

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

PEDRO LUIZ PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE BRASSAGEM
PARA FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

CURITIBA

2023

PEDRO LUIZ PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE BRASSAGEM
PARA FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

Development of an automated brewing system for craft beer production

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dr. Alceu André Badin.

CURITIBA

2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

PEDRO LUIZ PADILHA

**DESENVOLVIMENTO DE UM SISTEMA AUTOMATIZADO DE BRASSAGEM
PARA FABRICAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentado como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Controle e Automação do curso de Engenharia de Controle e Automação da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 15/Junho/2023

Prof. Alceu Andre Badin, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Daniel Flores Cortez, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Prof. Delvanei Gomes Bandeira Junior, Dr. Eng.
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

CURITIBA

2023

AGRADECIMENTOS

Certamente estes parágrafos não irão atender a todas as pessoas que fizeram parte dessa importante fase de minha vida. Portanto, desde já peço desculpas àquelas que não estão presentes entre essas palavras, mas elas podem estar certas que fazem parte do meu pensamento e de minha gratidão.

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Alceu André Badin, pela sabedoria com que me guiou nesta trajetória.

A minha família que deu todo o apoio necessário nessa etapa tão importante.

Aos meus amigos que estiveram comigo em todos os bons e maus momentos.

E um agradecimento especial ao meu amigo Claudio Stai por todo o apoio durante o desenvolvimento deste projeto.

RESUMO

A produção de cerveja acompanha a história da humanidade desde 4000 a.C. e foi se desenvolvendo ao longo do tempo, passando de produções completamente manuais para processos cada vez mais automatizados. O presente trabalho tem como objetivo apresentar o desenvolvimento de uma panela cervejeira automatizada, envolvendo *hardware* e *software*, que realizará as etapas de mosturação, filtragem e fervura. Para isso, o trabalho se inicia com o levantamento das etapas da produção de cerveja, observando suas funções e impactos no resultado final do produto. Em seguida são elencados produtos já existentes no mercado dedicados a produção de cerveja e são descritos os processos que serão automatizados. São apresentados também os materiais necessários para o desenvolvimento do protótipo e em sequência é descrita toda a construção do *hardware* e *software*. O trabalho se encerra com a realização de testes do protótipo construído e a análise das temperaturas atingidas durante os mesmos, comparando os resultados obtidos com os resultados esperados a partir do cálculo de energia térmica e a relação de potência e energia. Também são sugeridos pontos de possíveis melhorias e sugestões para trabalhos futuros.

Palavras-chave: Brassagem; Cerveja Artesanal; Controle de Temperatura; Controle de Tempo.

ABSTRACT

Beer production has followed human history since 4000 BC. and it has developed over time, moving from completely manual production to increasingly automated processes. The present work aims to present the development of an automated brewing pot, involving hardware and software, which will carry out the stages of Mashing, Filtering and Boiling. For this, the work begins with a survey of the stages of beer production, observing their functions and impacts on the final result of the product. Next, products already on the market dedicated to beer production are presented and the processes that will be automated are described. The necessary materials for the development of the prototype are also presented and, in sequence, the entire construction of the hardware and software is described. The work ends with the realization of tests on the constructed prototype and the analysis of the temperatures reached during the tests, comparing the obtained results with the expected results from the calculation of thermal energy and the relation of power and energy. Points of possible improvements and suggestions for future work are also presented in this final stage.

Keywords: Mashing; Craft Beer; Temperature Control; Time Control.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas do processo de produção de cerveja	16
Figura 2 - Relação de temperatura e ativação de enzimas	18
Figura 3 - Desenho do protótipo desenvolvido	22
Figura 4 - Diagrama de Blocos do Controlador On-Off.....	23
Figura 5 - Resposta em Malha Fechada e Sinal de Controle	24
Figura 6 - Circuito elétrico do projeto.....	35
Figura 7 - Esquemático Elétrico.....	36
Figura 8 - Conexões do I2C e Módulo LCD	36
Figura 9 - Conexões do Motor de passo e Módulo ULN2003A.....	37
Figura 10 - Conexão dos botões e do <i>Buzzer</i>	37
Figura 11 - Conexões do sensor de temperatura	38
Figura 12 - Conexão do relé 2 canais, da resistência e da bomba.....	38
Figura 13 - Diagrama do Código	44
Figura 14 - Fluxograma do menu de receita	46
Figura 15 - Fluxograma etapa da mosturação	47
Figura 16 - Rampas de Temperatura 10L	50
Figura 17 - Etapa de fervura 10L	51
Figura 18 - Rampas de Temperatura 20L	51
Figura 19 - Etapa de fervura 20L	52
Figura 20 - Rampas de Temperatura 20L (Segundo Teste)	52
Fotografia 1 - Grãos no processo de malteação	17
Fotografia 2 - Clarificação da cerveja	19
Fotografia 3 - Trocador de temperatura	21
Fotografia 4 - Microcervejaria Inversa.....	25
Fotografia 5 - BEERMKR.....	26
Fotografia 6 - Breewie.....	26
Fotografia 7 - Arduino mega 2560.....	27
Fotografia 8 - Módulo Max6675 Termopar Tipo K	28
Fotografia 9 - Botão de Pulso.....	29
Fotografia 10 - Módulo Relé - 2 Canais.....	29
Fotografia 11 - Bomba Magnética	30
Fotografia 12 - Motor de passo 28BYJ-48 e Módulo ULN2003	31
Fotografia 13 - Resistência de baixa densidade.....	32
Fotografia 14 - <i>Buzzer</i> ativo.....	32
Fotografia 15 - Display LCD.....	33
Fotografia 16 - Módulo I2C	33
Fotografia 17 - Disjuntor SH201-C16	34
Fotografia 18 - Conector Emenda Rápida 3 Vias	34
Fotografia 19 - Primeira placa perfurada.....	39
Fotografia 20 - Segunda placa perfurada	39
Fotografia 21 - Panela N30.....	40
Fotografia 22 - Cesto para Malte	40
Fotografia 23 - Fundo do Protótipo	41
Fotografia 24 - Dispensador de Condimentos	41
Fotografia 25 - Dispensador vista aérea.....	42
Fotografia 26 - Bomba magnética conectada no protótipo	42

Fotografia 27 - Caixa do Circuito	43
Fotografia 28 - Protótipo Completo	43
Fotografia 29 - Display entre rampas	49
Fotografia 30 - Display durante a rampa	50
Gráfico 1 - Relação do tempo com a contribuição do condimento na fervura ..	20
Quadro 1 - Especificações do Arduino MEGA.....	27
Quadro 2 - Especificações do Módulo Max6675 Termopar tipo K.....	28
Quadro 3 - Especificações do Relé de 2 canais	29
Quadro 4 - Especificações da bomba magnética	30
Quadro 5 - Especificações do Módulo ULN2003 / Motor de Passo 28BYJ-48....	31
Quadro 6 - Portas do Arduíno	45

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Delimitação do Tema	12
1.2	Problemas e Premissas	12
1.3	Objetivos	13
1.3.1	Objetivo Geral	13
1.3.2	Objetivos Específicos	13
1.4	Justificativa	13
1.5	Metodologia	14
1.6	Estrutura do Trabalho	15
2	PRODUÇÃO DE CERVEJA	16
2.1	Malteação	16
2.2	Mosturação	17
2.3	Filtração ou Clarificação	18
2.4	Fervura	19
2.5	Resfriamento	20
2.6	Fermentação, Maturação e Envase	21
3	AUTOMAÇÃO E MATERIAIS UTILIZADOS	22
3.1	Processo Automatizado	22
3.1.1	Mosturação automatizada	23
3.1.2	Filtragem automatizada	24
3.1.3	Fervura automatizada	25
3.2	Produtos Existentes no Mercado	25
3.3	Materiais Utilizados	26
3.3.1	Microcontrolador Arduino Mega 2560	27
3.3.2	Termopar tipo K com módulo MAX6675	28
3.3.3	Botões de Pulso	28
3.3.4	Módulo Relé de 2 canais	29
3.3.5	Bomba Magnética	30
3.3.6	Motor de Passo 28BYJ-48 com driver ULN2003	31
3.3.7	Resistência de baixa densidade	32
3.3.8	Buzzer	32
3.3.9	Display LCD com módulo I2C	33
3.3.10	Disjuntor SH201-C16	34

3.3.11	Conector Emenda Rápida Tipo Wago 3 Vias	34
4	CIRCUITO ELÉTRICO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO.....	35
4.1	Circuito Elétrico.....	35
4.2	Construção do Protótipo	39
5	CÓDIGO DO ARDUINO	44
5.1	Declarações	44
5.2	Inicialização	46
5.3	Menu da Receita	46
5.4	Mosturação	47
5.5	Filtração	47
5.6	Fervura	48
6	TESTES E ANÁLISE DE DADOS.....	49
7	CONSIDERAÇÕES FINAIS	54
	REFERÊNCIAS.....	56
	APÊNDICE A - Código Completo do Arduino	60

1 INTRODUÇÃO

Acredita-se que a produção de cerveja, também denominada como Brassagem, exista desde 4000 a.C. na região do crescente fértil da Antiga Babilônia, na Mesopotâmia, entre os rios Tigre e Eufrates, por existirem registros do cultivo de cereais nessa região, principalmente cevada. Os Sumérios, então, são reconhecidos como a primeira civilização a fabricar cerveja (COUTINHO, Carlos Alberto Tavares)

Por volta de 1800 a.C., os sumérios realizavam celebrações a deusa Ninkasi, considerada a deusa da cerveja (THE BEER PLANET BLOG, 2014). Foi descoberto por arqueólogos um poema chamado “Hino à Ninkasi”, escrito em torno de 1800 a.C. pelos Sumérios, onde existem referências à cerveja. Na sequência, segue um trecho do poema:

“Ninkasi, você é a única que despeja a cerveja filtrada no barril coletor,
é como os barulhos dos cursos do Tigre e do Euphrates” (44-45).

A cerveja é tão importante durante a história que é mencionada até mesmo no Código de Hammurabi (BOUZON, 2000), onde era definida como moeda de troca, podendo servir como pagamento na compra de cereais na razão de 5 a 6 quilos para 1 litro de cerveja. Também era utilizada como forma de pagamento por hierarquia, onde trabalhadores comuns recebiam 2 litros, empregados do império 3 litros e o alto escalão 5 litros por dia (DANTAS, 2016).

Outro exemplo a ser citado, os egípcios costumavam pagar aos trabalhadores que participavam da construção das pirâmides, uma dose diária de cerveja. Sendo que a bebida fermentada a partir de cereais era uma fonte básica da dieta da humanidade, bem como leite e pão (LARA, 2018).

Com a expansão do Império Romano, a cerveja finalmente chegou à Europa. Mas a Grécia Antiga e o Império Romano davam muito mais importância a produção de vinho, considerando-o uma bebida mais nobre, deixando a cerveja em segundo plano para classes mais baixas da sociedade. Apenas durante a idade média que a Europa se dividiu entre países produtores de cerveja e de vinho. Além de uma questão cultural, também era uma questão geográfica (CERVEJAS DO MUNDO, s.d.).

Na Europa medieval estima-se que a produção de cervejas em escala industrial tenha se iniciado nos mosteiros, já que era comum os monges produzirem

cerveja para consumo próprio durante os períodos de jejum. Abriram então albergues e cervejarias no seu interior para acolher peregrinos de outras regiões. O consumo de cerveja nessa época aumentava consideravelmente por ser mais seguro e saudável ingerir cerveja do que água (CERVEJAS DO MUNDO, s.d.).

Com o aumento do consumo, surgiram artesãos que passaram a fabricá-las e vendê-las em tavernas. Com isso, os governantes começaram a se preocupar mais com o a produção de cervejas. Assim, passaram a temperar a cerveja com ervas para quebrar o doce. Futuramente essas ervas seriam substituídas pelo lúpulo (CERVEJAS DO MUNDO, s.d.).

No período de transição da idade média para a moderna, a produção de cerveja passa por um enorme desenvolvimento. Com a invenção do microscópio, as misteriosas leveduras foram identificadas. No entanto, ainda demorou quase 200 anos para que elas fossem totalmente desvendadas. O cientista Louis Pasteur, juntamente com Christian Hansen, foram os responsáveis pela propagação das cepas de levedura para a história cervejeira (CERVEJAS DO MUNDO, s.d.).

Com o surgimento das máquinas a vapor e a refrigeração artificial, desencadeou-se a industrialização e racionalização da cerveja. O processo de pasteurização, descoberto por Pasteur, permitiu que a mesma fosse armazenada, o que antes era impossível (CERVEJAS DO MUNDO, s.d.).

Durante as duas grandes guerras mundiais, o número de indústrias produtoras de cerveja caiu, nas Américas, e principalmente na Europa. Entretanto, o mercado cervejeiro cresceu com a recessão econômica dos Estados Unidos e o crescimento econômico europeu. Com isso, houveram grandes fusões entre as empresas produtoras de cerveja, dividindo o mercado em duas grandes áreas. As grandes produtoras de cerveja, que produziam em enormes quantidades, porém na maioria das vezes com uma qualidade menor. Já os pequenos e médios produtores, produzem cervejas artesanais de maior qualidade visando atender um público mais apreciador e conhecedor (SANTOS, Luiz Carlos; FERREIRA, Rubens Hermógenes, 2017).

Com o aumento desse mercado consumidor de pequenos produtores de cerveja artesanal, começaram a surgir ferramentas que auxiliem essas pequenas produções, tais quais sistemas com várias painelas que facilitem a circulação do líquido entre painelas e até mesmo painelas completamente automatizadas.

1.1 Delimitação do Tema

O processo de produção de cerveja demanda de um alto controle de processo, visto que são necessárias rampas de temperatura para ativar as enzimas contidas no malte (etapa chamada de mosturação), responsáveis pelo processo físico-químico de transformação do amido em açúcares que futuramente se tornarão o álcool e o corpo da cerveja. Também é necessário lavar os grãos para retirar os açúcares convertidos anteriormente dos grãos para o líquido (etapa de filtragem) e existe a etapa de fervura onde os temperos da cerveja devem ser adicionados no momento exato, passivo de alterar o amargor, gosto e aroma da mesma.

Com isso, o foco do equipamento proposto é na produção caseira de cerveja e em pequena escala.

1.2 Problemas e Premissas

Atualmente os pequenos produtores possuem diversos métodos para realizar a Brassagem. Em sua maioria são utilizadas uma ou mais panelas, juntamente com fogareiros a gás para realizar as rampas de temperatura e o processo de fervura, que por sua vez são realizados manualmente, com o auxílio de termômetros culinários. A filtragem por sua vez, varia bastante de produtor para produtor, podendo ser realizada com *bags*, *bazookas* ou fundos falsos.

Por esses processos serem realizados manualmente, o controle dos processos acaba sendo impreciso, impactando no resultado final da cerveja. Ao aplicar uma rampa de temperatura incorretamente durante a mosturação – processo de conversão do amido em açúcares durante uma espécie de cozimento dos grãos com temperaturas adequadas (ABOUMRAD e BARCELLOS, 2015) –, pode-se alterar drasticamente a característica da cerveja, podendo até mesmo descaracterizá-la do estilo produzido.

Portanto, a qualidade do produto final está diretamente ligada ao controle das rampas de temperatura na etapa de mosturação. Da mesma forma, uma filtragem malfeita, não retira os açúcares produzidos dos grãos, podendo atenuar as características desejadas. Durante a fervura, o acréscimo dos temperos durante a hora errada também pode gerar mudanças de odor ou sabor no resultado final.

A fim de produzir uma cerveja de melhor qualidade, atendendo às características esperadas pelo estilo produzido, é necessário desenvolver um sistema que consiga controlar as rampas de temperatura de forma correta e precisa, realizar a circulação da água pelos grãos de forma uniforme e inserir os temperos no momento exato.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo principal é desenvolver um sistema automatizado para a produção de cervejas artesanais, com controle de temperatura para a mosturação e tempo dos ingredientes para a fervura, além de realizar a filtragem dos grãos, que possa auxiliar os pequenos produtores a produzir receitas de cerveja com maior facilidade, visando a qualidade final do produto. Este projeto prevê a produção de aproximadamente 20 litros por vez, ou seja, se limitando à produção caseira e em pequena escala.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Pesquisar como são realizadas as etapas da produção de cervejas artesanais, juntamente com a função de cada etapa e sua interferência no resultado final;
- Estruturar a melhor forma de realizar cada etapa, visando o resultado mais preciso;
- Levantar componentes e materiais necessários;
- Desenvolver o *hardware* que produzirá a cerveja;
- Desenvolver o *software* que operará as etapas da produção;
- Coletar resultados experimentais.

1.4 Justificativa

Com o desenvolvimento da Engenharia de Controle e Automação, sua aplicação está cada vez mais presente dentro das indústrias, mas também tem surgido cada vez mais aplicações residenciais, como as casas conectadas, por exemplo.

Essa tendência também está expandindo para a área da produção caseira de cervejas. Atualmente já existem produtoras caseiras automatizadas de cerveja, como a “BEERMKR” e a “Breewie”, porém elas só conseguem produzir pequenas quantidades por vez e são bem caras por serem produzidas e comercializadas no exterior.

Um outro trabalho de conclusão de curso já foi realizado na UTFPR, cujo título é “Panela com controle de temperatura para etapa de mosturação da fabricação de cerveja artesanal” (PELLEGRIM e col., 2017), já propõe um sistema de controle para as rampas de temperatura, porém foi utilizado um número alto de painéis, tornando o projeto pouco compacto e de difícil transporte. Nele também não estava previsto a adição dos temperos automaticamente. Portanto esta proposta se torna uma evolução do mesmo.

Este trabalho propõe uma solução nacional, compacta, capaz de produzir maiores quantidades por vez e sem a necessidade de estar conectado a um computador.

1.5 Metodologia

Para o desenvolvimento e implantação do projeto é necessário o conhecimento de todo processo e funcionamento da fabricação da cerveja artesanal. Aproveitando o conhecimento prático adquirido de produções caseiras, juntamente com a revisão bibliográfica e o auxílio de outros mestres cervejeiros experientes, esse objetivo foi atingido. Em seguida ocorreu a especificação do tema, onde foi definido o escopo de atuação do projeto. Foi realizado um estudo de técnicas de aquecimento, bombeamento hidráulico de fluidos quentes, controladores e processadores para que fosse definido qual processo seria utilizado.

A próxima etapa foi a definição da arquitetura do sistema e dimensionamento dos componentes, onde foi construído o sistema físico que realizará a produção. Também foi necessário o desenvolvimento do algoritmo para o controle assim como simulações do mesmo.

Por fim, foi desenvolvido o protótipo suportado pela teoria desenvolvida, realizando testes e levantando dados para que fosse possível realizar uma análise de resultados e obter as considerações finais.

1.6 Estrutura do Trabalho

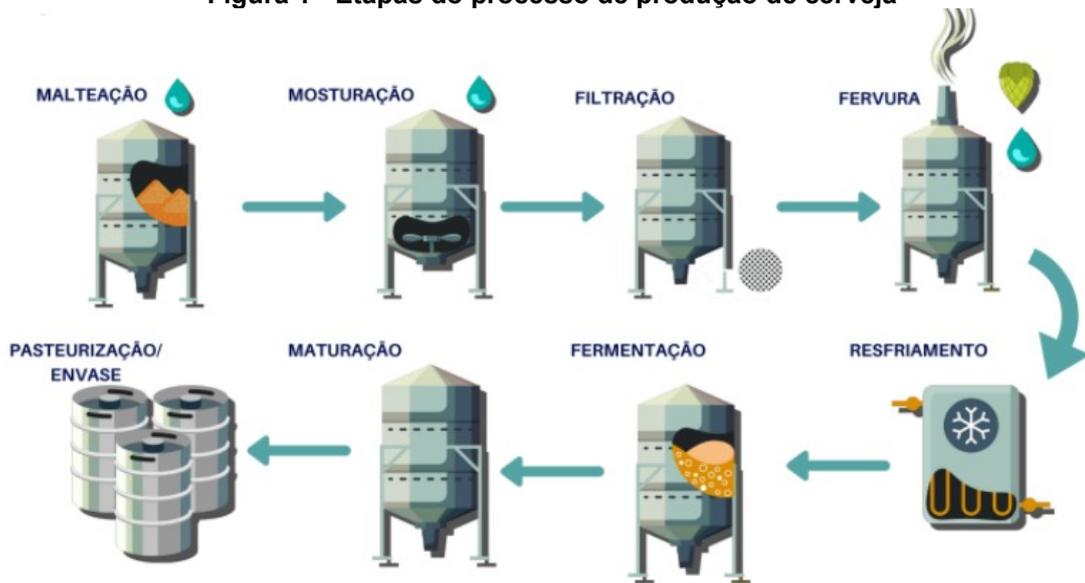
O trabalho será composto por 7 capítulos:

- Capítulo 1: Introdução, tema, delimitação do tema, problema, objetivo geral e objetivos específicos, justificativa e metodologia para a realização do trabalho.
- Capítulo 2: Revisão da literatura referente ao processo de produção de cerveja artesanal e suas particularidades.
- Capítulo 3: Automação do processo e materiais utilizados.
- Capítulo 4: Circuito elétrico e construção do protótipo.
- Capítulo 5: Código do Arduino.
- Capítulo 6: Testes do protótipo e Análise dos dados.
- Capítulo 7: Considerações Finais.
- Referências

2 PRODUÇÃO DE CERVEJA

Para que seja possível entender a importância do controle de temperatura e dos tempos na produção de cervejas é necessário entender melhor as etapas do processo de produção e o que ocorre em cada uma delas. A produção de cerveja é dividida em 8 etapas, sendo elas malteação, mosturação, filtração, fervura, resfriamento, fermentação, maturação e envase (Figura 1).

Figura 1 - Etapas do processo de produção de cerveja



Fonte: MICROAMBIENTAL (2021)

2.1 Malteação

Nesta etapa do processo os grãos passam pelo processo de malteação para que possam ser inseridos na produção. Esse processo consiste na germinação controlada de um grão e é composto de 4 etapas.

Primeiro o grão passa pela maceração que tem como objetivo fornecer a umidade necessária para que o grão germine. O processo dura de 3 a 5 dias e busca elevar o teor de umidade dos grãos para 50% para que ele não resseque na germinação. Então o grão entra em processo de germinação (Fotografia 1), onde o objetivo é que sejam desenvolvidas enzimas e o amido se torne mais macio e solúvel. Os grãos são mantidos em um ambiente controlado e o processo precisa ser interrompido assim que se inicia o processo de criação de uma nova planta. A fim de interromper o processo de germinação quando os grãos atingem o ponto ideal, os grãos germinados são colocados em fornos com a temperatura variando de 20°C a

100°C dependendo se o malte deva ser mais claro ou escuro. A última etapa do processo é a Crivagem, onde o malte é separado da parte já germinada, que por sua vez é encaminhada para fábricas de rações.

Fotografia 1 - Grãos no processo de malteação



FONTE: ROSENTHAL (2021)

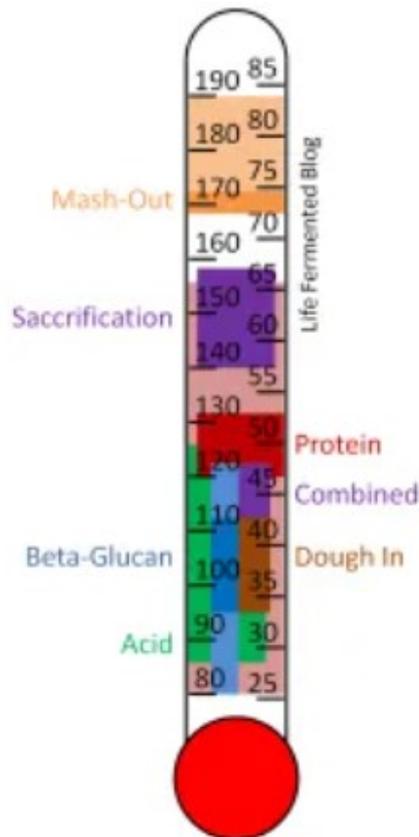
2.2 Mosturação

Esta é a etapa mais importante do processo de produção de cervejas. Nesta etapa os grãos malteados serão colocados na água e passarão por rampas de temperatura a fim de ativar as enzimas presentes no malte e transformar o amido em açúcar que será consumido pelas leveduras transformando-o em álcool e gás. Essas enzimas que serão ativadas possuem temperaturas específicas de ativação e um erro na temperatura durante esse processo pode não ativar completamente a enzima ou desnaturar a mesma caso a temperatura seja excessiva. Tais erros ocasionam defeitos no sabor, aroma, cor, corpo e acidez do produto final. Da mesma forma, erros cometidos no tempo de cada uma das rampas de temperatura podem ocasionar em uma maior produção de açúcares, que altera a quantidade de álcool e gás do produto final.

Cada temperatura tem uma função específica dentro do processo de mosturação (Figura 2). Temperaturas entre 40°C e 55°C são consideradas uma rampa de acidificação, que tem o objetivo de diminuir o pH do mosto, facilitando a ação das enzimas. Temperaturas entre 50°C e 55°C são chamadas de descanso proteico e são utilizadas em maltes que possuem muita proteína, como trigo e aveia. Aqui as enzimas realizarão a protease, que é a quebra destas proteínas, afetando a formação e retenção de espuma na cerveja. Temperaturas entre 55°C e 65°C estão na chamada

sacarificação beta. Nesta etapa o amido será quebrado e o açúcar será extraído. Este por sua vez será consumido pelas leveduras e transformado em álcool e gás. Temperaturas entre 68°C e 73°C serão a última etapa que é chamada de sacarificação alfa e é semelhante a sacarificação beta, porém com açúcares menores. Após todas as etapas e elevada a temperatura é elevada para os 76°C para que sejam desnaturadas as enzimas a fim de interromper a atividade das mesmas. Não se pode elevar além desta temperatura pois pode gerar adstringência no produto final (DINSLAKEN, 2017).

Figura 2 - Relação de temperatura e ativação de enzimas



Fonte: DINSLAKEN (2017)

2.3 Filtração ou Clarificação

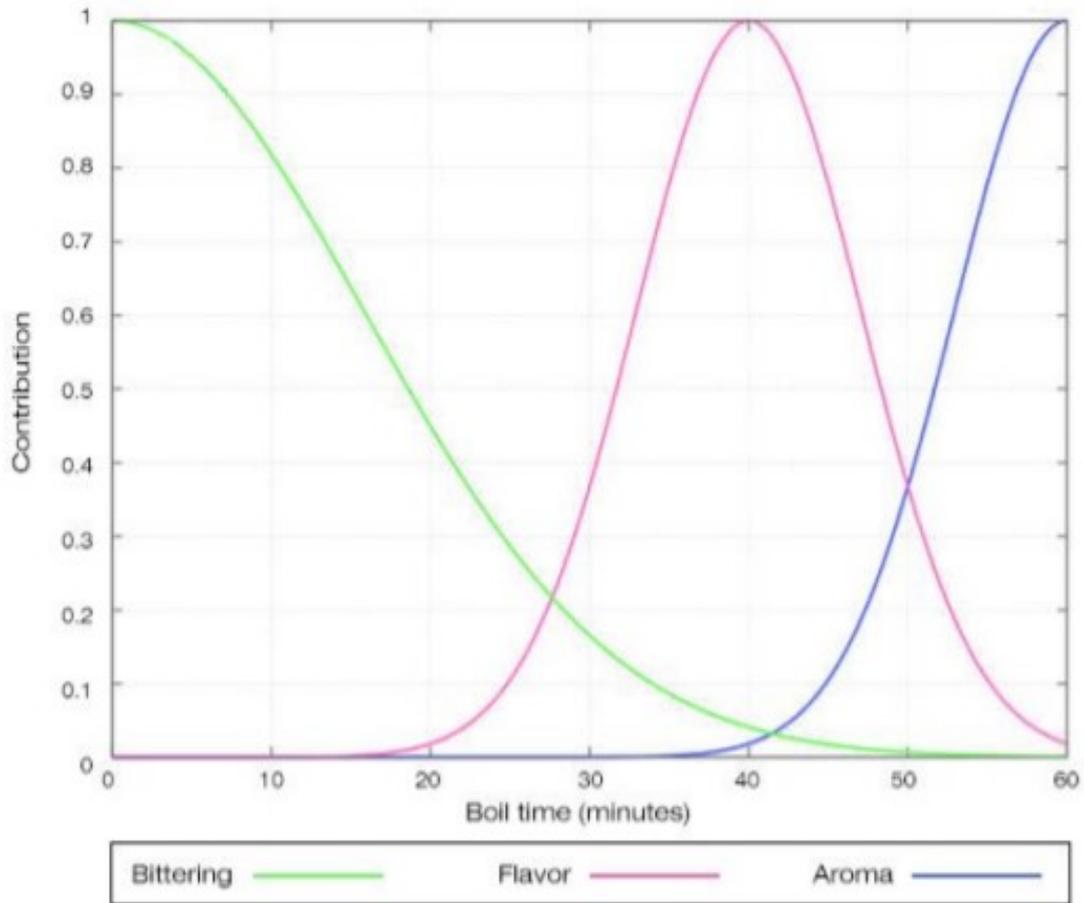
Essa etapa é realizada com o objetivo de extrair os açúcares dos grãos e deixá-los apenas na água para que possa ser realizada a fervura (Fotografia 2).

Fotografia 2 - Clarificação da cerveja

Fonte: BODE (2009)

2.4 Fervura

Nesta etapa do processo, o mosto, agora sem os grãos, será colocado em temperatura de fervimento e serão adicionados condimentos a cerveja. Esta etapa ajuda a esterilizar a cerveja, eliminando quaisquer contaminações que possam ter ocorrido nas etapas anteriores e os condimentos adicionados terão grande influência no amargor, sabor e aroma do produto final. Nesta etapa é importante se atentar ao tempo em que é inserido o condimento, já que condimentos colocados no início do processo de fervura influenciam no amargor, enquanto condimentos colocados no meio do processo influenciam no sabor e condimentos colocados no final do processo influenciam no aroma (Gráfico 1).

Gráfico 1 - Relação do tempo com a contribuição do condimento na fervura

Fonte: CONDE (2017)

2.5 Resfriamento

Após a etapa de fervura, o mosto precisa ser resfriado o mais rápido possível para que possa ir para o fermentador. É importante que essa etapa seja realizada rapidamente para evitar a contaminação de micro-organismos indesejados e a oxidação em temperaturas acima de 24°C. Geralmente são utilizados trocadores de temperatura para acelerar o processo (Fotografia 3).

Fotografia 3 - Trocador de temperatura



Fonte: INSUMOS DA ILHA (2020)

2.6 Fermentação, Maturação e Envase

A fermentação do mosto deve ser realizada sob temperatura controlada para que as leveduras consigam trabalhar de forma eficiente sem que morram por causa do calor. O processo é responsável por transformar os açúcares em álcool e gás. Durante o processo, as leveduras começam a reduzir suas atividades e flocular para o fundo do fermentador (em cervejas de baixa fermentação) ou para o topo do fermentador (em cervejas de alta fermentação). É interessante remover essa concentração de leveduras para evitar a passagem delas para a garrafa no envase.

Quando todo o açúcar presente no mosto é consumido, é finalizado o processo de fermentação e a cerveja pode ser engarrafada e ir para o processo de maturação. A maturação é o amadurecimento da cerveja, onde ela fica em repouso em baixas temperaturas para eliminar os resíduos gerados no processo de fermentação.

3 AUTOMAÇÃO E MATERIAIS UTILIZADOS

Esta seção tem por objetivo descrever as automações realizadas pelo projeto, comparando com o que já existe no mercado e levantar os materiais utilizados na construção do protótipo.

3.1 Processo Automatizado

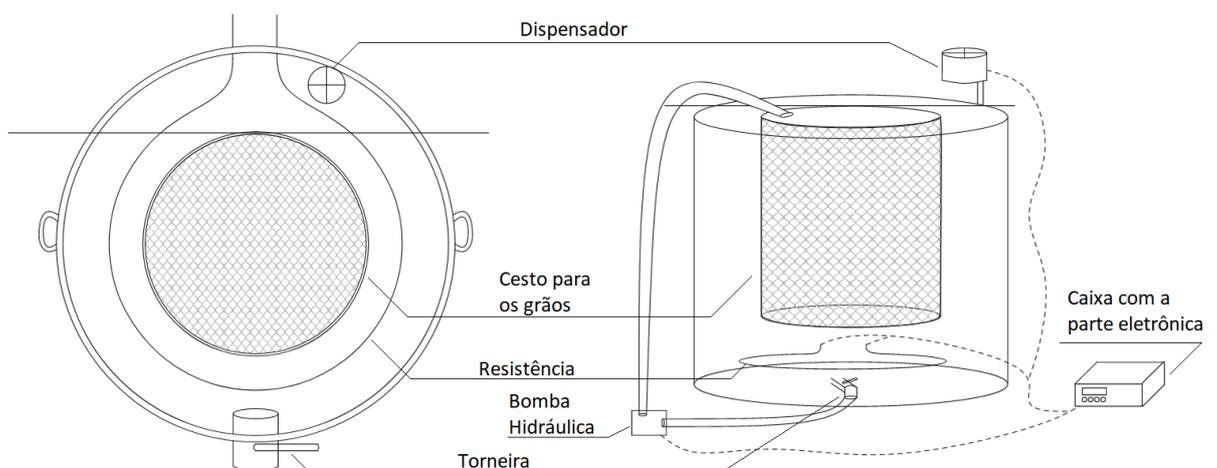
O projeto em desenvolvimento atua nas etapas de mosturação, filtragem e fervura, não agindo nas etapas de malteação, resfriamento e fermentação. Seu objetivo é conseguir controlar as rampas de temperatura da etapa de mosturação corretamente, assim como o tempo de adição dos condimentos na etapa de fervura.

O processo de filtragem é realizado após a mosturação por meio de um sistema de recirculação do mosto no próprio protótipo fazendo o líquido passar pelos grãos de cima para baixo de forma homogênea retirando completamente os açúcares presos nos grãos.

O controle das temperaturas e tempos é realizado por um microcontrolador arduino em colaboração com um sensor de temperatura. O aquecimento do mosto é realizado por uma resistência de baixa densidade. A circulação do mosto é feita por uma bomba magnética de altas temperaturas.

O projeto do protótipo está representado na figura 3.

Figura 3 - Desenho do protótipo desenvolvido



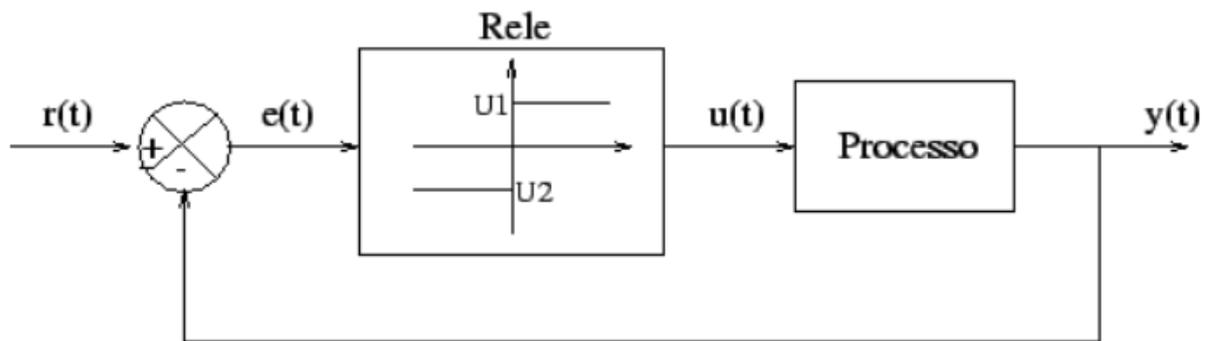
Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

3.1.1 Mosturação automatizada

Para aqueles que não possuem nenhum sistema automatizado, essa etapa da produção é realizada com a medição da temperatura por meio de termômetros culinários inseridos dentro do fluido e o controle da temperatura é realizado manualmente, aumentando e diminuindo o fogareiro ou ligando e desligando o aquecedor conectado na panela. Sua precisão se dará a partir da frequência em que o produtor verificará o termômetro.

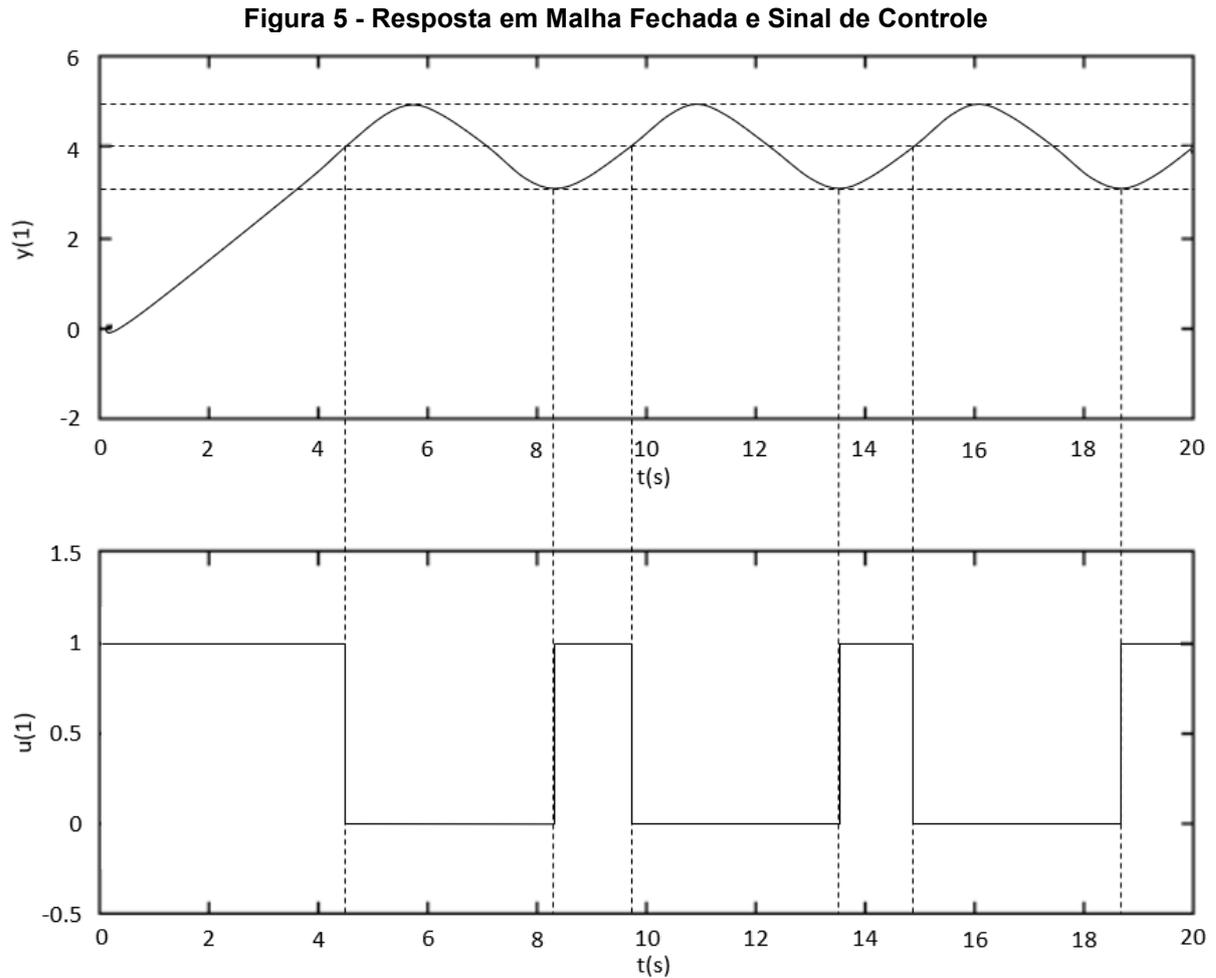
Neste projeto o controle das rampas da mosturação é realizado por um controlador liga-desliga com histerese e seu diagrama de blocos está representado na figura 4.

Figura 4 - Diagrama de Blocos do Controlador On-Off



Fonte: SILVA (2023)

O *setpoint* da temperatura é definido pelo usuário durante o menu da receita. A menor temperatura do sistema é definida como 1°C abaixo do *setpoint* e nessa temperatura a resistência de aquecimento é acionada. A maior temperatura do sistema, onde a resistência é desativada, é a própria temperatura do *setpoint*, visto que existe inércia no aquecimento, elevando a temperatura do sistema mesmo com a resistência desligada. O comportamento do sistema pode ser observado na figura 5.



Fonte: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

3.1.2 Filtragem automatizada

Essa etapa geralmente é realizada por meio de jarras e a própria torneira da panela, aonde os produtores abrem a torneira localizada na parte inferior, enchendo a jarra, e despejam o líquido na parte superior sobre os grãos dentro da panela. O processo deve ser repetido algumas vezes para que a filtragem ocorra corretamente.

No projeto, esse processo ocorre automaticamente com a circulação do líquido pelo protótipo, também utilizando a torneira do mesmo, porém com o auxílio de uma bomba magnética que circula o líquido de maneira constante, despejando na parte superior sobre os grãos de maneira uniforme.

3.1.3 Fervura automatizada

Durante o processo de fervura, os produtores devem controlar externamente o tempo da inserção dos ingredientes e quando atingidos, inserir manualmente os mesmos na panela.

O projeto realiza essa inserção de forma automática por meio de um dispensador que é acionado no tempo definido pelo usuário. O microcontrolador inicia a contagem da fervura quando a temperatura de ebulição é atingida e aciona o motor de passo presente no dispensador quando esse tempo contado se equivale ao tempo do ingrediente definido.

3.2 Produtos Existentes no Mercado

Foi realizada uma pesquisa do que existe no mercado de panelas para produção de cerveja artesanal e a grande maioria dos produtos disponíveis se dedicam apenas ao controle das rampas de temperatura na etapa da mosturação. A panela da Inversa, representada pela fotografia 4, custando aproximadamente R\$4500, tem a capacidade de produzir até 45L e não possui nenhuma inserção de ingredientes durante a etapa da fervura.

Fotografia 4 - Microcervejaria Inversa



Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

Dois produtos americanos se destacaram durante a pesquisa. Foram eles o “BEERMKR” e o “Breewie”, representados nas fotografias 5 e 6. O BEERMKR se apresenta como um produto que atuaria em toda a produção da cerveja, desde a mosturação até a fermentação. Custando 399 dólares, o BEERMKR só é capaz de

produzir aproximadamente 3 litros por vez e não possui automações na adição dos lúpulos e outros ingredientes na Fervura, sendo necessário interromper o processo e adicionar manualmente. O Breewie por sua vez, já possui um sistema de adição de tais temperos, porém seu custo o torna totalmente proibitivo (1500 dólares). Segundo Andrew Gebhart (2018), a Breewie fornece automações úteis, porém não o suficiente para iniciantes e não é efetiva o suficiente para os mais experientes.

Fotografia 5 - BEERMKR



Fonte: BEERMKR (2023)

Fotografia 6 - Breewie



Fonte: BREEWIE (2023)

Assim, o projeto desenvolvido se apresenta como uma boa opção visto que além de possuir o controle das rampas de temperatura, também possui um controle de adição de temperos na etapa da Fervura. Seu custo de produção se dá em aproximadamente 2 mil reais, grande parte pelo custo da própria panela e outros equipamentos já utilizados nas produções manuais.

3.3 Materiais Utilizados

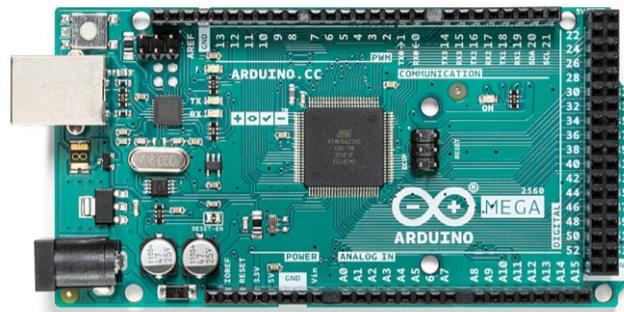
Abaixo seguem as descrições dos materiais utilizados na construção do protótipo.

3.3.1 Microcontrolador Arduino Mega 2560

O Arduino Mega 2560 é um microcontrolador baseado no ATmega2560. Ele possui 54 portas digitais de entrada/saída, sendo 15 delas podendo ser usadas como saída PWM, 16 entradas analógicas e com conexão USB.

A fotografia 7 apresenta a disposição física do microcontrolador Atmega2560 na plataforma Arduino Mega 2560.

Fotografia 7 - Arduino mega 2560



Fonte: ARDUINO (2023)

No Quadro 1 se encontram as principais características da plataforma microcontroladora Arduino Mega 2560.

Quadro 1 - Especificações do Arduino MEGA

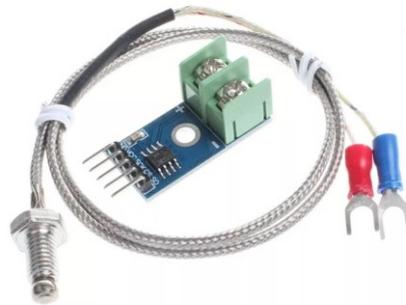
Característica	Descrição
Microcontrolador	Atmega 2560
Tensão operação	5V
Tensão de entrada (recomendada)	7V a 12V
Faixa de tensão de operação	6V a 20V
Portas digitais	54 (14 podem ser configuradas como saída PWM)
Entradas analógicas	16
Corrente máxima por porta digital	40mA
Memória Flash	256KB
Cristal de clock	16 Mhz
Conversor A/D	10 Bits de Resolução com precisão de ± 2 LSBs

Fonte: ARDUINO.CC (2023)

3.3.2 Termopar tipo K com módulo MAX6675

No processo de Brassagem da cerveja artesanal, o termopar tem como função realizar a medição da temperatura do mosto durante as rampas de temperatura da mosturação e durante a fervura. A sonda é revestida em aço inoxidável e sua ponta possui blindagem, permitindo a leitura em ambientes de temperatura mais altas. O termopar e o módulo utilizados estão representados na fotografia 8.

Fotografia 8 - Módulo Max6675 Termopar Tipo K



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

O módulo Max6675 permite ler o termopar utilizando 3 portas do Arduino, além da alimentação, facilitando o acionamento e leitura do sensor de temperatura. Suas especificações estão listadas no Quadro 2.

Quadro 2 - Especificações do Módulo Max6675 Termopar tipo K

Característica	Descrição
Tensão operacional	5V
Corrente de Trabalho	50mA
Precisão	+/-1.5%
Temperatura do Termopar	0 a 800°C
Sonda	Aço Inoxidável

Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.3 Botões de Pulso

Os botões de pulso escolhidos para constituir a interface homem-máquina (IHM) estão representados pela fotografia 9. Para a correta utilização destes botões, é necessária a utilização de Resistores de 10kΩ para *Pull-Up* ou *Pull-Down* para a correta saída no microcontrolador.

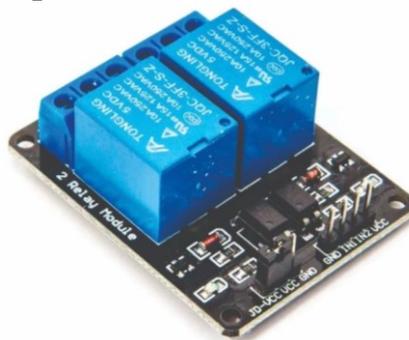
Fotografia 9 - Botão de Pulso

Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.4 Módulo Relé de 2 canais

O relé visa facilitar o acionamento elétrico, fazendo uso do Arduino. É possível realizar ligações, sem a necessidade de montar circuitos, tornando o projeto mais organizado e com ganho de espaço. O módulo Relé de 2 canais (Fotografia 10) é capaz de controlar até 2 dispositivos que podem ser tanto de corrente alternada, quanto de corrente contínua.

O relé funciona, recebendo tensão de 5V e fazendo chaveamento para uma das posições que ele trabalha, Normal Aberto (NA), Normal Fechado (NF) e comum.

Fotografia 10 - Módulo Relé - 2 Canais

Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

As especificações do módulo relé 2 canais estão representadas pelo Quadro 3.

Quadro 3 - Especificações do Relé de 2 canais

Característica	Descrição
Modelo do relé	SRD-5VDC-SL-C
Tensão de alimentação	5V DC

Quantidade de relés	2
Corrente máxima dos contatos	10A
Tensão máxima dos contatos	250V

Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.5 Bomba Magnética

A bomba Magnética (Fotografia 11) é utilizada no processo de filtração, aonde circulará o líquido pelo protótipo a partir da torneira localizada na parte inferior da panela e despejando o líquido na parte superior sobre os grãos, lavando-os e retirando as enzimas geradas durante a mosturação. Suporta temperaturas de até 80 graus e possui cabeça em aço inox para maior durabilidade.

Por se tratar de uma bomba centrífuga necessita ser inundada com o mosto antes de ligá-la, pois o equipamento não tem capacidade de succionar ar.

Fotografia 11 - Bomba Magnética



Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

As especificações da bomba magnética estão representadas pelo Quadro 4.

Quadro 4 - Especificações da bomba magnética

Característica	Descrição
Cabeçote	aço inox 304 sanitário
Vazão	200L/h
Potência	34W
Temperatura máxima de circulação	80°C
Tensão	127V

Fonte: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.6 Motor de Passo 28BYJ-48 com driver ULN2003

O motor de passo foi utilizado na construção do dispensador de condimentos durante a etapa da fervura. Foi escolhido a utilização de um motor de passo pelo melhor controle de posição do mesmo, visto que era necessário dar um quarto de volta para o correto funcionamento do dispensador.

A utilização do driver ULN2003 foi escolhida para que fossem necessárias menos portas do arduino para a operação do motor de passo. Com a utilização desse driver, foram necessária apenas 4 portas digitais do arduino.

O conjunto do motor de passo e o driver estão representados pela Fotografia 12 e as especificações estão representadas no Quadro 5.

Fotografia 12 - Motor de passo 28BYJ-48 e Módulo ULN2003



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

Quadro 5 - Especificações do Módulo ULN2003 / Motor de Passo 28BYJ-48

Característica	Descrição
Microcontrolador	ULN2003
Tensão de Operação	5V
Tipo	Unipolar
Relação de redução	1/64
Diâmetro do Motor	5,1 mm
Torque Máximo	2,2 Kgf.cm

FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.7 Resistência de baixa densidade

A resistência elétrica no processo de produção é utilizada como fonte de calor para o sistema, de modo a aquecer os líquidos que estejam dentro do protótipo, seja água ou mosto. Além disso, o ideal é usar uma resistência elétrica em contato direto com o líquido e de baixa densidade para evitar que o mosto queime rapidamente. Dessa forma, a resistência elétrica para o projeto é do tipo tubular de imersão, aço inox com potência de 600 W e tensão de alimentação de 127 V, consequentemente possuindo corrente nominal de 4,72A (Fotografia 13).

Fotografia 13 - Resistência de baixa densidade



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.8 Buzzer

O *Buzzer* foi utilizado para indicar sonoramente o fim da etapa de filtragem para que o usuário retire o cesto dos grãos e de seguimento do processo com o início da etapa de fervura. O *Buzzer* utilizado foi do tipo ativo e está representado pela fotografia 14.

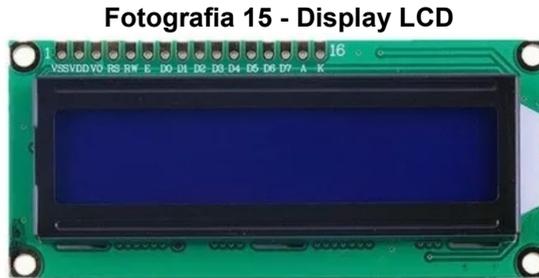
Fotografia 14 - Buzzer ativo



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

3.3.9 Display LCD com módulo I2C

O módulo LCD é constituído por uma tela fabricada de vidro e utiliza a polarização da luz associada a um material de cristal líquido, conforme visto na fotografia 15.



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

Para conectar o LCD ao Arduino é necessário no mínimo 6 jumpers. Porém, isso significa sacrificar algumas portas que poderiam ser utilizadas para outros componentes. Portanto, utilizamos o Módulo I2C para display LCD com CI PCF8574, conforme fotografia 16.



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

Com esse módulo, é possível controlar um display LCD, utilizando apenas 2 pinos do Arduino: pino analógico 4 (SDA) e o pino analógico 5 (SCL), que forma a interface de comunicação I2C.

A estrutura do módulo I2C é constituída da seguinte forma: em uma das laterais do módulo há 4 pinos, sendo 2 para alimentação (VCC e GND), e os outros 2 são da interface I2C (SDA e SCL).

O potenciômetro da placa serve para ajuste do contraste do display. O jumper na lateral oposta permite que a luz de fundo (backlight) seja controlada pelo programa ou permaneça apagada.

3.3.10 Disjuntor SH201-C16

Para adicionar uma chave de acionamento para o circuito foi inserido um disjuntor do modelo SH201-C16 da ABB (Fotografia 17), que também adiciona uma camada de segurança em caso de sobrecarga no circuito.

Fotografia 17 - Disjuntor SH201-C16



FONTE: FICHA TÉCNICA DA ABB (2023)

3.3.11 Conector Emenda Rápida Tipo Wago 3 Vias

Para fazer as conexões dos cabos de potência, permitindo assim energizar a fonte, a resistência e a bomba magnética foram utilizados conectores emenda rápida representados pela fotografia 18.

Fotografia 18 - Conector Emenda Rápida 3 Vias



FONTE: MERCADO LIVRE (2023)

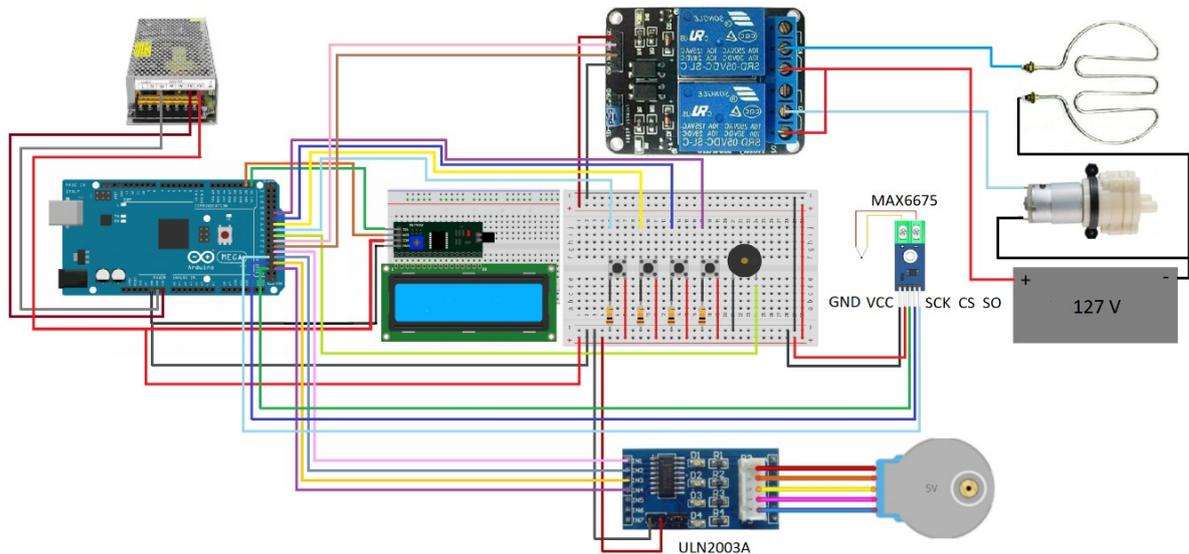
4 CIRCUITO ELÉTRICO E CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Nessa seção são apresentados o projeto do circuito elétrico e o registro da construção do protótipo.

4.1 Circuito Elétrico

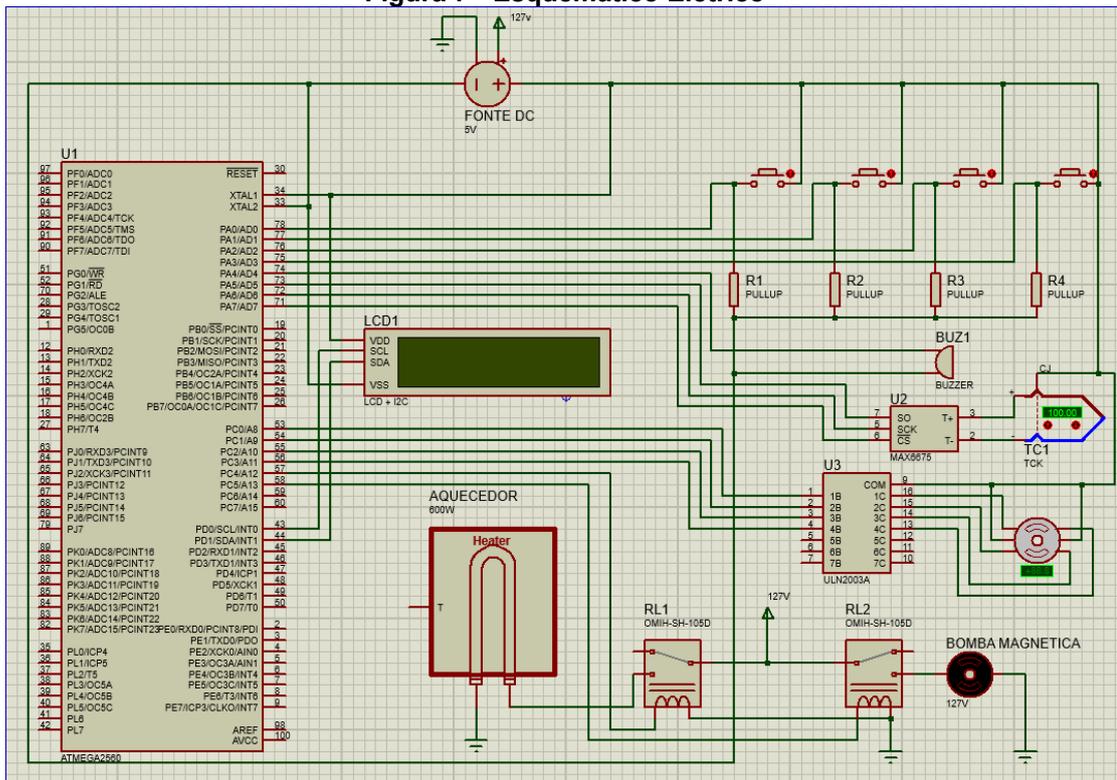
As figuras 6 e 7 representam o circuito elétrico projetado. Ao todo foram utilizadas 16 portas digitais e mais duas portas de comunicação do arduino e devido a isso não foi possível utilizar o arduino UNO no projeto, sendo necessário migrar para o arduino MEGA. As conexões serão inicialmente realizadas em protoboard, mas posteriormente serão aplicadas placas de circuito impresso para o protótipo final.

Figura 6 - Circuito elétrico do projeto



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

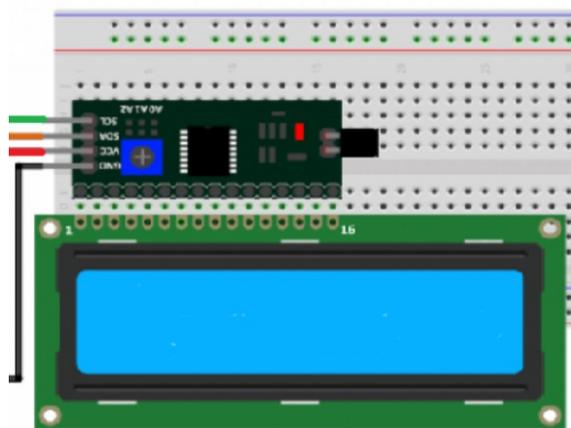
Figura 7 - Esquemático Elétrico



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

A figura 8 representa as conexões entre o arduino e o módulo I2C para o controle do LCD. As portas SDA e SCL são conectadas nas portas 20 e 21 do arduino MEGA que são destinadas especificamente para isso. Na porta VCC é conectada a fonte chaveada com 5V e no GDN é conectado no negativo da fonte. O módulo I2C se encarrega de realizar todas as outras conexões necessárias dentro do LCD.

Figura 8 - Conexões do I2C e Módulo LCD

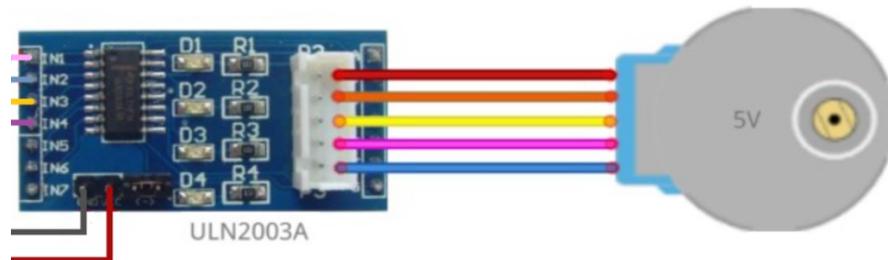


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

A figura 9 apresenta as conexões entre o arduino e o módulo ULN2003A que realiza o controle do motor de passo. São conectadas quatro portas do arduino nas

entradas in1, in2, in3 e in4 e é conectada a fase da fonte de 5v na porta VCC e o negativo da fonte na porta GND. O módulo ULN2003A se encarrega de realizar as conexões com o motor de passo.

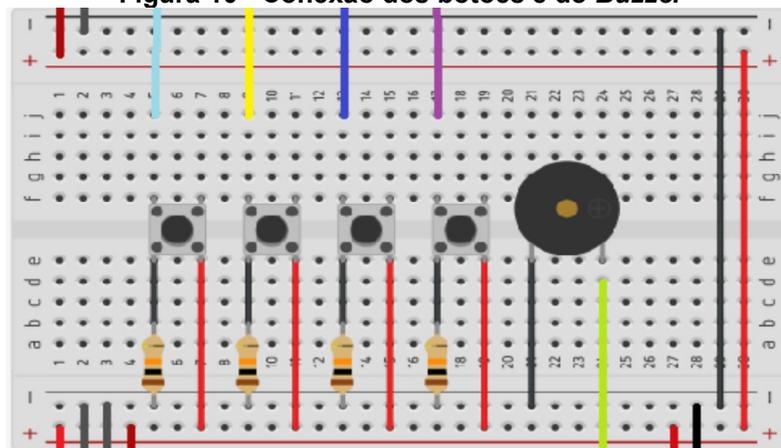
Figura 9 - Conexões do Motor de passo e Módulo ULN2003A



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

A figura 10 representa os botões e o *buzzer*. Em um dos lados dos botões é conectada a fase da fonte 5V e do outro lado é conectada a porta do arduino que receberá o sinal do botão, também é conectado o negativo desse lado para fechar o circuito. No projeto dos botões foi necessário aplicar resistências de 10kΩ para que o curto entre a entrada de 5V e o negativo seja o menor possível, evitando que a placa queime. No caso do *Buzzer* não é necessário o uso de resistências, sendo ele conectado em uma das portas digitais e no negativo.

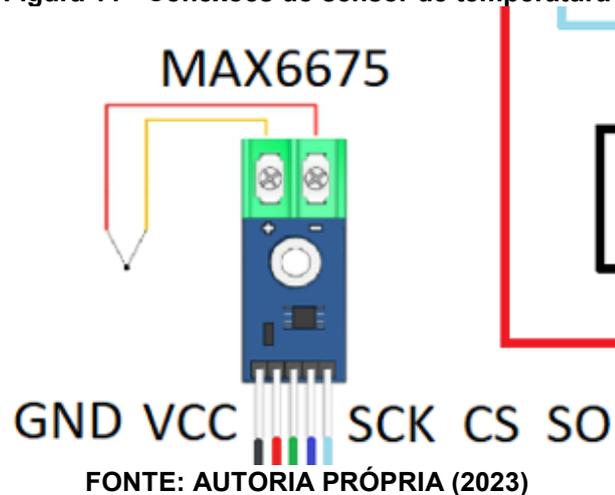
Figura 10 - Conexão dos botões e do *Buzzer*



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

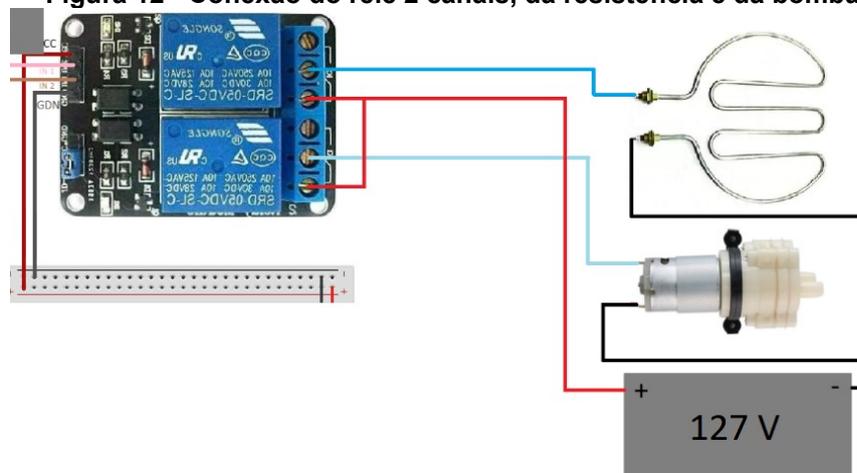
A figura 11 representa as conexões do sensor de temperatura. Ele é alimentado pela fase da fonte de 5V. O pino do GND é conectado no barramento do polo negativo da fonte. Os outros 3 pinos são conectados as portas do Arduino que serão configuradas para realizar a leitura do sensor.

Figura 11 - Conexões do sensor de temperatura



A figura 12 representa os relés que acionam tanto a resistência de aquecimento quanto a bomba magnética. Os relés também são alimentados pela fase 5V da fonte e controlados cada um por uma porta do arduino. Na parte de potência, tanto a resistência quanto a bomba magnética são ligados diretamente na rede em 127V.

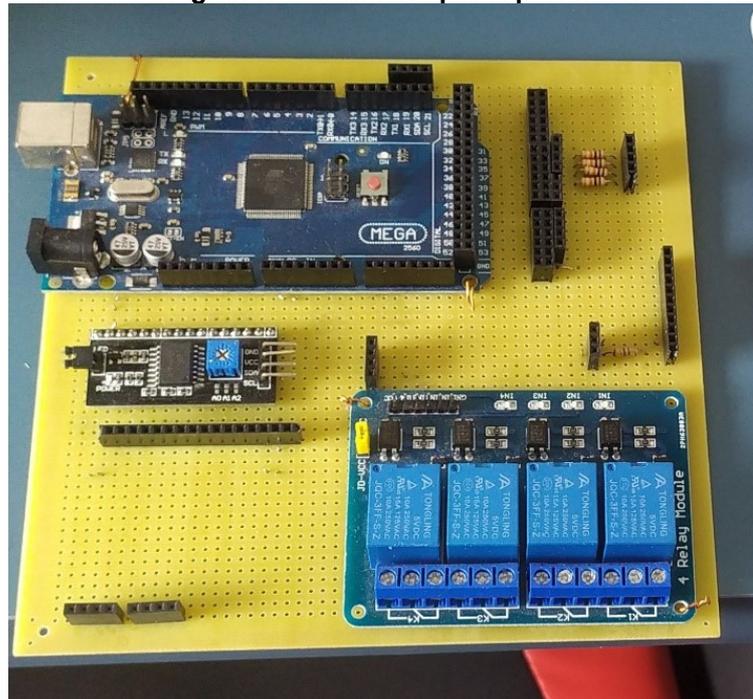
Figura 12 - Conexão do relé 2 canais, da resistência e da bomba



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

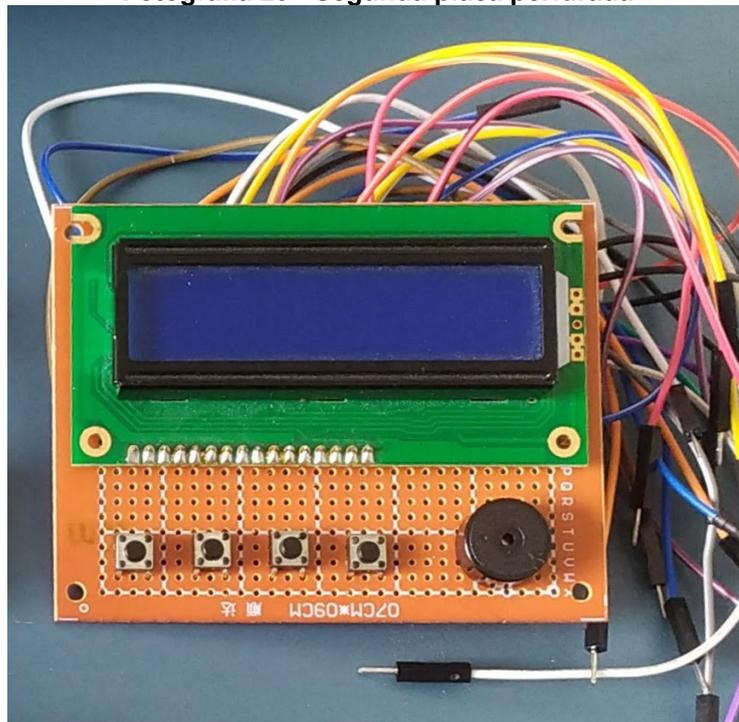
Após a montagem em protoboard, verificando o funcionamento do código e as corretas conexões dos pinos de todos os componentes, o circuito foi transferido para duas placas de circuito impresso perfuradas, sendo uma para hospedar a maior parte do circuito (Fotografia 19) e a outra para compor o painel de interação com o usuário, aonde estará presente o LCD, os botões e o *buzzer* (Fotografia 20).

Fotografia 19 - Primeira placa perfurada



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Fotografia 20 - Segunda placa perfurada



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

4.2 Construção do Protótipo

Para a montagem do protótipo, foram escolhidos componentes já comercializados no mercado a fim de facilitar a montagem e adaptação das peças. A

panela escolhida foi a panela cervejeira de nº30, com capacidade de 20L e com 30cm de diâmetro, conforme apresentado na fotografia 21.

Fotografia 21 - Panela N30



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

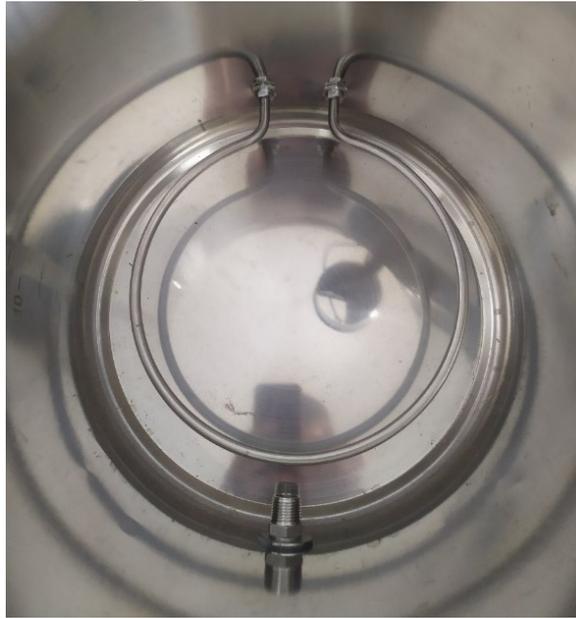
Foi utilizado um cesto de 15cm de diâmetro e 35cm de altura para conter os grãos, representado na fotografia 22. Esse cesto ficará localizado no centro do protótipo com os grãos dentro, permitindo a remoção dos mesmos para a etapa de fervura.

Fotografia 22 - Cesto para Malte



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

A resistência de baixa densidade foi instalada no fundo do protótipo fixada na parede por 2 furos. No fundo também se encontra uma torneira para escoamento do fluido durante a filtragem e no fim do processo. O fundo do protótipo está representado na fotografia 23.

Fotografia 23 - Fundo do Protótipo**FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)**

O dispensador representado na fotografia 24 foi confeccionado com uma caneca de inox de base. Ao fundo foi posicionado o motor de passo e uma chapa de inox para fazer um fundo falso. As hastes do motor foram feitas com chapas de acrílico junto com folhas de EVA para prover o arrasto necessário para o direcionamento dos condimentos para dentro do protótipo. Foi feito um buraco em uma das sessões do dispensador para que os condimentos caiam para dentro do protótipo, representado na fotografia 25.

Fotografia 24 - Dispensador de Condimentos**FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)**

Fotografia 25 - Dispensador vista aérea**FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)**

A bomba representada na fotografia 26 foi conectada por uma mangueira curta diretamente na torneira do protótipo, localizada na parte inferior para garantir que ela trabalhe sempre abaixo do nível do líquido. A saída dela foi conectada por uma mangueira de silicone própria para líquidos quentes e a outra ponta foi posicionada na parte superior do protótipo, apontando para dentro do cesto onde ficam posicionados os grãos. Assim, quando o líquido circular pela bomba, passaram pelos grãos e efetuando a Filtração corretamente.

Fotografia 26 - Bomba magnética conectada no protótipo**FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)**

Para comportar e proteger o circuito elétrico, foi utilizado uma caixa plástica retangular de 11L, onde foram recortados os espaços para o display e os botões, o encaixe para o disjuntor e as saídas dos cabos necessários (Fotografia 27).

Fotografia 27 - Caixa do Circuito



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Assim, o protótipo final foi devidamente montado e está representado pela fotografia 28.

Fotografia 28 - Protótipo Completo



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

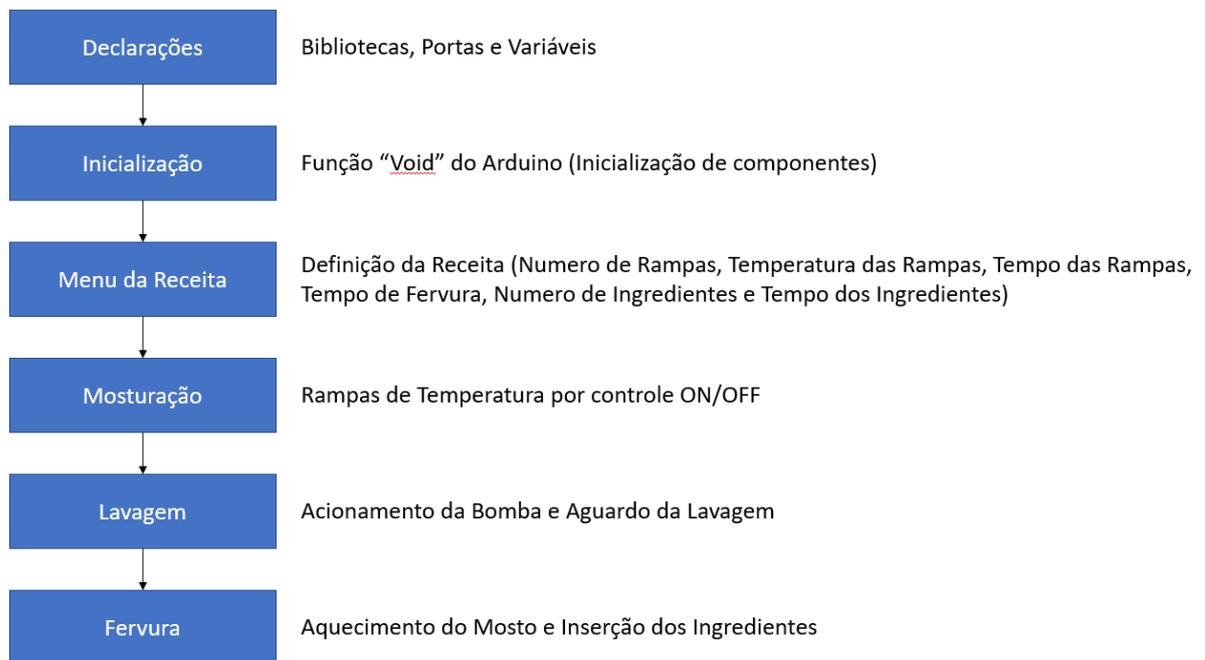
5 CÓDIGO DO ARDUINO

O código do Arduino está dividido em 6 partes (Figura 13). São elas:

- Declarações
- Inicialização
- Menu de Receita
- Mosturação
- Filtração
- Fervura

O código na íntegra se encontra no apêndice A.

Figura 13 - Diagrama do Código



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

5.1 Declarações

Na primeira etapa do código são realizadas as inicializações de bibliotecas utilizadas, as definições de pinos utilizados no sensor de temperatura, nos botões, no LCD e no motor de passo, e as definições de variáveis.

As bibliotecas utilizadas foram:

- pushButton, biblioteca utilizada na utilização dos botões, permitindo utilizar a função "wasPressed" que foi utilizada em várias partes do código;

- Wire, utilizada juntamente com a biblioteca LiquidCrystal para a utilização do LCD com o módulo I2C;
- LiquidCrystal_I2C, utilizada para a utilização do LCD, permitindo utilizar as funções “lcd.clear” e “lcd.print” utilizada durante todo o código com as informações impressas no painel;
- Max6675, utilizada para o sensor de temperatura com o módulo Max6675, permitindo a utilização da função “ktc.readCelsius” que realizava a leitura do sensor e retornava em graus Celsius;
- Stepper, utilizada para a operação do motor de passo, com as funções “myStepper.step” e “myStepper.setSpeed” utilizada no dispensador na etapa de fervura.

Depois de inicializar as bibliotecas, foram definidas variáveis para registrar as portas do arduino. Esta etapa serve para que não fosse necessário alterar em vários lugares do código caso ocorresse alguma mudança de porta. A distribuição das portas está representada pelo Quadro 6.

Quadro 6 - Portas do Arduino

Porta	Descrição
30	CLK (Sensor de Temperatura)
32	CS (Sensor de Temperatura)
34	SO (Sensor de Temperatura)
31	Botão Confirma
33	Botão Mais
35	Botão Menos
37	Botão Cancela
39	<i>Buzzer</i>
41	Aquecedor
43	Bomba Magnética
45	Pino 1 – Motor de Passo
47	Pino 2 – Motor de Passo
49	Pino 3 – Motor de Passo
51	Pino 4 – Motor de Passo

FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Em sequência os botões foram criados com a função `pushButton`, o LCD foi criado com a função `LiquidCrystal_I2C` e o motor de passo foi criado com a função `Stepper`. Além disso, foram definidas as variáveis utilizadas dentro do código.

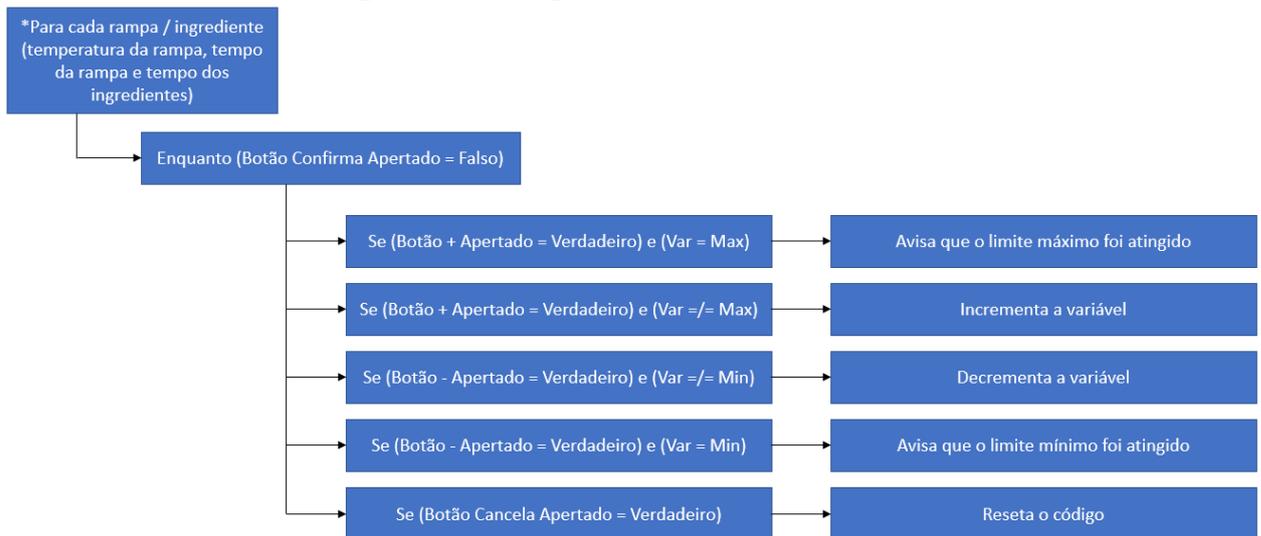
5.2 Inicialização

Na inicialização, identificada pela função “Void” padrão do arduino, o LCD é iniciado e as portas do aquecedor, bomba e *buzzer* são definidas como saídas. Também é definida a velocidade do motor de passo em 12 RPM.

5.3 Menu da Receita

Na primeira etapa do código principal ocorre o menu de definição da receita. Nessa etapa, pela utilização dos loops ‘While’ e ‘For’ são definidas a quantidade de rampas de temperatura, a temperatura de cada rampa, o tempo de cada rampa, o tempo de fervura, o número de ingredientes e o tempo em que cada ingrediente deve entrar. Existem controles dentro dos loops para garantir que os valores definidos estão dentro do máximo e mínimo permitido de cada valor. A figura 14 apresenta um fluxograma para auxiliar a compreensão.

Figura 14 - Fluxograma do menu de receita



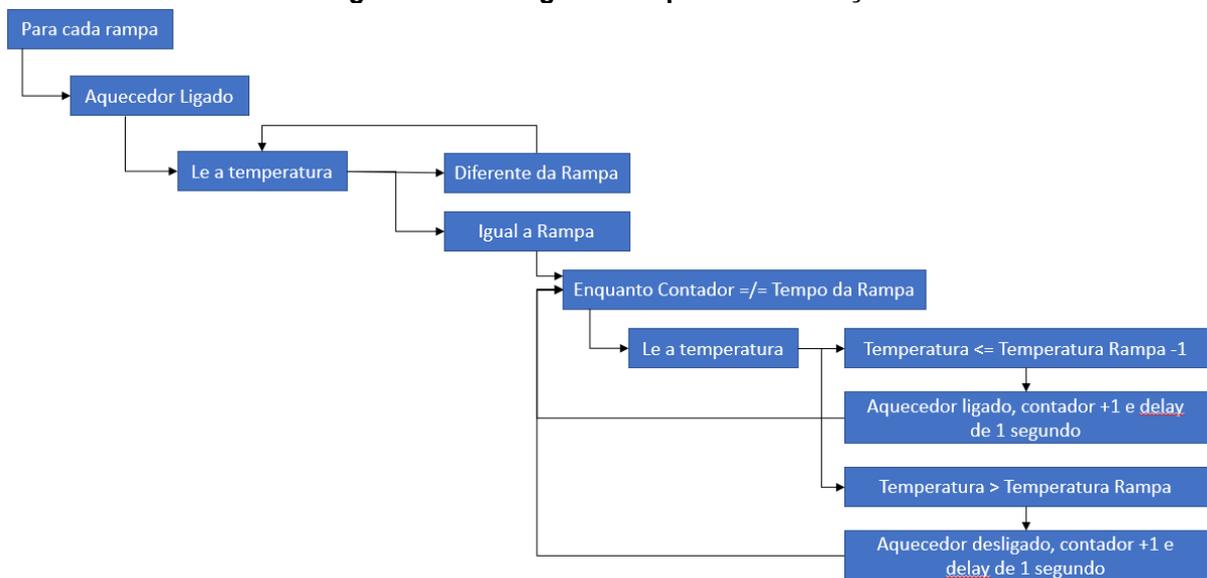
FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

5.4 Mosturação

Assim que a receita é definida no menu e confirmada com o botão confirma, a etapa da mosturação é iniciada. Nela um loop “For” vai fazer com que essa etapa se repita equivalente ao número de rampas definidas. Dentro do “For”, estão contidas duas partes (Alcançando Temperatura e Rampa de Temperatura). Durante a primeira, a temperatura é elevada e medida a cada segundo até que atinja a temperatura da rampa.

Assim que temperatura é atingida, a contagem do tempo da rampa é iniciado e a resistência é operada para que mantenha a temperatura no *setpoint* definido a partir de um sistema ON/OFF. Para que não ocorresse uma sobrecarga de acionamentos no relé, foi definido que o relé seja acionado assim que a temperatura medida seja igual ao *setpoint* menos 1°C e seja desligado quando a temperatura atingisse o *setpoint* por conta da inercia de aquecimento. O fluxograma na figura 15 apresenta esta etapa do código.

Figura 15 - Fluxograma etapa da mosturação



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

5.5 Filtração

Assim que todas as rampas de temperatura são concluídas, a bomba é acionada e um atraso de 2 minutos é acionado, permitindo que o fluido circule pelo protótipo realizando a Filtração dos grãos. Quando finalizados os 2 minutos o *buzzer*

é acionado 3x, indicando que a Filtração foi finalizada e o usuário precisa retirar o cesto e pressionar o botão confirma para seguir com o processo.

5.6 Fervura

Na etapa de fervura a resistência é acionada e a temperatura é controlada até que a temperatura de fervura é atingida. Nesse momento é iniciada a contagem do tempo de fervura e controlado se o tempo atual é o mesmo do tempo definido para a inserção do ingrediente. Assim que os tempos se igualam, o motor de passo é acionado, dando um quarto de volta.

6 TESTES E ANÁLISE DE DADOS

A partir da fórmula da energia térmica:

$$Q = m * c * \Delta Temperatura$$

Pode-se calcular a energia necessária para aquecer 20 Litros de água de 20°C para 100°C. Considerando a constante térmica da água como $c = 4186 \frac{J}{Kg * ^\circ C}$ tem-se que a energia necessária é de $Q = 6.697.690 J$. Utilizando a fórmula de Potência e Energia:

$$P = \frac{E}{\Delta Tempo}$$

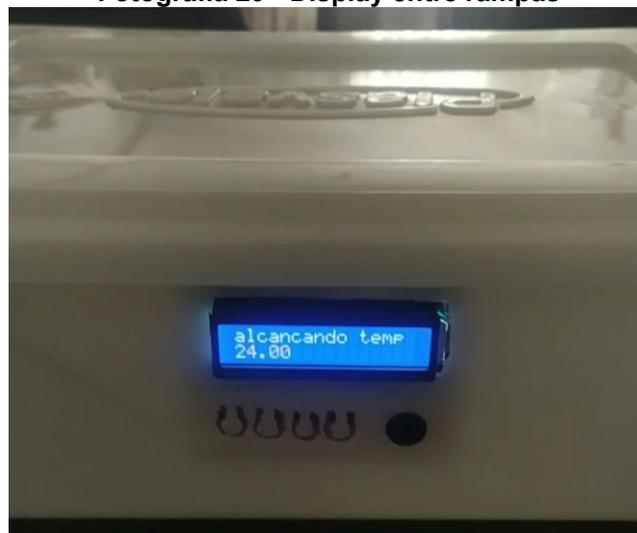
$$600 = \frac{6697690}{\Delta Tempo}$$

$$\Delta Tempo = 11162 \text{ segundos} = 186 \text{ minutos}$$

Considerando a potência da resistência de 600W, conclui-se que o protótipo deve levar 186 minutos para aquecer a temperatura de 20 Litros de água de 20°C para 100°C, tendo uma eficiência de 0,43°C por minuto. Se o objetivo for aquecer 10L nas mesmas condições, o protótipo levaria 93 minutos, com uma eficiência de 0,86°C por minuto.

Com o protótipo finalizado foi dado início nos testes do mesmo para verificar o correto funcionamento das etapas de produção. Seu funcionamento está ilustrado pelas fotografias 29 e 30.

Fotografia 29 - Display entre rampas



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

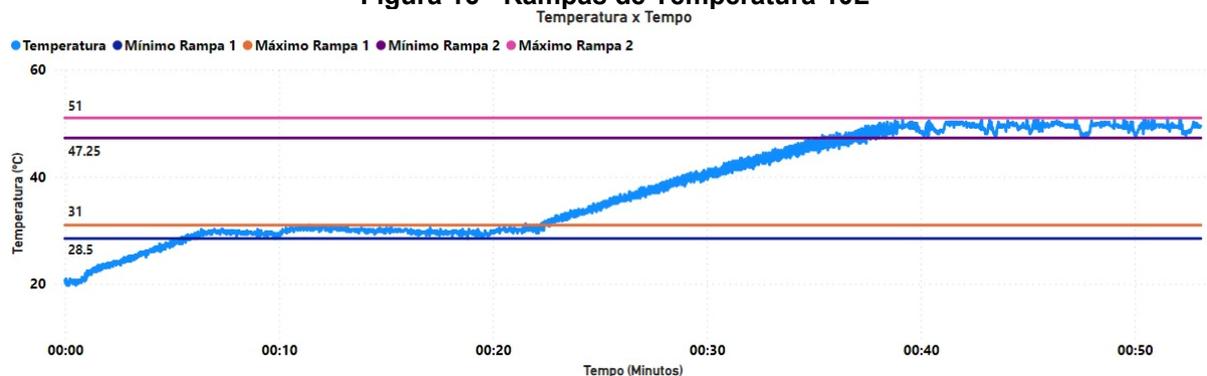
Fotografia 30 - Display durante a rampa



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Inicialmente foi realizado um ciclo no protótipo com 10L de água, aonde foram definidas duas rampas de temperatura, uma a 30 graus e a outra a 50 graus, cada uma delas com 15 minutos de duração. Foi registrada a temperatura no protótipo a cada segundo e traçado o gráfico representado pela figura 16. Nota-se que em temperaturas mais baixas o sistema aparenta ser mais estável, com uma variação de 2,5°C, enquanto em temperaturas maiores a variação de temperatura é maior, com uma variação de 3,75°C. Na transição entre rampas o sistema levou 17 minutos para elevar 20°C, aumentando 0,85°C por minuto.

Figura 16 - Rampas de Temperatura 10L

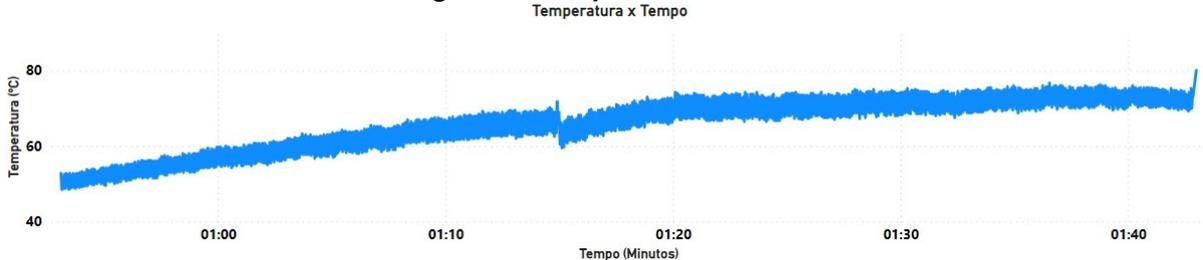


FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Durante o processo de fervura também foi registrada a temperatura e traçado um gráfico representado pela figura 17. Durante essa etapa foram necessários 49 minutos para elevar a temperatura da água de 50°C para 80°C, reduzindo a eficiência

do protótipo para $0,61^{\circ}\text{C}$. A oscilação de temperatura se torna mais perceptível nessa etapa, visto que as temperaturas são mais altas.

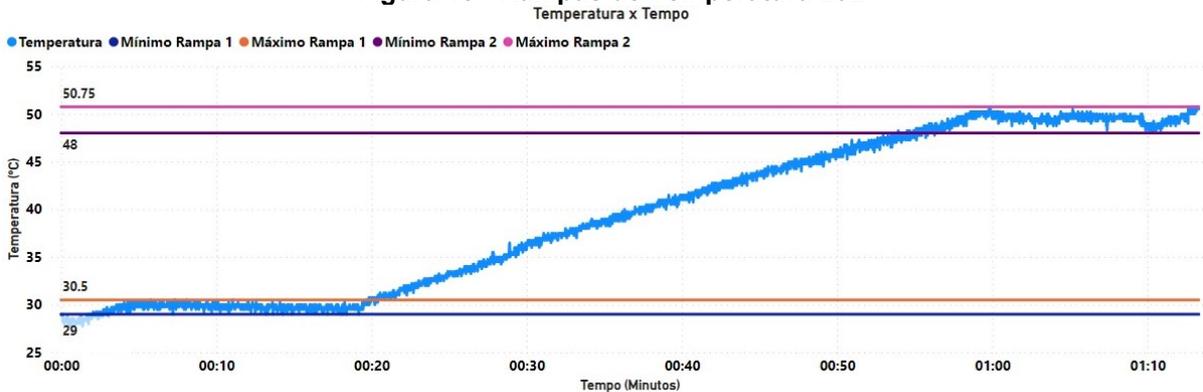
Figura 17 - Etapa de fervura 10L



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Em seguida foi realizado outro teste com o protótipo, com as mesmas condições do primeiro ciclo, porém com 20L de água. Nesse segundo ciclo, a oscilação de temperatura se mostrou menor (Figura 18), mesmo em temperaturas mais altas. Durante a rampa de 30°C a temperatura oscilou $1,5^{\circ}\text{C}$ enquanto durante a rampa de 50°C , a mesma oscilou $2,75^{\circ}\text{C}$. Nas duas rampas, a temperatura oscilou 1°C a menos que no cenário de 10L. Na transição entre rampas o sistema levou 40 minutos para elevar 20°C , aumentando $0,5^{\circ}\text{C}$ por minuto.

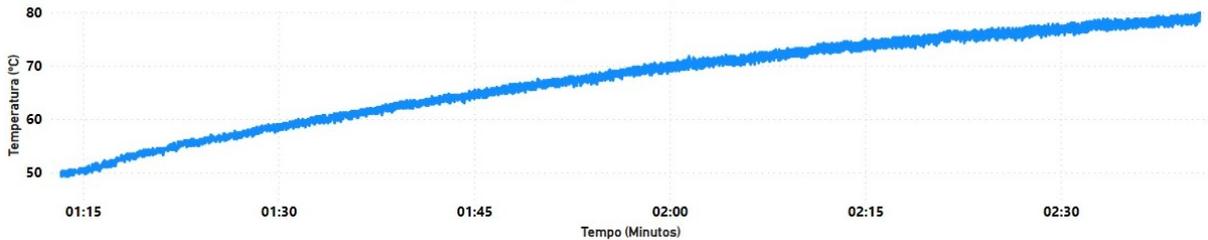
Figura 18 - Rampas de Temperatura 20L



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Nesse teste, durante a fervura, a temperatura foi de 50°C por 80°C em 1 hora e 26 minutos, abaixando a eficiência do protótipo para $0,34^{\circ}\text{C}$ por minuto. A oscilação nessa etapa permanece menor se comparada com a do primeiro teste (Figura 19).

Figura 19 - Etapa de fervura 20L
Temperatura x Tempo



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Em seguida foi realizado mais um teste com os 20L, agora com 3 rampas e o protótipo fechado (Figura 20) para se observar o comportamento da rampa em temperaturas mais altas. Nesse teste pode-se observar melhor a baixa da eficiência do protótipo com temperaturas maiores, visto que foram necessários 39 minutos para elevar a temperatura de 30°C para 50°C (0,51°C por minuto) e 52 minutos para elevar a temperatura de 50°C para 70°C (0,38°C por minuto). Nesse teste, por conta do protótipo se encontrar fechado pela tampa, a dispersão de temperatura se mostrou baixa durante todo o teste, sendo 1,75°C nas três rampas.

Figura 20 - Rampas de Temperatura 20L (Segundo Teste)
Temperatura x Tempo



FONTE: AUTORIA PRÓPRIA (2023)

Observando os testes realizados, pode-se concluir que o protótipo é eficiente em temperaturas mais baixas, porém a eficiência vai caindo gradualmente conforme a temperatura aumenta. Para que seja possível manter a eficiência em 1°C por minuto em temperaturas superiores a 50°C, considerando as formulas mencionadas no

começo da seção, é necessário utilizar uma resistência com a potência de 1395W (sendo a de 1500W a mais próxima encontrada no mercado). Entretanto, considerando a fórmula da potência elétrica:

$$P = U * i$$

Para ligar uma potência de 1500W na rede de 127V, seriam necessários 11,8A, superando os limites do relé de controle e do cabeamento dimensionado. Seria necessário então redimensionar os componentes e cabeamento ou então alterar o circuito para 220V, afim de diminuir o fluxo de corrente elétrica, ocasionando em uma dificuldade na utilização do protótipo em cidades que tem como padrão 127V na rede doméstica.

Observando os produtos para produção de cerveja caseira já existentes no mercado, nota-se que a grande maioria deles só possuem a funcionalidade de controle das rampas de temperatura. Os mais completos citados anteriormente no trabalho seriam o BEERMKR e o Breewie. O BEERMKR se apresenta como uma solução que atua em todas as etapas do processo, da mosturação a fermentação, entretanto não possui nenhuma automação no processo da fervura com a inserção dos ingredientes, que deve ser feita manualmente pelo usuário. O Breewie por sua vez possui um sistema para a inserção dos temperos na fervura, mas seu preço de venda o torna completamente inviável (2500 dólares).

Visto isso, o projeto se apresenta eficiente no que se propõe, possuindo um bom controle de temperatura para as rampas da mosturação, realizando corretamente a lavagem dos grãos, inserindo automaticamente os temperos durante a etapa de fervura, e ao mesmo tempo sendo compacto e não possuindo um custo de produção exorbitante.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este capítulo tem como finalidade concluir e resumir o que foi apresentado durante o desenvolvimento deste protótipo, desde o estudo inicial das etapas inerentes da produção de cerveja até as conclusões gerais do tema e finalizando com algumas sugestões para trabalhos futuros que poderiam complementar o que foi realizado.

No Capítulo 2 foram apresentadas todas as etapas presentes na produção cervejeira, desde o tratamento dos grãos na Malteação, passando pela ativação das enzimas na mosturação, a retirada dessas enzimas dos grãos na filtragem, a esterilização e saborização na fervura, o resfriamento e a fermentação. Nesse capítulo são ressaltadas a função de cada etapa e o impacto que ela tem no produto final.

O Capítulo 3 elenca as etapas do processo que foram automatizadas pelo protótipo, comparando com produtos já existentes no mercado. Também são levantados todos os materiais utilizados na construção, apresentado suas características técnicas.

O desenvolvimento do hardware é apresentado no Capítulo 4, onde é descrita toda a parte do circuito elétrico, envolvendo as interações do Arduino com os componentes do sistema. Neste capítulo também é apresentado a parte física do protótipo, mostrando como foi instalada a resistência elétrica, como foi criado o dispensador de ingredientes e aonde foi posicionada a bomba magnética da etapa de filtragem.

No Capítulo 5 é explicado o código contido no Arduino onde ele é dividido em 6 partes e explicada cada uma delas. São descritas quais portas do Arduino estão encarregadas de quais funções. O código na íntegra consta no Apêndice 1.

O 6º Capítulo registra os testes realizados pelo protótipo onde são comparados os valores registrados com os valores esperados de acordo com as fórmulas de energia térmica e a relação de potência e energia. Notou-se que a eficiência atingida foi próxima da esperada e que tal eficiência vai decaindo conforme a temperatura aumenta. Apesar do controle correto das rampas de temperatura e inserção correta dos ingredientes na fervura, a resistência elétrica dimensionada se mostrou fraca para o volume de água que o protótipo comporta. Como uma possível melhoria do projeto fica a sugestão do aumento da potência da resistência instalada,

redimensionando o circuito para comportar o aumento da corrente elétrica que ocorrerá.

Como sugestão para possíveis trabalhos futuros fica o desenvolvimento de um sistema que consiga remover automaticamente o cesto dos grãos de dentro da panela no momento correto e que realize a adequação da densidade do líquido após a mosturação.

REFERÊNCIAS

- COUTINHO, Carlos Alberto Tavares. **A Cerveja e Sua História**. 2019. Disponível em: <https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/cerveja/historia-da-cerveja/1-a-cerveja-e-sua-historia.html>. Acesso em: 20 de setembro de 2019.
- THE BEER PLANET. **Ninkasi, a deusa suméria da cerveja**. 2019. Disponível em: <https://blogthebeerplanet.com.br/ninkasi-a-deusa-sumeria-da-cerveja/>. Acesso em: 28 de setembro de 2019.
- BOUZON, Emanuel. **O Código de Hammurabi: Introdução, tradução do texto cuneiforme e comentários**. 8 ed. Petrópolis: Vozes, 2000.
- DANTAS, Vitória Nascimento. **A trajetória da cultura cervejeira e sua introdução no Brasil**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado Interdisciplinar em Ciências Humanas) – Instituto de Ciências Humanas, Universidade Federal de Juiz de Fora. Juiz de Fora. 12 f. 2016. Disponível em: <http://www.ufjf.br/bach/files/2016/10/VITORIA-NASCIMENTO-DANTAS.pdf>. Acesso em: 14 de outubro de 2019.
- LARA, Carlos. **História da cerveja: entenda como surgiu e o seu processo de evolução**. 2019. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/cultura/historia-da-cerveja/>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.
- CERVEJAS DO MUNDO. **História da Cerveja – A Antiguidade**. 2019. Disponível em: http://www.cervejasdomundo.com/Na_antiguidade.htm. Acesso em: 28 de setembro de 2019.
- CERVEJAS DO MUNDO. **História da Cerveja – A Era Medieval**. 2019. Disponível em: <http://www.cervejasdomundo.com/EraMedieval.htm>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.
- CERVEJAS DO MUNDO. **História da Cerveja – A Era Moderna**. 2019. Disponível em: <http://www.cervejasdomundo.com/EraModerna.htm>. Acesso em: 10 de outubro de 2019.
- SANTOS, Luiz Carlos; FERREIRA, Rubens Hermógenes. **Indústria de fermentação - A evolução da cerveja: A indústria que nasceu e se desenvolveu através dos tempos: desde a antiguidade, através das cruzadas, passando pelas grandes guerras mundiais e tendo um grande crescimento nos tempos contemporâneos**. 2017. Disponível em: <https://domtotal.com/noticia/1205608/2017/11/industria-de-fermentacao-a-evolucao-da-cerveja/>. Acesso em: 12 de outubro de 2019.
- ABOUMRAD, Jean Pierre Cordeiro; BARCELLOS, Yvie Carolinne Medeiros. **Análise e simulação das operações de mosturação e fermentação no processo de produção de cervejas**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química e de Petróleo, Universidade Federal Fluminense. Niterói. 82 f. 2015. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/1624/1/Projeto%20Final%20-%20Yvie%20e%20Jean.pdf>. Acesso em: 18 de outubro de 2019.

PELLEGRIM, Caio Cesar; PROENÇA, Letícia Brizolla; JESUS, Victor Evangelista de. **Panela com controle de temperatura para etapa de brasagem da fabricação de cerveja artesanal**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) – Departamento Acadêmico de Eletrotécnica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba. 74 f. 2017. Disponível em: http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/10105/1/CT_COEAU_2017_1_05.pdf. Acesso em: 18 de outubro de 2019.

MICROAMBIENTAL. “Por que monitorar a qualidade da água na indústria de cerveja”. **Etapas do processo de produção de cerveja**. 27 jan. 2021. Disponível em: <https://microambiental.com.br/analises-de-agua/por-que-monitorar-a-qualidade-da-agua-na-industria-de-cerveja/>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

ROSENTHAL, Rodolfo. “O que é a maltagem e como funciona seu processo”. **Grãos no processo de malteação**. 30 abr. 2019. Disponível em: <https://www.hominilupulo.com.br/maltagem/>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

DINSLAKEN, Daniel. “Mash Out: para que fazer e como ele afeta o perfil da cerveja”. **Relação de temperatura e ativação de enzimas**. 23 ago. 2017. Disponível em: <https://concerveja.com.br/mash-out/>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

BODE, Daniel. “Clarificação: Lavagem e Filtragem”. **Clarificação da cerveja**. 24 de setembro. 2009. Disponível em: <http://www.cervejahenrikboden.com.br/clarificacao-lavagem-filtragem/>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

SILVA, João Manoel Gomes da. “Ação Liga-Desliga”. **Diagrama de Blocos**. 03 abr. 2000. Disponível em: <http://www.ece.ufrgs.br/~jmgomes/pid/Apostila/apostila/node20.html>. Acesso em: 15 de maio de 2023.

CONDE, David C. **Design of a semi-automated home brewing system**. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Tecnologia Industrial) - Escola Técnica Superior de Engenharia Industrial de Barcelona. Barcelona. 22 f. 2017. Disponível em: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/111186/David_Catalan_Conde_-_TFG_-_JulioI_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

INSUMOS DA ILHA. “Chiller Alumínio 1/2 15 Metros”. **Trocador de temperatura**. 2020. Disponível em: <https://www.insumosdailha.com.br/produto/chiller-aluminio-12-15-metros/>. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

MERCADO LIVRE. **Microcervejaria Inversa**. Disponível em: <https://shre.ink/lyrW>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

BEERMKR. **Homepage**. Disponível em: <https://beermkr.com>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

BREEWIE. **Homepage**. Disponível em: <https://sunnhordlandbryggeri.no/shop/home/index.htm>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

ARDUINO CC. Arduino Store. **Ficha Técnica**. 2023. Pagina do Arduino Mega 2560 Rev3. Disponível em: <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3?selectedStore=us>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

ARDUINO CC. Arduino Store. **Arduino Mega 2560 Rev3**. Disponível em: <https://store.arduino.cc/products/arduino-mega-2560-rev3>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Modulo Leitor Temperatura Max6675 Termopar Tipo K, Automação”. **Ficha Técnica**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1LB>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. **Botão de Pulso**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Yg>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Módulo Escud De Relé 5v 2 Canais Arduino Raspb Jqc-3ff-s-z”. **Ficha Técnica**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Z4>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Bomba Recirculação Tráfega Inox 304 Cerveja Artesanal 110v”. **Ficha Técnica**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Z0>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Motor De Passo 28byj-48 5v + Drive Uln2003 P Arduino C/ Nf”. **Ficha Técnica**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Zz>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Resistência Elétrica Panela Cervejeira A Seco 600w/127v”. **Resistência de baixa densidade**. 2022. Disponível em: <https://shre.ink/l1ZC>. Acesso em: 25 de abril de 2022.

MERCADO LIVRE. “3x Buzzer Ativo 5v Sinal Beep Arduino Raspberry Som”. **Buzzer Ativo**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Z3>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “10x Display Tela Lcd 16x2 Backlight Azul / Nf”. **Display LCD**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Z9>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Modulo Serial I2c Para Display Lcd 16x2 Iicp - Arduino / Pic”. **Módulo I2C**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1Z9>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

ABB. “Informação detalhada por: SH201-C16”. **Disjuntor SH201-C16**. 2023. Disponível em: <https://new.abb.com/products/pt/2CDS211001R0164/sh201-c16>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

MERCADO LIVRE. “Kit Com 10pçs Conector Emenda Rapida 3 Vias Lukma”. **Conector Emenda Rápida 3 Vias**. 2023. Disponível em: <https://shre.ink/l1ZS>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

GEBHART, Andrew. **Brewie+ review: An effective, if impractical, home brewing bot**. 2018. Disponível em: <https://www.cnet.com/reviews/brewie-plus-review/>. Acesso em: 01 de abril de 2023.

DIAS, Gabriel D. **Automação das etapas de mosturação e clarificação do processo de brassagem na produção de cerveja artesanal**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Controle e Automação) - Instituto de Ciência e Tecnologia de Sorocaba, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". Sorocaba. p84. 2020. Disponível em:

https://www.sorocaba.unesp.br/Home/Graduacao/EngenhariadeControleeAutomacao/galdenoro1906/tg_gabriel_domann_dias_152270256_final.pdf. Acesso em: 08 de agosto de 2021.

MCROBERT, M.; [tradução. Rafael Zanolli]. **Arduino Básico**. Editora Novatec. São Paulo, 2011. Disponível em:

https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4287597/mod_resource/content/2/Ardu%C3%ADno%20B%C3%A1sico%20-%20Michael%20McRoberts.pdf. Acesso em: 05 de maio de 2022.

APÊNDICE A - Código Completo do Arduino

```

#include <pushButton.h>
#include <Wire.h>
#include <max6675.h>
#include <Stepper.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h>

#define portaconfirma 31
#define portamais 33
#define portamenos 35
#define portacancela 37
#define buzzer 39
#define aquecedor 41
#define bomba 43
#define stepPin1 45
#define stepPin2 47
#define stepPin3 49
#define stepPin4 51
#define ktcCLK 30
#define ktcCS 32
#define ktcSO 34

MAX6675 ktc(ktcCLK, ktcCS, ktcSO);

pushButton botaconfirma(portaconfirma);
pushButton botaomais(portamais);
pushButton botaomenos(portamenos);
pushButton botaocancela(portacancela);

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2);

const int stepsPerRevolution = 2048;
Stepper myStepper(stepsPerRevolution, stepPin1,
stepPin3, stepPin2, stepPin4);

int nrampas=0;
int setpointrampas[4];
int temporampas[4];
int tempoferv=0;
int ningredientes=0;
int setpointfervs[3];

int i = 0;
int j = 0;
float k = 0;
int var = 0;
int flag = 0;
int cont1 = 0;
int cont2 = 0;

char buffer[40];
int etapa = 0;

int temperaturarampa;
int temporampa;
int setpointrampa;
int setpointferv;

void setup(){
  lcd.init();
  lcd.backlight();
  lcd.print("iniciando");
  pinMode(aquecedor,OUTPUT);
  pinMode(buzzer,OUTPUT);
  pinMode(bomba,OUTPUT);
  myStepper.setSpeed(12);
  Serial.begin(9600);
}

void loop(){
  nrampas = 0;
  var = 0;
  Serial.println("Seleção do Numero de Rampas");
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("selecao do num");
  lcd.setCursor(3,1);
  lcd.print("de rampas");
  delay(3000);
  lcd.clear();
  lcd.setCursor(1,0);
  lcd.print("0 Rampas");

  while (nrampas == 0) {
    while (botaconfirma.wasPressed() == false) {
      if (botaomais.wasPressed() && var<4) {
        var++;
        sprintf(buffer, "%d rampas", var);
        lcd.clear();
        lcd.setCursor(0,0);
        lcd.print(buffer);
        flag = 0;
      }
    }
    if (var == 4 && flag == 0) {
      lcd.clear();
      lcd.setCursor(0,0);
      lcd.print("4 = num max de");
      lcd.setCursor(0,1);
    }
  }
}

```

```

lcd.print("rampas");
flag = 1;
}
if (botaomenos.wasPressed() && var>1) {
var--;
sprintf(buffer, "%d rampas", var);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 1 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("1 = num min de");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("rampas");
flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
}
nrampas = var;
delay(500);
}

Serial.println(nrampas);

if(nrampas != 0){
Serial.println("Seleção da Temperatura das Rampas");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("selecao das temp");
lcd.setCursor(3,1);
lcd.print("das rampas");
delay(3000);
flag = 0;
}

var = 16;
for (i=1;i<=nrampas;i++){

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
sprintf(buffer, "rampa: %d ", i);
lcd.print(buffer);

while (botaocfirma.wasPressed() == false) {
if (botaomais.wasPressed()) && var<80) {
var++;

sprintf(buffer, "rampa: %d ", i);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
sprintf(buffer, "%d C", var);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 80 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("80 = tempe max");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("atingida");
flag = 1;
}
if (botaomenos.wasPressed() && var>15) {
var--;
sprintf(buffer, "rampa: %d ", i);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
sprintf(buffer, "%d C", var);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 15 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("15 = tempe min");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("atingida");
flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
}
setpointrampas[i] = var;
sprintf(buffer, "Rampa %d", i);
Serial.println(buffer);
Serial.println(setpointrampas[i]);
flag = 0;
delay(500);
}

Serial.println("Seleção do Tempo das Rampas");
lcd.clear();
lcd.setCursor(3,0);

```

```

lcd.print("selecao de");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("tempos de rampas");
delay(3000);
flag = 0;

var = 10;
for (i=1;i<=nrampas;i++){

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
sprintf(buffer, "rampa: %d ", i);
lcd.print(buffer);

while (botaconfirma.wasPressed() == false) {
if (botaomais.wasPressed() && var<120) {
var = var + 5;
sprintf(buffer, "tempo da rampa %d", i);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
sprintf(buffer, "%d minutos", var);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 120 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("120 = tempo max");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("da rampa");
flag = 1;
}
if (botaomenos.wasPressed() && var>5) {
var = var - 5;
sprintf(buffer, "tempo da rampa %d", i);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
sprintf(buffer, "%d minutos", var);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 5 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("5 = tempo min");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("da rampa");

flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
}
temporampas[i] = var*60;
sprintf(buffer, "Rampa %d", i);
Serial.println(buffer);
Serial.println(temporampas[i]);
flag = 0;
delay(500);
}

Serial.println("Seleção do Tempo de Fervura");
lcd.clear();
lcd.setCursor(3,0);
lcd.print("selecao do");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("tempo da fervura");
delay(3000);
flag = 0;

var = 10;
tempoferv = 0;
while (tempoferv == 0) {
while (botaconfirma.wasPressed() == false) {
if (botaomais.wasPressed() && var<120) {
var = var + 5;
sprintf(buffer, "%d minutos", var);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("de fervura");
flag = 0;
}
if (var == 120 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("120 = tempo max");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("de fervura");
flag = 1;
}
if (botaomenos.wasPressed() && var>10) {
var = var - 5;
sprintf(buffer, "%d minutos", var);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
}
}
}

```

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("de fervura");
flag = 0;
}
if (var == 10 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("tempo da fervura");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("10 = tempo min");
flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
}
tempoferv = var*60;
delay(500);
}

Serial.println(tempoferv);

Serial.println("Seleção do Numero de Ingredientes");
lcd.clear();
lcd.setCursor(1,0);
lcd.print("selecao do num");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("de ingredientes");
delay(3000);
flag = 0;

var = 1;
ningredientes = 0;
while (ningredientes == 0) {
while (botaconfirma.wasPressed() == false) {
if (botaomais.wasPressed() && var<3) {
var++;
sprintf(buffer, "%d ingredientes", var);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 3 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("3 = num max de");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("ingredientes");
flag = 1;
}

if (botaomenos.wasPressed() && var>1) {
var--;
sprintf(buffer, "%d ingredientes", var);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 1 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Num de Ingred");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("1 = num min de");
flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
}
ningredientes = var;
delay(500);
}

Serial.println(ningredientes);

Serial.println("Seleção do Tempo dos Ingredientes");
lcd.clear();
lcd.setCursor(2,0);
lcd.print("selecao dos");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("tempos de ingred");
delay(3000);
flag = 0;

var = 10;
for (j=1;j<=ningredientes;j++){

lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
sprintf(buffer, "ingrediente %d ", j);
lcd.print(buffer);

while (botaconfirma.wasPressed() == false) {
if (botaomais.wasPressed() && var<80) {
var = var + 5;
sprintf(buffer, "ingred %d :", j);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
sprintf(buffer, "%d minutos", var);

```

```

lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 80 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("80 = tempo max");
flag = 1;
}
if (botaomenos.wasPressed() && var>5) {
var = var - 5;
sprintf(buffer, "ingred %d :", j);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
sprintf(buffer, "%d minutos", var);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
flag = 0;
}
if (var == 5 && flag == 0) {
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("5 = tempo min");
flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
}
setpointfervs[j] = var*60;

sprintf(buffer, "Ingrediente %d", j);
Serial.println(buffer);
Serial.println(setpointfervs[j]);
flag = 0;
delay(500);
}

var = 0;
flag = 0;
etapa = 0;

//-----
while (etapa == 0) {
if(flag == 0){
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("Aperte confirma");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("para continuar");
flag = 1;
}
if (botaocancela.wasPressed()){
return;
}
if(botaocconfirma.wasPressed()){
etapa = 1;
flag = 0;
}
}

//Etapa de Mosturação
if(etapa=1){
for (i=1;i<=nrampas;i++){
cont1 = 0;
Serial.println(i);
temperaturarampa = setpointrampas[i];
temporampa = temporampas[i];
Serial.println(temperaturarampa);
Serial.println(temporampa);
k = ktc.readCelsius();
while (isnan(k)){
k = ktc.readCelsius();
}
while (k < temperaturarampa){
k = ktc.readCelsius();
while (isnan(k)){
k = ktc.readCelsius();
}
Serial.println(k);
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("alcançando temp");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(k);
if(k>temperaturarampa){
digitalWrite(aquecedor,LOW);
}
if(k<temperaturarampa){
digitalWrite(aquecedor,HIGH);
}
}
}

if (k >= temperaturarampa){
flag = 1;
digitalWrite(aquecedor,LOW);
Serial.println("Entrou na Rampa");
}
}

```

```

while (flag == 1){
k = ktc.readCelsius();
while (isnan(k)){
k = ktc.readCelsius();
}
Serial.println(k);
if (cont1 == temporampa){
flag = 0;
}
if (k <= temperaturarampa - 1){
digitalWrite(aquecedor,HIGH);
}
if (k >= temperaturarampa){
digitalWrite(aquecedor,LOW);
}
cont1++;
delay(1000);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(ktc.readCelsius());
sprintf(buffer, "%d segundos", cont1);
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(buffer);
}

}
etapa = 2;
digitalWrite(aquecedor,LOW);

//-----

//Etapa de Filtração
if(etapa = 2){
Serial.println("Entrou na Filtração");
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("iniciando a");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("Filtração (2min)");
digitalWrite(bomba,HIGH);
delay(120000);
digitalWrite(bomba,LOW);
etapa = 3;
}

for (i=1;i<=3;i++){
digitalWrite(buzzer,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(buzzer,LOW);
delay(1000);
}

}

}

//-----

while (etapa == 3){
if(flag == 0){
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("retire a pan int");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print("e aperte confirm");
flag = 1;
}
if(botaoconfirma.wasPressed()){
Serial.println("Entrou na Fervura");
etapa = 4;
flag = 0;
}
}

//Etapa de Fervura
if(etapa = 4){
digitalWrite(aquecedor,HIGH);
k = ktc.readCelsius();
while (isnan(k)){
k = ktc.readCelsius();
}
Serial.println(k);
while (k < 80){
k = ktc.readCelsius();
while (isnan(k)){
k = ktc.readCelsius();
}
delay(1000);
Serial.println(k);
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print("alcancando temp");
lcd.setCursor(0,1);
lcd.print(k);
}
if (k >= 80){
Serial.println("Iniciando a contagem da Fervura");
flag = 1;
i = 1;
}
}
cont2 = 0;
while (flag == 1){
cont2++;
delay(1000);
sprintf(buffer, "%d segundos", cont2);
}
}

```

```
lcd.clear();
lcd.setCursor(0,0);
lcd.print(buffer);
if (cont2 == tempoferv){
flag = 0;
}
setpointferv = setpointfervs[i];
if (cont2 == setpointferv){
i++;
myStepper.step(512);
delay(2000);
cont2++;
cont2++;
}
}
digitalWrite(aquecedor,LOW);
lcd.print("fim da fervura");
for (i=1;i<=3;i++){
digitalWrite(buzzer,HIGH);
delay(1000);
digitalWrite(buzzer,LOW);
delay(1000);
}
}
}
```