas passam a transferir a energia uma a uma, se propagando em toda a barra até alcançar a outra extremidade.

Esse tipo de transferência ocorre com maior ou menor facilidade dependendo da constituição atômica do material, onde mostra a classificação do material como condutor ou isolante de calor. Nos materiais condutores este processo de transferência acontece de forma mais rápida, por exemplo, nos metais. Já nos materiais isolantes, como na borracha e na lã, esse processo ocorre mais lentamente.

2.2.2 Convecção Térmica

Segundo Santos, Marco Aurélio da Silva, (2018). Convecção térmica é a propagação do calor que ocorre em geral nos fluidos, em consequência da diferença de densidade entre as partes que formam o sistema, por exemplo, os alimentos na geladeira, são resfriados desta forma, isso se dá pelo fato do ar quente ser menos denso que o ar frio, justificando o motivo pelo qual o congelador fica na parte de cima da geladeira. Desta maneira, formam-se as correntes de convecção, o ar frio desce para resfriar os alimentos e o ar quente menos denso sobe para ser resfriado, mantendo os alimentos sempre bem conservados. Os equipamentos de ar condicionado utilizam da mesma teoria, por este motivo são instalados preferencialmente na parte superior dos cômodos.

2.2.3 Irradiação Térmica

Também conforme Santos, Marco Aurélio da Silva, (2018). A condução e a convecção são formas de propagação de calor que para ocorrerem é necessário que haja um meio material, entretanto, a irradiação térmica é uma terceira forma de propagação de calor e não necessita de um meio material para se propagar, ou seja, se propaga no vácuo. Esse tipo de propagação de calor ocorre com as ondas eletromagnéticas como os raios infravermelhos. É dessa forma que a Terra é aquecida pelo Sol todos os dias, como também é desta forma que se mantém a temperatura de líquido no interior de uma garrafa térmica.

A garrafa térmica é construída de uma forma onde se busca a máxima redução dos três processos de propagação de calor. Primeiramente, há o vácuo entre suas paredes, impedindo a propagação do calor por condução, as quais também são espelhadas externamente e internamente, de uma forma que sejam refletidos os raios infravermelhos, assim evitando a irradiação. Por fim temos a tampa, quando bem fechada evita o processo de propagação por convecção. Construída dessa maneira, a garrafa térmica mantém por um maior tempo a temperatura do líquido que está em seu interior.

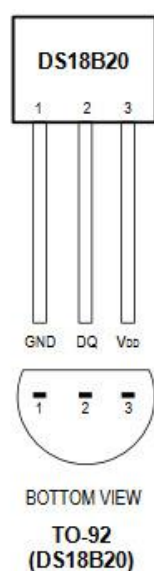
2.3 SENSOR DE TEMPERATURA DS18B20

O DS18B20 é um termômetro digital que oferece um range de 9 à 12 *bits*, o mesmo se comunica com apenas um fio que por definição requer apenas uma linha de dados e também possui um fio terra e um fio positivo para concluir sua comunicação com o microcontrolador (*Arduino*), além disto o sensor pode utilizar a energia de alimentação diretamente na linha de dados, eliminando a necessidade de uma fonte de alimentação externa. Cada sensor possui um código serial exclusivo de 64 *bits*, isto possibilita que múltiplos sensores funcionem no mesmo microcontrolador, permitindo que seja possível o monitoramento de temperatura em áreas internas de edifícios, equipamentos ou máquinas e sistema de monitoramento e controle de processos.

O sensor em questão possui uma variação de medição de temperatura entre -55°C à $+125^{\circ}\text{C}$, apresentando uma precisão de $\pm 0,5^{\circ}\text{C}$. Em sua medição mais precisa, temos um intervalo de temperatura suficiente para a aplicação deste sensor no processo de controle de temperatura de fermentação de bebidas.

O DS18B20 possui três fios de ligação, como na Figura 3, onde o fio “DQ” é responsável pela transmissão dos dados digitais do sensor, o “GND” é o fio responsável pela ligação no terra do microcontrolador e o fio “Vdd” que é ligado no +5V do Arduino.

Figura 3 - Sensor de temperatura



Fonte: datasheets.maximintegrated.com/em/ds/DS18B20.pdf

2.4 FONTE DE ALIMENTAÇÃO

A fonte utilizada foi uma fonte chaveada, da marca Genuína e modelo 50A, com uma tensão de 12Vcc (*Volts* corrente contínua) de saída, entrada *bi-volt* 110/240Vca (*Volts* corrente alternada) funcionando em 50/60Hz (*Hertz*), compatível com a rede de energia disponível no Brasil, com capacidade de fornecimento de 50A (*Ampere*), como verificado na Figura 4 e Figura 5.

Figura 4 - Especificações da fonte



Fonte: Autoria própria

Figura 5 - Fonte de alimentação

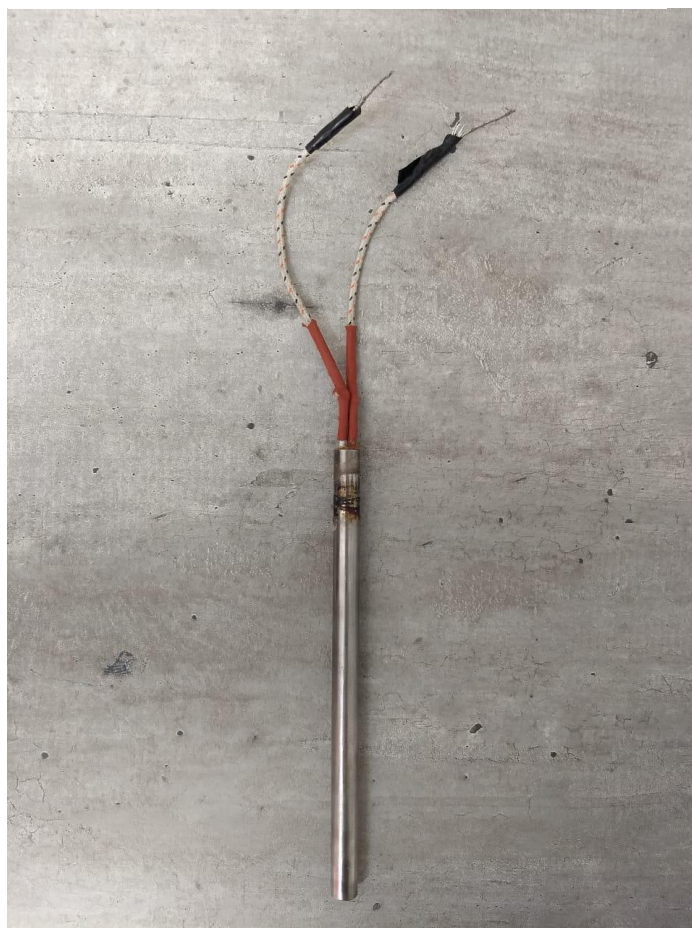


Fonte: Autoria própria

2.5 RESISTÊNCIA

A resistência utilizada foi adquirida de um aproveitamento, pois inicialmente será utilizada na fase de prototipagem, sendo assim a mesma poderá ser substituída posteriormente por um modelo definitivo, o qual deverá ser dimensionado para a aplicação. A mesma trabalha com uma tensão de alimentação de 220Vca, e uma potência estimada de 2000W (*Watts*). Possui as dimensões de 10 mm de diâmetro e 150 mm de comprimento, como mostra a Figura 6.

Figura 6 - Resistência 220 volts



Fonte: Autoria própria

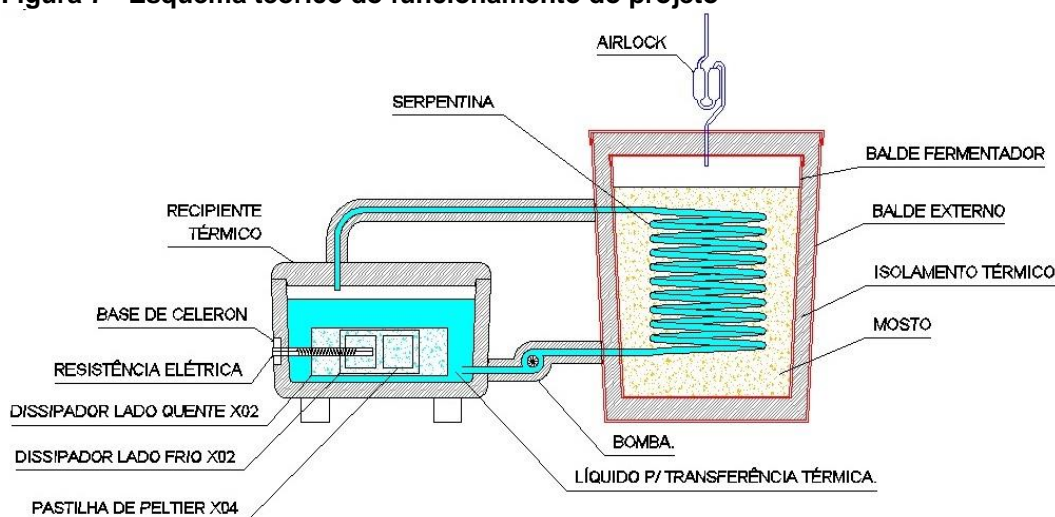
3 DESENVOLVIMENTO

Com uma ideia em mente, optou-se em fazer *Brainstorming*⁴ do qual se obteve um consenso sobre o desenvolvimento do projeto. Durante este processo os embasamentos teóricos utilizados foram provenientes de debates com professores, pesquisas em artigos, *sites* e *datasheets*⁵.

Após estes estudos houve a aceitação de ideias para o seguinte projeto, onde se teria a utilização: uma serpentina, um balde fermentador, um balde maior que o fermentador, um *airlock*⁶, um reservatório de água, quatro pastilhas de Peltier TEC1-12706, uma resistência elétrica, uma bomba d'água, dois sensores de temperatura DS18B20, dois dissipadores de calor, duas placas de alumínio, quatro *coolers*, uma fonte chaveada de 50A, uma plataforma de prototipagem Arduino Nano com microcontrolador *Atmega* 328.

O sistema basicamente seria constituído por um resfriador e aquecedor acoplado no mesmo recipiente, do qual um líquido de temperatura controlada deveria ser bombeado através de uma serpentina submersa no mosto, a fim de se obter uma equivalência de temperatura entre o líquido de arrefecimento (água) e o mosto, ou seja, controlar a temperatura do fermentador, isoladamente do meio externo conforme Figura 7.

Figura 7 - Esquema teórico do funcionamento do projeto



Fonte: Autoria própria

⁴ *Brainstorming*: Nome dado a uma técnica grupal (ou individual) na qual são realizados exercícios mentais com a finalidade de resolver problemas específicos.

⁵ *Datasheet*: Folha de dados de componentes elétricos e eletrônicos.

⁶ *Airlock*: Dispositivo para alívio dos gases provenientes do processo de fermentação, possibilitando isolar o líquido fermentado do oxigênio do ambiente.

O controle da planta seria feito utilizando dois sensores de temperatura DS18B20, um dentro do recipiente fermentador e outro externamente. Deste modo o microcontrolador faria a leitura da temperatura interna e externa da planta e compararia com o *setpoint*⁷, assim corrigindo a diferença atuando com as pastilhas de Peltier se o mosto estivesse com a temperatura superior à do *setpoint*, ou atuando com a resistência em um caso contrário. Caso a temperatura do *setpoint* fosse igual à temperatura externa da planta, ambos os atuadores seriam desligados, com o intuito de poupar energia.

Sobre o projeto da planta, o sistema em questão foi determinado, pois com a serpentina submersa no mosto e ao centro do fermentador, haveria teoricamente uma melhor transferência de temperatura, deixando toda a mistura com uma temperatura homogênea e também evitando ao máximo o efeito de convecção, o qual é prejudicial à qualidade da bebida final. Pois durante o processo de fermentação surgem no mosto pequenas partículas, as quais devem se sedimentar ao fundo do recipiente fermentador a fim de se obter ao final do processo uma bebida parcialmente ou totalmente clarificada. Assim dispensando um processo posterior de clarificação.

Com isso em mente iniciou-se uma série de testes para a verificação de desempenhos das pastilhas de Peltier.

⁷ *Setpoint*: “É o valor alvo no qual um controlador de temperatura tenta manter a variável de processo”.

3.1 CONFECÇÃO RECIPIENTE RESFRIADOR/AQUECEDOR

Para a construção do recipiente resfriador/aquecedor necessário no projeto, foi utilizada uma caixa de isopor pequena com medidas internas aproximadas de 150 x 250 x 130 mm e volume máximo aproximado de 4,87L, como na Figura 8.

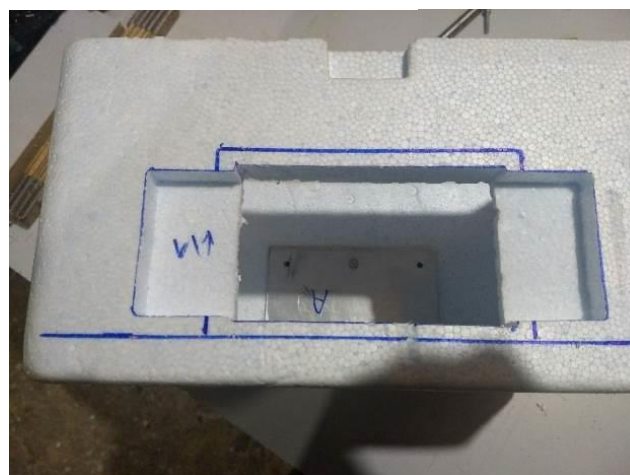
Figura 8 - Recipiente de isopor



Fonte: Autoria própria

A preparação da caixa para a construção do recipiente foi feita da seguinte forma. Primeiramente foram usinados rebaixos nas laterais da caixa, como mostra a Figura 9. Esses rebaixos foram necessários para reduzir a espessura das laterais da caixa para a mesma espessura das pastilhas de Peltier, a fim de permitir a fixação dos dissipadores em total contato com as placas de cerâmica das pastilhas de Peltier.

Figura 9 - Recipiente usinado



Fonte: Autoria própria

Após a confecção dos rebaixos, utilizando um adesivo de poliuretano, foram fixados na caixa os dissipadores de alumínio responsáveis pelo lado frio das pastilhas de Peltier, como mostra a Figura 10, e a resistência, Figura 11.

Figura 10 - Dissipador de alumínio fixado na caixa de isopor.



Fonte: Autoria própria

Figura 11 - Montagem da resistência



Fonte: Autoria própria

Em um terceiro momento foi efetuada a montagem das pastilhas de Peltier na caixa, as mesmas foram posicionadas com pasta térmica dos dois lados e mantidas em suas posições pelos próprios dissipadores, os quais foram unidos por 06 parafusos de inox M4x20mm de cada lado, formando uma espécie de “sanduíche”, o que garantiu um bom contato das pastilhas de Peltier com os dissipadores. Assim tendo um recipiente pronto, na Figura 12.

Figura 12 - Recipiente montado



Fonte: Autoria própria

Os dissipadores do lado quente foram montados com apenas um *cooler*, posicionados como ventilador.

Com a montagem da caixa finalizada, foi iniciado o primeiro teste de eficiência térmica. As pastilhas de Peltier foram energizadas em sua potência máxima e na caixa foi adicionado um volume aproximado de 2,5L de água até cobrir totalmente os dissipadores do lado frio. A partir desse momento iniciou-se o monitoramento da temperatura da água com a ajuda de um termômetro infravermelho.

Após alguns minutos depois do início dos testes, notaram-se pequenos vazamentos de água, inicialmente com sinais de pasta térmica, o que levou a supor que os vazamentos eram provenientes dos parafusos.

A fim de sanar as dúvidas, todos os parafusos foram verificados e reapertados, com isso foram reiniciados os testes. Infelizmente com alguns minutos, os vazamentos persistiram. Com uma melhor análise do que estava ocorrendo

constatou-se que os vazamentos eram decorrentes da grande porosidade do isopor da caixa.

Devido ao fato de o vazamento não ser um volume significativo, os testes foram continuados a fim de verificar a capacidade térmica das Peltiers, mostrando ao final que não estavam resfriando.

Para uma total certeza do funcionamento das pastilhas de Peltier, tornou-se a fazer testes a seco, ou seja, sem água na caixa, e de fato, as mesmas não estavam apresentando um resfriamento satisfatório.

3.2 VERIFICAÇÃO DO FUNCIONAMENTO DAS PASTILHAS DE PELTIER COM DISSIPADORES SOMENTO NA FACE QUENTE

Antes de produzir um novo recipiente, foi considerado fazer um segundo teste apenas com as pastilhas de Peltier. Primeiramente montou-se como no teste anterior com a ligação das pastilhas em um circuito de malha aberta, diretamente na fonte em potência máxima, e efetuando as medições de temperatura com um termômetro culinário. Nestas condições o resfriamento não foi o esperado, a temperatura ambiente estava em torno de 27°C, e as Peltiers chegaram a 25°C. Inverteu-se então o *cooler* para a posição de exaustor, e com isto foi observado que as Peltiers tiveram um melhor aproveitamento chegando próximo aos 19°C, ainda assim não sendo suficiente precisando melhorar a dissipação. Foi adicionado mais um *cooler* em cada dissipador totalizando quatro *coolers* no total.

Nesse novo *layout*⁸, mostrado na Figura 13, o aproveitamento das pastilhas de Peltier melhorou consideravelmente em relação aos primeiros testes, chegando em torno de 10,34°C.

Estes testes foram feitos sem líquido, apenas no ar livre.

⁸ *Layout*. "é uma palavra inglesa, muitas vezes usada na forma portuguesa "leiaute", que significa plano, arranjo, esquema, design, projeto".

Figura 13 - Temperatura das placas de Peltier



Fonte: Autoria própria

3.3 IMPERMEABILIZAÇÃO E ISOLAMENTO TÉRMICO DO RECIPIENTE RESFRIADOR/AQUECEDOR

Com a eficácia dos resultados obtidos no segundo experimento, a atenção foi voltada para impermeabilização da caixa já utilizada, a fim de fazer uma terceira tentativa.

A impermeabilização da caixa foi feita com o auxílio de uma resina acrílica *elastomérica*, a qual foi aplicada externamente e internamente na caixa e posteriormente foram aplicadas algumas camadas de papel alumínio intercaladas com resina, conforme mostra a Figura 14, para auxiliar contra o efeito de irradiação térmica e aumentar a efetividade da impermeabilização.

Figura 14 - Recipiente impermeabilizado completo



Fonte: Autoria própria

Com a impermeabilização concluída, o recipiente foi remontado seguindo os padrões do segundo experimento, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 - Recipiente montado e com água



Fonte: Autoria própria

Foram iniciados os testes novamente, desta vez utilizando o Arduino e o sensor de temperatura DS18B20 para realizar as medições constantemente, assim obtendo um melhor resultado de temperatura, que chegou a 11,13°C, porém não teve um aproveitamento eficiente das pastilhas de Peltier, pois esta temperatura foi atingida após aproximadamente 6 horas de teste com a água sem circulação.

3.4 PROTÓTIPO COM PERFIS DE ALUMÍNIO RESFRIADOR E AQUECEDOR

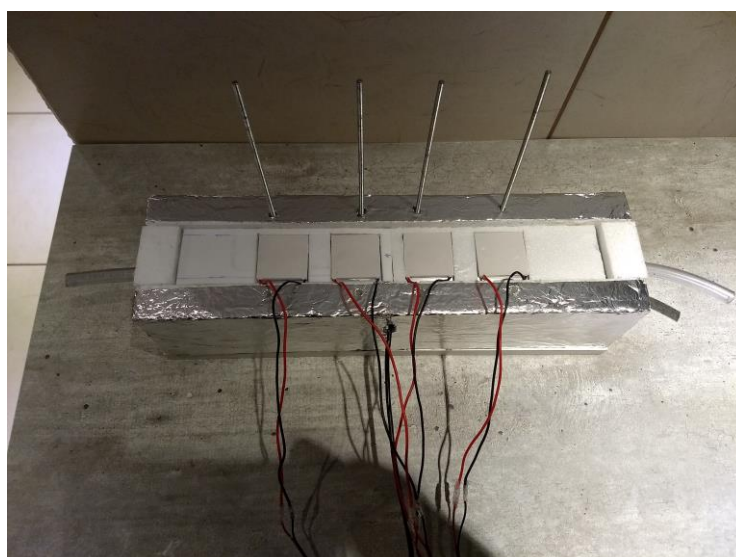
Com os resultados obtidos no terceiro experimento, foi solicitado o apoio de um professor que possui experiência com pastilhas de Peltier, este sugeriu um novo protótipo, o qual consistia em aproveitar melhor possível as pastilhas de Peltier. As mesmas deveriam ser reposicionadas da posição vertical para a posição horizontal no recipiente e reduzindo o volume de fluido utilizado.

Seguindo as orientações, e para esse novo recipiente foram utilizados dois perfis de alumínio (51 x 51 x 350 mm, com 1 mm de espessura de material) conforme mostra a Figura 16.

Figura 16 - Perfis de alumínio

Fonte: Autoria própria

No método de construção do protótipo, as pastilhas de Peltier ficariam entre os dois perfis de alumínio separadas por um protetor de isopor, o qual teria a função de evitar interferências entre as pastilhas, também foi feito um isolamento de isopor de 20 mm de espessura e revestido de papel alumínio no perfil que serviria como dissipador do lado frio, tendo como foco a teoria da condução térmica, onde, a troca de calor seria conduzida pelo perfil de alumínio. Essa montagem pode ser visualizada na Figura 17.

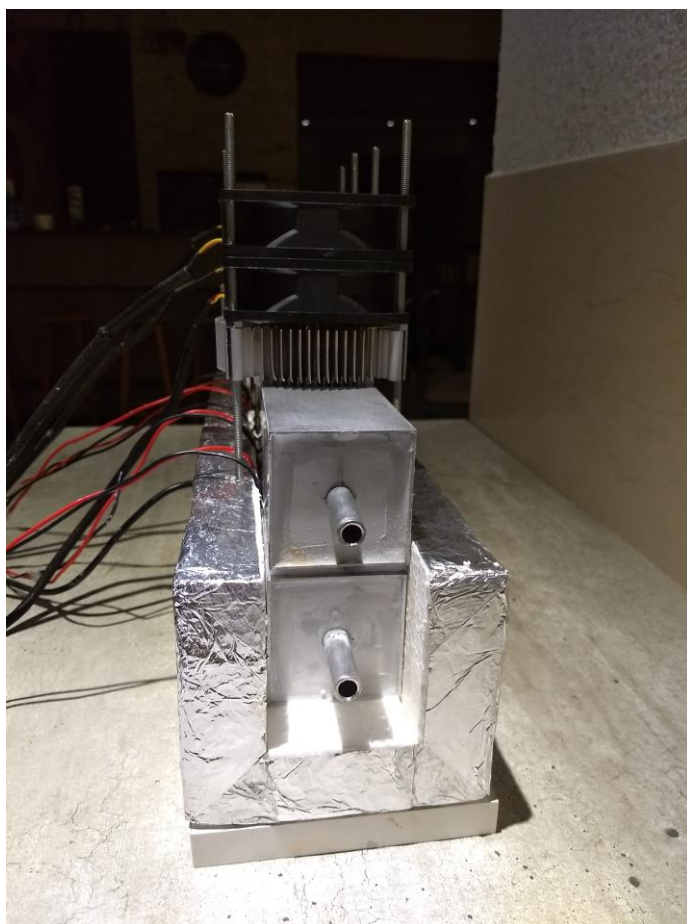
Figura 17 - Pré-montagem segundo protótipo de resfriador

Fonte: Autoria própria

Para aumentar o volume de alumínio no dissipador do lado quente, e também auxiliar na montagem do protótipo, ainda utilizando a teoria de condução térmica, foram adicionados dois dissipadores extras, dos mesmos modelos utilizados em informática, pois os mesmos já possuem a furação necessária para a fixação dos *coolers*.

Por fim, como base de ancoragem para as barras roscadas que fariam todo o travamento do conjunto, foi utilizada uma placa de compensado de madeira medindo 110 x 400 x 15 mm, conforme explicado pela Figura 18.

Figura 18 - Montagem final do segundo protótipo



Fonte: Autoria própria

Com o protótipo montado deu-se início aos testes, os dois tubos foram preenchidos na vertical com água, com o cuidado de deixar o menor espaço possível de isolamento pelo próprio ar, com o intuito de melhorar a dissipação no lado quente, porém, o resultado não foi o almejado. Após as mudanças as pastilhas não reproduziram a temperatura desejada, visto que ela não mostrou grandes

variações no tubo frio e somente aumentou no tubo quente. Esses resultados foram parecidos com os tubos vazios, ou seja, sem a água.

3.5 REMONTAGEM DO PROTÓTIPO COM PERFIS DE ALUMÍNIO

Nesta etapa dos experimentos, o tubo de alumínio utilizado no lado quente juntamente com os dissipadores de informática utilizados foram substituído pelos dissipadores de potência de alumínio. Essa alteração foi feita, pois no primeiro protótipo esses dissipadores se mostraram satisfatórios. O resultado da alteração pode ser visto na Figura 19.

Figura 19 - Protótipo dois com os dissipadores de potência.



Fonte: Autoria própria

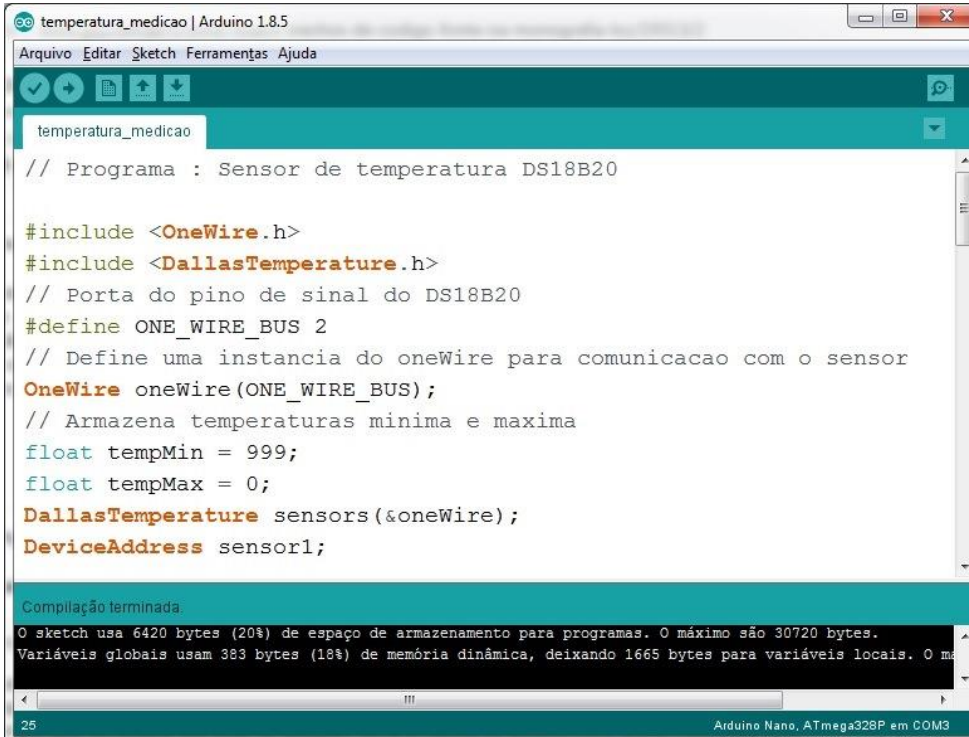
Ao término da alteração o teste foi refeito e novamente preenchido com água na vertical, com o cuidado de deixar o mínimo possível de bolhas de ar que poderiam atrapalhar no experimento, o resultado não foi satisfatório, devido ao fato que não ocorreu o resfriamento desejado da água no recipiente comparado com o terceiro experimento, a ideia principal foi que a condução térmica das pastilhas no

perfil de alumínio fosse suficiente para resfriar a água no interior do perfil. Assim sendo foi dada por encerrada a fase de testes.

3.6 CÓDIGO ARDUINO

Para melhor verificação das temperaturas atingidas durante os testes e também realizar a calibração dos sensores de temperatura DS18B20, foi implementado um código para a utilização do *Arduino*. O código pode ser visto nas figuras 20, 21, 22, 23 e 24 a seguir. Também para uma melhor compreensão do programa, cada trecho de código é precedido por um comentário, que explica de forma sucinta sua função.

Figura 20 - Código Arduino (inclusão bibliotecas e definições de variáveis)



```
temperatura_medicao | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
temperatura_medicao
// Programa : Sensor de temperatura DS18B20

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
// Porta do pino de sinal do DS18B20
#define ONE_WIRE_BUS 2
// Define uma instancia do oneWire para comunicacao com o sensor
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
// Armazena temperaturas minima e maxima
float tempMin = 999;
float tempMax = 0;
DallasTemperature sensors(&oneWire);
DeviceAddress sensor1;

Compilação terminada.
O sketch usa 6420 bytes (20%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 30720 bytes.
Variáveis globais usam 383 bytes (18%) de memória dinâmica, deixando 1665 bytes para variáveis locais. O m

25 Arduino Nano, ATmega328P em COM3
```

Fonte: Autoria própria

Figura 21 - Código Arduino (void setup)

```

temperatura_medicao | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
temperatura_medicao
void setup(void)
{
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  // Localiza e mostra endereços dos sensores
  Serial.println("Localizando sensores DS18B20...");
  Serial.print("Foram encontrados ");
  Serial.print(sensors.getDeviceCount(), DEC);
  Serial.println(" sensores.");
  if (!sensors.getAddress(sensor1, 0))
    Serial.println("Sensores não encontrados !");
  // Mostra o endereço do sensor encontrado no barramento
  Serial.print("Endereço sensor: ");
  mostra_endereco_sensor(sensor1);
  Serial.println();
  Serial.println();
}

Compilação terminada.
O sketch usa 6420 bytes (20%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 30720 bytes.
Variáveis globais usam 383 bytes (18%) de memória dinâmica, deixando 1665 bytes para variáveis locais. O m
25 Arduino Nano, ATmega328P em COM3

```

Fonte: Autoria própria

Figura 22 - Código Arduino (Função para visualizar o endereçamento do sensor DS18B20)

```

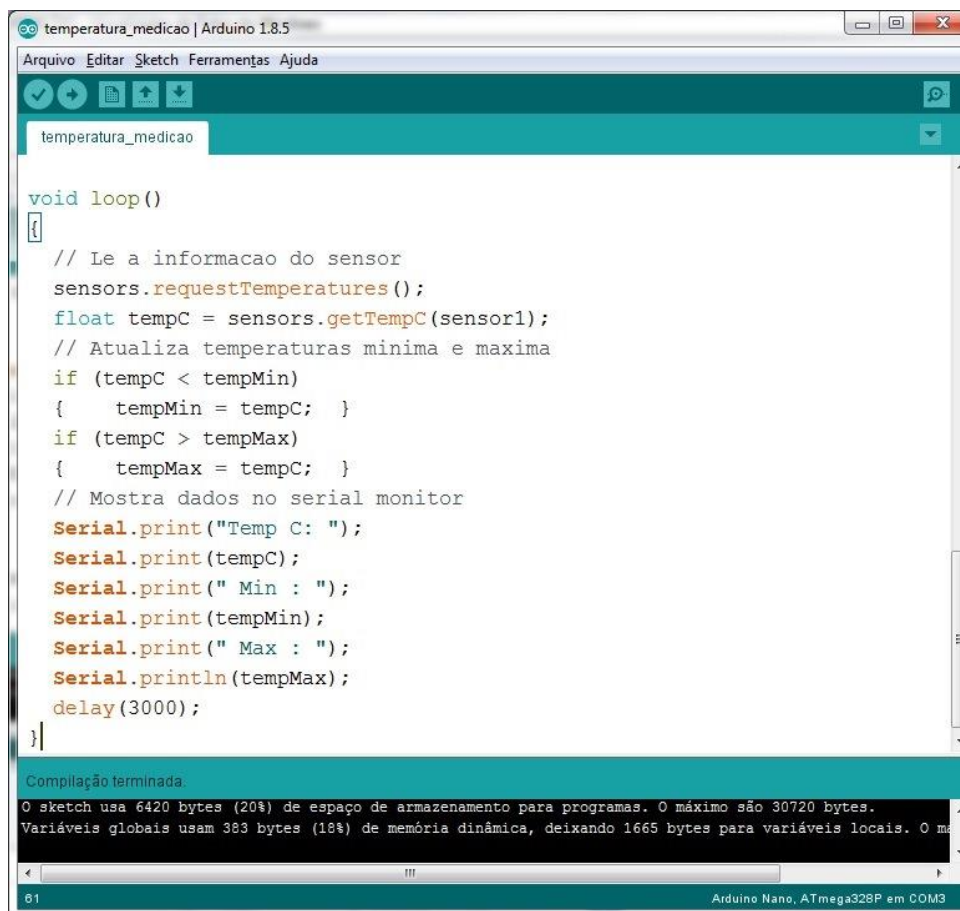
temperatura_medicao | Arduino 1.8.5
Arquivo Editar Sketch Ferramentas Ajuda
temperatura_medicao
void mostra_endereco_sensor(DeviceAddress deviceAddress)
{
  for (uint8_t i = 0; i < 8; i++)
  {
    // Adiciona zeros se necessário
    if (deviceAddress[i] < 16) Serial.print("0");
    Serial.print(deviceAddress[i], HEX);
  }
}

Compilação terminada.
O sketch usa 6420 bytes (20%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 30720 bytes.
Variáveis globais usam 383 bytes (18%) de memória dinâmica, deixando 1665 bytes para variáveis locais. O m
25 Arduino Nano, ATmega328P em COM3

```

Fonte: Autoria própria

Figura 23 - Código Arduino (void loop)



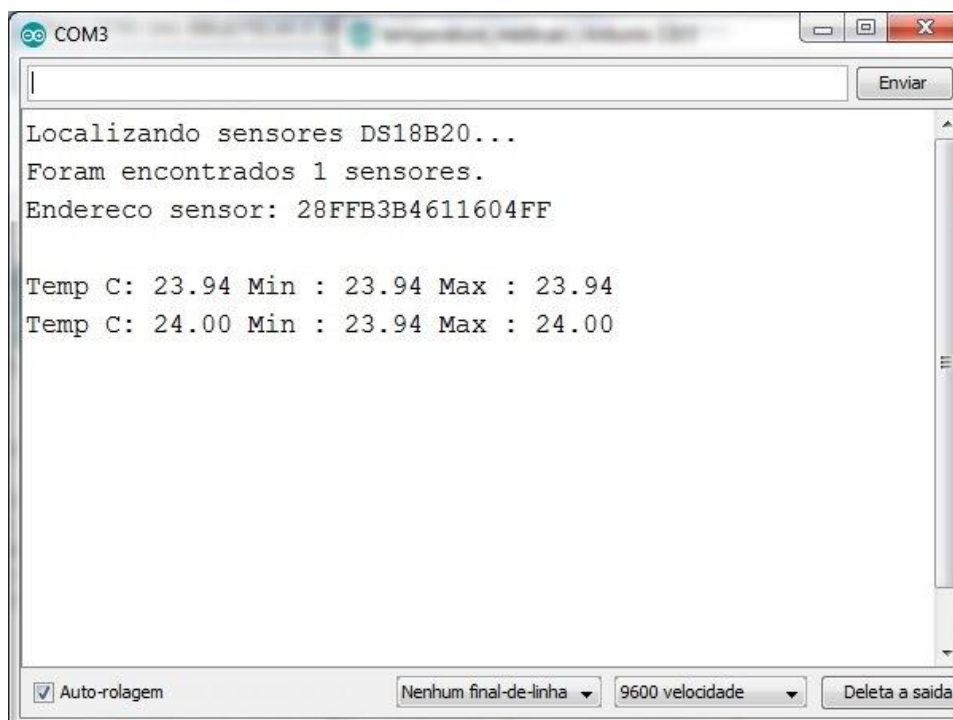
```
void loop()
{
  // Le a informacao do sensor
  sensors.requestTemperatures();
  float tempC = sensors.getTempC(sensor1);
  // Atualiza temperaturas minima e maxima
  if (tempC < tempMin)
  {   tempMin = tempC; }
  if (tempC > tempMax)
  {   tempMax = tempC; }
  // Mostra dados no serial monitor
  Serial.print("Temp C: ");
  Serial.print(tempC);
  Serial.print(" Min : ");
  Serial.print(tempMin);
  Serial.print(" Max : ");
  Serial.println(tempMax);
  delay(3000);
}
```

Compilação terminada.
O sketch usa 6420 bytes (20%) de espaço de armazenamento para programas. O máximo são 30720 bytes.
Variáveis globais usam 383 bytes (18%) de memória dinâmica, deixando 1665 bytes para variáveis locais. O máximo são 16384 bytes.

81 Arduino Nano, ATmega328P em COM3

Fonte: Autoria própria

Figura 24 - IDE Arduino (exemplo de inicialização do programa do micro controlador)



```
Localizando sensores DS18B20...
Foram encontrados 1 sensores.
Endereco sensor: 28FFB3B4611604FF

Temp C: 23.94 Min : 23.94 Max : 23.94
Temp C: 24.00 Min : 23.94 Max : 24.00
```

Auto-rolagem Nenhum final-de-linha 9600 velocidade Deleta a saída

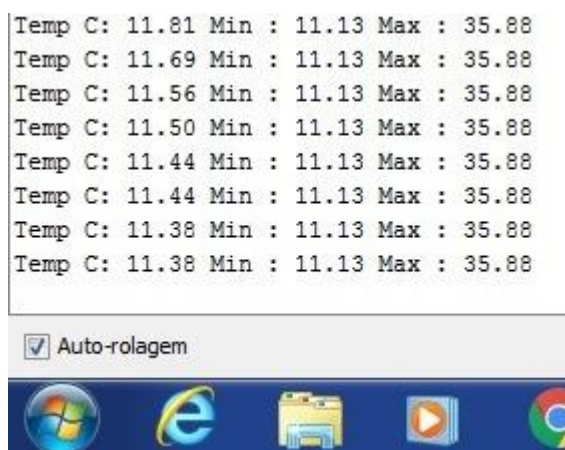
Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS

Levando em consideração os experimentos realizados, o melhor resultado alcançado foi o segundo experimento, explicado pela Figura 13. Sendo o que alcançou uma menor temperatura em menor tempo. Em aproximados 20 minutos chegou-se a uma temperatura de $10,34^{\circ}\text{C}$, diretamente ao lado frio das pastilhas de Peltier. O problema enfrentado foi de como transmitir esta temperatura para um dissipador e que este conseguisse resfriar um líquido. Tentando utilizar algumas teorias da termodinâmica, primeiramente a convecção térmica, em líquidos, e posteriormente através da condução térmica, não se teve os devidos resultados desejáveis.

No terceiro experimento, Figura 15, a transmissão de temperatura foi adequada chegando a $11,13^{\circ}\text{C}$ com a água parada conforme mostra a figura 25. Porém, em um tempo muito alto, levando em consideração na aplicação direta na planta que o líquido se movimentaria como em um radiador automotivo, e teria que arrefecer aproximadamente 12 litros de mosto. O tempo estimado para o resultado ser igual ou próximo ao do terceiro experimento seria muito maior que às 6 horas, ou talvez não fosse alcançado.

Figura 25 - Monitoramento de temperatura durante o teste 03

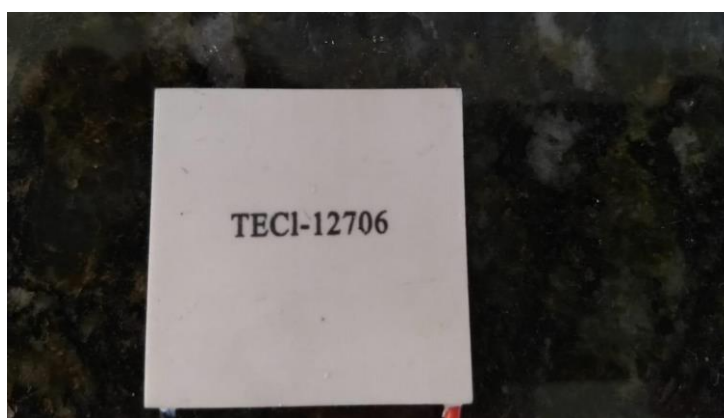


Fonte: Autoria própria

4.1 POSSÍVEIS SOLUÇÕES

Ao decorrer do projeto, verificou-se a potência das pastilhas de Peltier adquiridas, as quais eram do modelo TEC1-12706, como na Figura 26, e com consumo máximo de seis *Amperes*. Essas pastilhas são as mais comumente encontradas no mercado e com melhor custo benefício, sendo amplamente utilizadas em projetos de eletrônica. Mas mesmo assim as mesmas se mostraram insuficientes para o término deste projeto.

Figura 26 - Pastilha de Peltier TEC1-12706



Fonte: Autoria própria

Contudo, a fim de averiguar melhor as aplicações práticas das pastilhas de Peltier, foi desmontado um bebedouro de água que utiliza essa tecnologia e constatou-se que havia somente uma pastilha de Peltier de 15A e uma autonomia de 0,24 litros por hora de água gelada para consumo, ou seja, uma TEC1-12715, onde 12 é referente à sua tensão de funcionamento que é de 12Vcc, podendo trabalhar sobre tensão de até 16Vcc, e sua corrente máxima é de 15 *Amperes*.

Teoricamente substituindo estas pastilhas de 6A por pastilhas de 15A no projeto, este poderia apresentar um resultado diferente e positivo em termos de temperatura. Entretanto, quatro unidades de 15A iriam aumentar muito o consumo de energia deixando o projeto economicamente inviável.

Uma segunda ideia, mas que foge as intenções iniciais do projeto, onde seria a utilização das pastilhas de Peltier, é o controle de um refrigerador residencial. Sabe-se que essa categoria é capaz de atingir temperaturas de até -2°C . E são economicamente viáveis tanto no custo de aquisição quanto no seu consumo de energia, que em suas versões mais recentes podem chegar até 25 kWh mensais

para um refrigerador de 280 litros, conforme o *site* da ANEEL (Agência Nacional de Energia Elétrica).

As modificações que devem ser feitas são simples e consistem em retirar o termostato original do aparelho e efetuar o comando com um micro controlador e um sensor de temperatura, podendo ser o próprio DS18B20.

5 CONCLUSÃO

Levando em consideração o objetivo do trabalho, que era o uso das pastilhas de Peltier como atuadoras em uma planta *Hobby* para fermentação de bebidas artesanais de baixo custo. Pode-se concluir que para essa aplicação o componente citado é inviável, mesmo possuindo vantagens como suas dimensões reduzidas, precisão, o não uso de gases nocivos a saúde e a camada de ozônio e também ausência de ruído, ainda existem no mercado outras tecnologias de melhor desempenho.

O principal motivo que levou a inviabilização do componente para essa aplicação é a relação entre potência e capacidade térmica, ou seja, para alcançarmos as temperaturas desejadas seriam necessárias varias pastilhas de Peltier, o que eleva drasticamente o consumo de energia elétrica, isso sem levar em consideração o restante do sistema.

Para finalizar uma simples comparação, faremos o seguinte cálculo. Considerando hipoteticamente que as quatro pastilhas de Peltier do modelo TEC1-12706 com potência máxima de 72 *watts* fossem o suficiente para a construção do fermentador, e esse ficasse ligado continuamente monitorando uma fermentação, com um funcionamento mensal de 720h, o seu consumo seria aproximadamente 51,84 kWh/mês, sendo perto de duas vezes mais que um refrigerador moderno de 280 litros.

Sendo assim, ficou claro que pastilhas de Peltier são limitadas a pequenas aplicações, e para projetos maiores ainda se mostram mais promissores os sistemas convencionais de refrigeração.

REFERÊNCIAS

PINTO, Tales. **Hidromel, bebida popular da Idade Média**. Disponível em: <<https://alunosonline.uol.com.br/historia/hidromel-bebida-popular-idade-media.html>>. Acesso em: 14 abril. 2018.

Teoria das pastilhas termoelétricas : Efeito Peltier. [S.l.: s.n.], 2018. 1 p. Disponível em: <<http://www.peltier.com.br/index.php?url=faq>>. Acesso em: 15 abr. 2018.

Sensores de temperatura : DS18B20. [S.l.: s.n.], 2018. 20 p. Disponível em: <<https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>>. Acesso em: 16 abr. 2018.

Thermoelectric Cooler Temperature Control: US Patent 0073716, 2002. 7 p. Disponível em: <<https://patentimages.storage.googleapis.com/2a/23/eb/5f61d4ffb64e9f/US20020073716A1.pdf>>. Acesso em: 14 nov. 2018.

Toda Matéria: conteúdos escolares: Leveduras. [S.l.: s.n.], 2018. Disponível em: <<https://www.todamateria.com.br/leveduras/>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

ANEEL: Aprenda a calcular o consumo de seu aparelho e economize energia. [S.l.: s.n.], 2018.. Disponível em: <http://www2.aneel.gov.br/arquivos/PDF/17-05_materia1_3.pdf>. Acesso em: 16 abr. 2018.

SOUZA, Líria Alves de : **Gás freon** - Curiosidades Químicas. Disponível em: <<https://mundoeducacao.bol.uol.com.br/quimica/gas-freon.htm>>. Acesso em: 09 dez. 2018.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. **Termodinâmica**; Brasil Escola. Disponível em <<https://brasilecola.uol.com.br/fisica/termodinamica.htm>>. Acesso em 09 de dezembro de 2018.

SANTOS, Marco Aurélio da Silva. **Condução, convecção e irradiação**; Brasil Escola. Disponível em < <https://meuartigo.brasilecola.uol.com.br/fisica/conducao-conveccao-irradiacao.htm>>. Acesso em 09 de dezembro de 2018.