

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**MATHEUS HARWALIS MIRANDA**

**CONSTRUÇÃO DE UM REATOR ACETIFICADOR PARA A PRODUÇÃO DE  
VINAGRE DE MALTE**

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

**MATHEUS HARWALIS MIRANDA**

**CONSTRUÇÃO DE UM REATOR ACETIFICADOR PARA A PRODUÇÃO DE  
VINAGRE DE MALTE**

**Construction of an acetifier reactor for the production of malt vinegar**

Trabalho de conclusão de curso de graduação apresentada como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Orientador(a): Prof. Dra. Silvane Morés

Coorientador(a): Prof. Dr. Claiton Zanini Brusamarello

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**



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

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

**MATHEUS HARWALIS MIRANDA**

**CONSTRUÇÃO DE UM REATOR ACETIFICADOR PARA A PRODUÇÃO DE  
VINAGRE DE MALTE**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação  
apresentado como requisito para obtenção do título de  
Bacharel em Engenharia Química da Universidade  
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22 de junho de 2022.

---

Silvane Morés  
Doutorado em Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão

---

Claiton Zanini Brusamarello  
Doutorado em Engenharia Química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão

---

Thalita Grando Rauen  
Doutorado em Físico-química  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Campus Francisco Beltrão

“A folha de aprovação assinada encontra-se na Coordenação do Curso”

**FRANCISCO BELTRÃO**

**2022**

Dedico este trabalho à minha família, por sempre acreditar no meu potencial e me apoiar em tudo.

## **AGRADECIMENTOS**

É difícil colocar em palavras o sentimento de gratidão a todas as pessoas que fizeram parte dessa jornada maluca, mas de grande aprendizado e amadurecimento, que foi ir ao Paraná fazer uma universidade, longe de tudo que eu conhecia e principalmente das pessoas que mais amo.

Agradeço a Deus por ter me dado toda a força e estar comigo em todos os momentos dessa jornada.

Agradeço a minha família, que sempre me deu todo o suporte para que eu conseguisse alcançar esse objetivo e acreditando em mim em momentos que eu mesmo duvidava da minha capacidade.

Agradeço a todos os amigos e colegas de classe e faculdade que fiz ao longo desses anos e todas as descobertas que fizemos juntos.

Agradeço aos meus amigos que se tornaram família e também foram meu alicerce durante toda essa trajetória.

Agradeço aos meus professores e banca, por terem feito o melhor para que me tornasse o melhor profissional.

## RESUMO

Visando a contribuição à literatura científica quando diz respeito a reatores vinagreiros de processo rápido ou alemão, espera-se que os dados obtidos contribuam com o avanço da tecnologia e com a ampliação da diversificação do uso de vinagre como o vinagre de malte no Brasil. Este trabalho teve como objetivo construir um reator acetificador através do método alemão, monitorar o processo acético através de sensores de pH e temperatura através de um microcontrolador Arduino. Obter um vinagre de malte, utilizando como matéria-prima cerveja artesanal puro malte e comparar com a legislação brasileira de bebidas fermentadas. Foi construído o biorreator do tipo alemão, em polipropileno, com capacidade de 15 litros. Foi utilizado para o mosto uma cerveja de malte com 6,5% de concentração alcoólica e vinagre de vinho não pasteurizado como cultura *starter*. Um código de programação para arduino foi adaptado para este trabalho em específico, permite monitorar o pH e temperatura de forma simultânea durante a acetificação da cerveja de malte a cada 30 minutos. A terceira batelada foi a escolhida para as análises dos dados coletados pelos sensores por ter um comportamento de pH e acidez similar a literatura. Os valores obtidos de pH variaram de 0,50 à 3,66 e de temperatura se manteve em 23,31 °C após um período de adaptação do dia 0 ao dia 1. Os valores obtidos para densidade média foram 1,0269 g/mL para picnômetro e 1,0250 g/mL para o densímetro; Acidez volátil em ácido acético 4,02 g/100 mL e 4,15 g/mL pela análise feita em laboratório terceiro; Extrato seco total um valor de 69,46 g/L; Cinzas obteve um valor de 10,2344 g/L; Graduação alcoólica em 1,55 v/v; Açúcares totais com 11,1 g/L; Sulfatos em 0,011 g/L. Os resultados encontrados estão fora dos estipulados pela legislação pois a acetificação foi interrompida antes que houvesse uma estabilização em seu valor de ácido acético que chegou à 3,92, o que justifica ainda um elevado valor para a graduação alcoólica. Os valores de acidez volátil aparecem dentro dos padrões exigidos pela legislação, mas foram avaliados dias depois, sem a interrupção das bactérias, que continuaram a acetificar, comprovando que se permanecer mais alguns dias de batelada o reator seria capaz de produzir com os padrões exigidos à legislação.

**Palavras-chave:** vinagre; malte; reator; método alemão.

## ABSTRACT

Aiming to contribute to the scientific literature when it comes to fast-process or German vinegar reactors, it is expected that the data obtained will contribute to the advancement of technology and to the expansion of the diversification of the use of vinegar such as malt vinegar in Brazil. This work aimed to build an acetifying reactor using the German method, monitoring the acetic process through pH and temperature sensors through an Arduino microcontroller. Obtain a malt vinegar, using pure malt craft beer as raw material and compare it with the Brazilian legislation on fermented beverages. The German type bioreactor was built, in polypropylene, with a capacity of 15 liters. A malt beer with 6.5% alcohol concentration and unpasteurized wine vinegar was used for the wort as a starter culture. A programming code for arduino was adapted for this specific work, it allows to monitor the pH and temperature simultaneously during the acetification of the malt beer every 30 minutes. The third batch was chosen for the analysis of the data collected by the sensors because it has a pH and acidity behavior similar to the literature. The pH values obtained ranged from 0.50 to 3.66 and the temperature remained at 23.31 °C after an adaptation period from day 0 to day 1. The values obtained for average density were 1.0269 g/mL for pycnometer and 1.0250 g/mL for the hydrometer; Volatile acidity in acetic acid 4.02 g/100 mL and 4.15 g/mL by analysis performed in a third-party laboratory; Total dry extract a value of 69.46 g/L; Ash obtained a value of 10.2344 g/L; Alcohol content at 1.55 v/v; Total sugars with 11.1 g/L; Sulfates at 0.011 g/L. The results found are outside those stipulated by the legislation because the acetification was interrupted before there was a stabilization in its acetic acid value, which reached 3.92, which still justifies a high value for the alcohol content. The volatile acidity values appear within the standards required by the legislation, but they were evaluated days later, without the interruption of the bacteria, which continued to acetify, proving that if the batch remained for a few more days, the reactor would be able to produce with the standards required at the legislation.

**Keywords:** vinegar; malt; reactor; german method.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Barril utilizado para elaboração de vinagre pelo processo Orleans..                  | 20 |
| Figura 2 - Corte transversal de um acetificador com suporte poroso para o processo alemão ..... | 21 |
| Figura 3 - Acetificador em aço inoxidável para o processo submerso .....                        | 23 |
| Figura 4 - Ilustração do biorreator acetificador vertical de três (03) fases. ....              | 26 |
| Figura 5 - Eletrobomba de recirculação .....  | 27 |
| Figura 6 - carvão ativado utilizado como mosto acetificador .....                               | 27 |
| Figura 7 - Ilustração do esquema de sensores acoplados ao arduino.....                          | 29 |
| Figura 8 - Código arduino para a os sensores de pH e temperatura .....                          | 30 |
| Figura 9 - Calibração do sensor de pH.....  | 38 |
| Figura 10 - Comportamento do pH e temperatura do processo de produção do vinagre de malte ..... | 41 |
| Figura 11 - Acidez total para cada batelada .....   | 43 |
| Figura 12 - Comportamento da acidez total para a terceira batelada .....                        | 44 |
| Figura 13 - Comparação da acidez volátil com a legislação.....                                  | 46 |
| Figura 14 - Comparação da densidade com a legislação .....                                      | 48 |
| Figura 15 - Comparação do extrato seco total com a legislação .....                             | 49 |
| Figura 16 - Comparação das cinzas com a legislação .....  | 51 |
| Figura 17 - Comparação da graduação alcoólica com a legislação .....                            | 52 |
| Figura 18 - Comparação dos açúcares totais com a literatura.....                                | 54 |
| Figura 19 - Comparação dos sulfatos com a legislação .....                                      | 55 |

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Dados de calibração com o sensor de pH.....   | 37 |
| Tabela 2 - Composição por batelada na obtenção do vinagre de malte .....                                       | 39 |
| Tabela 3 - Valores de pH coletados pelo sensor e pHmetro.....  | 40 |
| Tabela 4 - Valores obtidos para acidez total diária de cada batelada para<br>obtenção do vinagre de malte..... | 42 |
| Tabela 5 - Acidez volátil do vinagre de malte .....  | 45 |
| Tabela 6 - Densidade do vinagre de malte .....   | 47 |
| Tabela 7 - Extrato seco total do vinagre de malte .....  | 49 |
| Tabela 8 - Cinzas do vinagre de malte.....   | 50 |
| Tabela 9 - Graduação alcoólica para o vinagre de malte.....  | 52 |
| Tabela 10 - Açúcares totais para o vinagre de malte .....  | 53 |
| Tabela 11 - Sulfatos para o vinagre de malte.....  | 55 |

## SUMÁRIO

|                |  |           |
|----------------|--|-----------|
| <b>1</b>       | <b>INTRODUÇÃO</b>                                    | <b>11</b> |
| <b>1.1</b>     | <b>Objetivo</b>                                      | <b>14</b> |
| 1.1.1          | Objetivo geral                                       | 14        |
| 1.1.2          | Objetivos específicos                                | 14        |
| <b>2</b>       | <b>DESENVOLVIMENTO</b>                               | <b>15</b> |
| <b>2.1</b>     | <b>Fundamentação teórica</b>                         | <b>15</b> |
| 2.1.1          | Malte  | 15        |
| 2.1.2          | Vinagre  | 15        |
| 2.1.3          | Acetificação   | 17        |
| <u>2.1.3.1</u> | <u>Fermentação alcoólica</u>                         | <u>18</u> |
| <u>2.1.3.2</u> | <u>Fermentação acética</u>                           | <u>18</u> |
| 2.1.4          | Processos de Acetificação                            | 19        |
| <u>2.1.4.1</u> | <u>Processo orleans</u>                              | <u>19</u> |
| <u>2.1.4.2</u> | <u>Processo alemão</u>                               | <u>21</u> |
| <u>2.1.4.3</u> | <u>Processo submerso</u>                             | <u>22</u> |
| 2.1.5          | Legislação brasileira do vinagre                     | 24        |
| 2.1.6          | Arduino  | 25        |
| <b>2.2</b>     | <b>Materiais e métodos</b>                           | <b>26</b> |
| 2.2.1          | Construção do biorreator vinagreiro                  | 26        |
| 2.2.2          | Elaboração do vinagre de cerveja                     | 28        |
| 2.2.3          | Monitoramento do processo de acetificação            | 28        |
| 2.2.4          | Análise físico-química do vinagre de malte produzido | 31        |
| <u>2.2.4.1</u> | <u>Análise da densidade</u>                          | <u>31</u> |
| <u>2.2.4.2</u> | <u>Análise da acidez volátil</u>                     | <u>32</u> |
| <u>2.2.4.3</u> | <u>Análise das Cinzas</u>                            | <u>33</u> |
| <u>2.2.4.4</u> | <u>Análise do extrato seco total</u>                 | <u>34</u> |
| <u>2.2.4.5</u> | <u>Análise da acidez total</u>                       | <u>34</u> |
| <u>2.2.4.6</u> | <u>Análise dos açúcares totais</u>                   | <u>35</u> |
| <u>2.2.4.7</u> | <u>Análise do grau alcoólico real</u>                | <u>35</u> |
| <u>2.2.4.8</u> | <u>Análise dos sulfatos</u>                          | <u>35</u> |
| <b>2.3</b>     | <b>Resultados e discussões</b>                       | <b>37</b> |
| 2.3.1          | Calibração dos sensores de pH e temperatura          | 37        |
| 2.3.2          | Elaboração do vinagre de malte                       | 38        |

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| 2.3.3    | Avaliação do pH e temperatura .....    | 39        |
| 2.3.4    | Avaliação da acidez total .....        | 42        |
| 2.3.5    | Avaliação da acidez volátil .....      | 45        |
| 2.3.6    | Avaliação da densidade .....           | 47        |
| 2.3.7    | Avaliação do extrato seco total.....   | 48        |
| 2.3.8    | Avaliação das cinzas .....             | 50        |
| 2.3.9    | Avaliação da graduação alcoólica ..... | 51        |
| 2.3.10   | Avaliação dos açúcares totais .....    | 53        |
| 2.3.11   | Avaliação dos sulfatos.....            | 54        |
| <b>3</b> | <b>CONCLUSÃO .....</b>                 | <b>56</b> |
|          | <b>REFERÊNCIAS.....</b>                | <b>57</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais conhecidas e antigas do mundo. Estudiosos relatam que seu surgimento se deu por volta de 8.000 a.C. em paralelo com os primeiros campos de cultivo de cereais na Ásia, que faziam fermentação de grãos como milho, centeio e cevada. Por possuir um valor nutricional análogo com o dos cereais, já foi intitulada como “pão líquido”(LIMA; FILHO, 2011).

No Brasil a bebida foi trazida pelos portugueses em 1808, mas que não incentivavam seu consumo e sim dos vinhos exportados por eles, que eram mais populares na época. A produção da cerveja era feita de maneira artesanal e somente os imigrantes à consumiam. Diante da abertura dos portos, em conjunto com a chegada da corte de Portugal ao Brasil, as cervejas importadas tornaram-se mais populares e assim, dando início a produção da bebida no país (ANDRADE, 2007; FEISTAUER, 2016).

Dentre os diversos tipos de cervejas produzidas e consumidas ao redor do mundo a que mais se destaca é a do tipo Pilsen (GABRIEL; SOUZA; ANDRADE, 2017), que tem uma cor clara, com pouco lúpulo, baixa fermentação e baixo teor alcoólico (FEISTAUER, 2016).

Com a vontade de provar e descobrir novos sabores, consumidores brasileiros viram a oportunidade de explorar e resgatar a cultura dos europeus e norte-americanos de produzir a própria cerveja, que apresentam singularidades das encontradas no mercado brasileiro, sem intenção de intervir no cenário comercial. Dando início assim, ao surgimento de diversas microcervejarias com produção própria e produtos diversificados (FEISTAUER, 2016).

Entrando no cenário da cerveja artesanal, que seguem especificidades rígidas do seu controle de qualidade, podem ser feitas com ingredientes de diferentes tipos, usando até matérias-primas melhores e com poucos aditivos químicos ou quase nenhum. Com a grande produção das indústrias sobra pouca matéria-prima nacional para os produtores de cervejas artesanais, tendo como única alternativa exportá-la. Quando tratamos do lúpulo, as cervejas artesanais costumam utilizar maiores quantidades do que as cervejas comerciais. Dito isso, cervejas artesanais conseguem apresentar uma diversidade e inovação de produtos, enquanto as cervejarias que produzem em larga escala optam por uma cerveja homogênea e padronizadas

(FEISTAUER, 2016).

Assim como a cerveja, que é uma bebida alcoólica fermentada, a descoberta do vinagre veio de forma simultânea, justamente pelo fato de seus métodos de produção serem concomitantes. Seu nome tem origem do francês *vinaigre* ou vinho azedo, sendo assim conhecido em quase todas as línguas do ocidente (AQUARONE *et al.*, 2001).

Os métodos mais conhecidos para o processo de produção de vinagre são basicamente três tipos, o método Orleans, método Alemão e o submerso. O método Orleans é pouco utilizado na produção de vinagres comerciais devido a sua lentidão na conversão de ácido acético. O método submerso, embora seja rápida a conversão e eficiente, demanda um elevado custo de investimento e mão de obra qualificada. Já o método Alemão (rápido), mesmo que com algumas deficiências em rendimento e produtividade, tem grande vantagem em relação ao custo de instalação e não necessitar de mão de obra qualificada, sendo ideal para regiões sem grandes infraestruturas e recursos técnicos, ideal para a maioria das cidade brasileiras e principalmente as afastadas de grandes centros(MARTINS, 2021; ZARDINI, 2000).

Consegue-se obter o vinagre, basicamente por dois processos bioquímicos que utilizam da ação de microrganismos para obter a fermentação alcoólica através das leveduras. Geralmente utilizam-se das espécies *Saccharomyces* que conseguem transformar os açúcares em etanol, seguida de uma fermentação acética, utilizando bactérias aeróbicas do gênero *Acetobacter* (MARTINS, 2021; PEDROSA *et al.*, 2009).

Ao transformar álcool em ácido acético consegue-se preservar aromas provenientes de sua matéria-prima, o que vai conferir um sabor singular para cada tipo de vinagre (PEDROSA *et al.*, 2009). Um vinagre de cereal que pode conter um sabor e aroma peculiar pode ser o vinagre de malte, que tem sido usado como condimento desde o século XVII. O termo malte é usado para grãos germinados de cevada. Uma vez que se a cevada é maltada, consegue-se passar para o processo fermentativo, como o da cerveja (IVANOV, 2011).

A oxidação fermentativa ocorre em meio aeróbico, o que acarreta na necessidade de uma oxigenação adequada para o microrganismo, obtendo então máxima eficiência, caso contrário a reação pode não ocorrer (SUMAN, 2012).

A velocidade da reação de oxidação fermentativa depende de alguns fatores, sendo eles, a quantidade de oxigênio, vitalidade e viabilidade do inóculo, acidez inicial, temperatura, nutrientes, pH e grau alcoólico do fermentado utilizado inicialmente.

Tendo em vista todos esses fatores, consegue-se monitorado processo através de sensores de monitoramento de pH e de temperatura, sendo possível então acompanhar a cinética da reação envolvida (SUMAN, 2012).

O Arduino, que teve seu início no ano de 2005, quando o professor Massimo Banzi do *Interaction Design Institute*, da Itália, buscava para os estudantes de design uma forma mais barata e fácil de trabalhar com tecnologia dividiu sua ideia com David Cuartielles, pesquisador da Universidade de Malmö, na Suécia, que estava de visita no Instituto e por sinal, buscando uma solução semelhante (EVANS; NOBLE; HOCHENBAUM, 2013).

Quando comparado a outras plataformas de desenvolvimento de microcontroladores, o Arduino possui grande vantagem. É de fácil utilização, e permite que pessoas que não possuem conhecimento especializado em eletrônica, consigam entender o básico para criar seu próprio projeto em um curto período de tempo. Além de ser uma plataforma aberta e colaborativa, que possui uma comunidade de pessoas contribuindo e compartilhando com a biblioteca de códigos e diagramas de circuitos, para que outros possam copiar e modificar (MCROBERTS, 2018).

Este trabalho teve como objetivo construir um reator acetificador através do método alemão, monitorar o processo acético através de sensores de pH e temperatura através de um microcontrolador Arduino. Obter um vinagre de malte, utilizando como matéria-prima cerveja artesanal puro malte e comparar com a legislação brasileira de bebidas fermentadas.

## 1.1 Objetivo

### 1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver um reator acetificador de processo rápido (tipo alemão) para a produção de vinagre de cerveja com o monitoramento de sensores de pH e temperatura através do Arduino.

### 1.1.2 Objetivos específicos

- ✓ Projetar e construir um biorreator acetificador vertical de três (03) fases, após a seleção de um material apropriado;
- ✓ Produzir uma cerveja sem lúpulo (fermentação alcoólica);
- ✓ Desenvolver um sistema de monitoramento e aquisição de dados de pH e temperatura com o uso de Arduino;
- ✓ Acompanhar o processo de fermentação acética da cerveja pelos parâmetros pH e temperatura;
- ✓ Determinar as propriedades físico-químicas do vinagre de cerveja (densidade relativa, teor alcoólico, acidez total, acidez volátil, pH, extrato seco, açúcares redutores, cinzas e sulfatos);
- ✓ Comparar os resultados obtidos nas análises do vinagre de cerveja com os parâmetros trazidos pela Legislação Brasileira atual;

## 2 DESENVOLVIMENTO

### 2.1 Fundamentação teórica

#### 2.1.1 Malte

É possível dizer que através da germinação das cementes de qualquer cereal (cevada, milho, trigo, entre outros) sob condições controladas pode-se obter o malte como produto. Comumente usados em cervejarias para a obtenção da cevada, onde, após o processo de maltagem, confere sabor, odor e corpo característicos à cerveja (CURI, 2006).

No processo de germinação, a cemente é umedecida a fim de produzir enzimas, que farão a conversão da matéria-prima utilizada em mosto cervejeiro. Posteriormente é seca e tostada e, após repouso, é inserida no processo de fabricação da cerveja (VENTURINI FILHO; CEREDA, 1998).

O controle da temperatura e o tempo de secagem é de extrema importância para a obtenção do malte ideal para cada tipo de cerveja. O amido presente no grão maltado de cevada, contribuirá para que o mesmo seja menos duro e mais solúvel, por possuir cadeias menores, e ser facilmente convertido em açúcares como a dextrose, maltose e glucose, além de possuir um teor de proteínas elevado que fornecem os aminoácidos necessários ao desenvolvimento da levedura (GABRIEL; SOUZA; ANDRADE, 2017).

O cultivo de cevada no mundo destina cerca de 70% para suprir a alimentação animal. No Brasil, um dos maiores produtores de cerveja no mundo, supri apenas 30% da demanda industrial no país, com a produção de cevada cervejeira (ANTUNES, 2021).

#### 2.1.2 Vinagre

Assim como o vinho, a cerveja, o pão, o queijo, o kefir e o iogurte, o vinagre é um alimento fermentado conhecido desde os tempos mais remotos. A palavra vinagre provém do francês *vinaigre* ou vinho azedo, utilizado antigamente não somente como

condimento, mas também no preparo de bebidas, conservação de alimentos, refrigerantes e até mesmo como medicamento e cosmético (CAVALCANTE; CAETANO TAVOLARO; MOLISANI, 2011; IVANOV, 2011).

O primeiro a relatar que o oxigênio é de extrema importância para a obtenção de vinagre foi Backer em meados do século XVII; relato que foi confirmado experimentalmente por Rozier em 1786. No ápice da fase científico-histórica, mais dois nomes ilustres comprovaram definitivamente a importância do oxigênio na fermentação acética e demonstraram detalhadamente que o vinagre necessita de um microrganismo capaz de fazer a transformação de álcool em ácido acético, sendo esses nomes Lavoisier e Pasteur, respectivamente (AQUARONE *et al.*, 2001).

O emprego do vinagre era muito generalizado e constante na cozinha. Nas guerras, quando os soldados atuavam em ambientes mais úmidos o vinagre era recomendado, fazendo parte da alimentação, prevenindo possíveis contaminações microbiológicas, para desinfetar e temperar alimentos (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2012).

Nas grandes epidemias que aconteceram, o vinagre foi utilizado para desinfecção, as mãos eram lavadas antes e depois de feita a visita a um doente e as frutas e verduras eram lavadas antes da ingestão. Estudos feitos após as epidemias mostraram que a utilização do vinagre realmente ajudou na prevenção visto que um vinagre com 5% de ácido acético é letal para os vibriões da cólera por exemplo, quando em contato por cinco minutos (PESSETTE; RAMOS, 2016).

O vinagre é obtido exclusivamente da fermentação acética, considerado um condimento por ter como principal finalidade, atribuir gosto e aroma aos alimentos. O ácido acético do vinagre é dentre os ácidos orgânicos o mais dissociável, o que significa que, devido ao seu baixo peso molecular é um produto superior, quando comparado a outros alimentos ácidos que apresentam complexidade estrutural, sendo mais difícil para o organismo solubilizar e absorver. De modo geral, os condimentos ingeridos de forma moderada, auxiliam estimulando a digestão. Se for ingerido de forma excessiva, o que antes seria um estímulo para a digestão, prejudicará a digestão, tornando-se corrosivo para a mucosa gastrointestinal, não sendo adequado para pessoas nervosas ou que tenham órgãos respiratórios irritáveis (RIZZON; MENEGUZZO, 2002).

O vinho e o vinagre são dois dos primeiros produtos de fermentação instantânea utilizados pelo homem na alimentação. Por mais que o termo vinagre em

si, corresponda em literatura um produto obtido através da acetificação do vinho, a matéria-prima utilizada para sua produção pode variar dependendo da disponibilidade da mesma em cada país (RIZZON; MENEGUZZO, 2002). Deste modo, em países como Itália, Espanha, França e Grécia, países que produzem e tem grande tradição vitícola, o vinagre produzido sobretudo é a partir do vinho. Na China e Japão são produzidos vinagres a partir do arroz, enquanto que nos Estados Unidos e Inglaterra, feitos a partir da sidra e do malte. Na Alemanha o vinagre mais utilizado é o vinagre de álcool. No Brasil, os vinagres em sua maioria são produzidos a partir de álcool de cana-de-açúcar e do vinho (VIANA, 2015).

Um vinagre que tem sido utilizado como condimento desde o século XVII, é o vinagre de malte que pode ser classificado como um vinagre de cereal. Malte é o termo utilizado para grãos germinados de cevada. Uma vez que temos uma cevada maltada, pode-se conduzir para o processo fermentativo, como o da cerveja. O vinagre produzido a partir de malte, é mais suave e mais adocicado que o vinagre de álcool (IVANOV, 2011).

### 2.1.3 Acetificação

A partir de microrganismos, tais como leveduras e bactérias, é possível transformar uma substância em outra mais simples através de um processo de fermentação. São transformações bioquímicas, responsáveis por inúmeros produtos consumidos diariamente, sejam eles de origem animal ou vegetal (LIMA; FILHO, 2011).

Através do controle da fermentação as bactérias e leveduras produzem diversas substâncias químicas e antibióticos, liberam enzimas que crescem o pão e transformam suco de uva em vinho. Da transformação por aerobiose obtém-se vinagre e ácido cítrico, já da transformação por anaerobiose obtém-se cerveja, vinho, iogurte, penicilina, entre outros (AMORIM, 2005).

A fermentação é um processo utilizado em diversas indústrias, a qual é responsável em converter matéria-prima, como grãos, açúcares e subprodutos industriais, em produtos diferenciados, que conservam alimentos de origem animal e vegetal (AQUARONE *et al.*, 2001; LIMA; FILHO, 2011).

### 2.1.3.1 Fermentação alcoólica

A fermentação alcoólica é muito utilizada na elaboração de bebidas alcoólicas, podendo ser dos tipos destiladas (rum, aguardente, uísque etc.) e fermentadas (vinhos e cervejas) (LIMA; FILHO, 2011).

As leveduras do gênero *Saccharomyces* são as mais utilizadas no setor alcooleiro no Brasil, predominantemente a espécie *Saccharomyces cerevisiae* com suas diversas linhagens. São organismos eucariotos, com células esféricas, elípticas ou cilíndricas, variando grandemente em suas dimensões, sendo que sua reprodução pode ocorrer por gemação, esporulação ou fissão (SUMAN, 2012).

Pode ser considerada como uma oxidação anaeróbica parcial da glicose, causada pela ação de leveduras. Como produto final é obtido o álcool etílico e gás carbônico, além de produtos secundários. A etapa de obtenção do álcool a partir de microrganismos pode ser resumida pela equação (1) sendo: glicose ( $C_6H_{12}O_6$ ) resultando em etanol ( $C_2H_5OH$ ) e gás ( $CO_2$ ).



O álcool produzido por fermentação pode ser amplamente utilizado, visto que seu uso específico depende da matéria-prima escolhida, e o processo microbiológico submetido ao processo. Já o álcool industrial tem um importante papel como solvente nas indústrias, bem como combustível para automóveis, desde que misturados a outros ingredientes (AMORIM, 2005; IVANOV, 2011).

### 2.1.3.2 Fermentação acética

O processo de transformação do álcool em ácido acético é denominado fermentação acética, é realizado por bactérias acetificadoras. Essas bactérias estão presentes em um grupo de grande interesse econômico, justamente por sua função de produzir o ácido acético e por conseguir provocar alterações em alimentos e bebidas (AQUARONE *et al.*, 2001; IVANOV, 2011).

A bactéria acética ideal para o processo, é aquela que resistir a elevadas concentrações de álcool e de ácido acético, com pouca exigência nutritiva, alta

velocidade de conversão do álcool em ácido acético, possuir um bom rendimento de transformação, sem que oxide em excesso o ácido acético formado, além de atribuir características gustativas agradáveis ao vinagre (IVANOV, 2011).

Para o processo fermentativo a temperatura que melhor favorece está entre 25 °C e 30 °C, as *Acetobacter* são inibidas a temperaturas inferiores a 8 °C e degradadas a temperaturas superiores a 35 °C. Apesar disso, são capazes de desenvolver mecanismos de defesa contra o estresse térmico, e chegam a aguentar temperaturas de até 40 °C (COSTA, 2014).

As bactérias responsáveis pela acetificação demandam de oxigênio proveniente do ar para realizar a acetificação. Por isso sua multiplicação é mais comum na parte superior do vinho que está sendo transformado em vinagre, formando uma camada (véu) conhecida como “mãe do vinagre”. Podendo ser um véu mais ou menos espesso, dependendo do tipo de bactérias utilizado no processo (AQUARONE *et al.*, 2001).

A equação (2) demonstra a oxidação realizada pelo microrganismo acetificador sendo, álcool (CH<sub>3</sub>CH<sub>2</sub>OH) mais oxigênio (O<sub>2</sub>) resultando em ácido acético (CH<sub>3</sub>COOH) e água (H<sub>2</sub>O) (ZOCHE; FIGUEREDO, 2014).



#### 2.1.4 Processos de Acetificação

A fabricação industrial do vinagre pode ser feita através de três principais métodos: Orleans, Alemão e Submerso (TAKEMOTO, 2003).

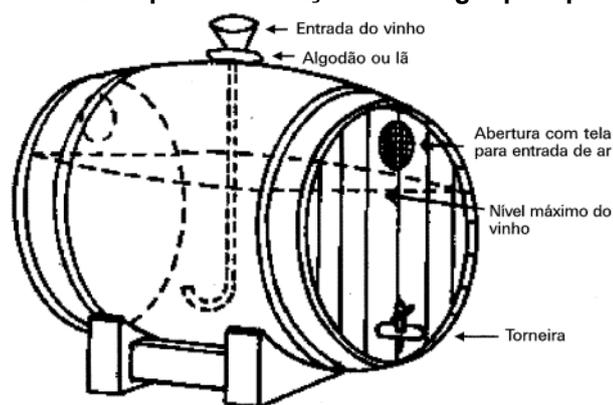
##### 2.1.4.1 Processo orleans

Conhecido também como processo Lento ou Francês, o processo Orleans é o mais antigo utilizado na obtenção de vinagre. Obtêm-se um vinagre de excelente qualidade, utilizando apenas como matéria-prima o fermentado (AQUARONE *et al.*, 2001; SUMAN, 2012).

Através de barris de mais ou menos 200 litros, com furos na parte superior para a entrada de ar, elaboramos o vinagre. O processo consiste basicamente em

adicionar no barril aproximadamente um terço da sua capacidade com vinagre, e ao longo de um mês adicionar de 10 a 15 litros por semana de matéria-prima. Ao final do processo é possível extrair de 15 a 20 litros de vinagre, e assim se adiciona novamente a matéria-prima, podendo então repetir outras vezes o processo ao longo do tempo (PEDROSO, 2003). A figura 1 representa um barril utilizado para a elaboração de vinagre através do processo Orleans.

**Figura 1 - Barril utilizado para elaboração de vinagre pelo processo Orleans**



Fonte: Rizzon (2002)

Ao retirar o vinagre deve-se analisar se o teor de álcool presente não ultrapasse 1°GL e, caso esteja mais alto, aguardar mais alguns dias na fermentação é o ideal (AQUARONE *et al.*, 2001; PEDROSO, 2003).

Controlar a temperatura ambiente é essencial para esse processo, não podendo exceder 25°C, para que assim não tenha perda de álcool por evaporação. Todas as entradas e janelas de onde se encontram os barris e os furos para a entrada de oxigênio do mesmo, devem ser protegidas com telas finas a fim de evitar a presença de moscas e outros insetos que são atraídos pelo odor do vinagre (AQUARONE *et al.*, 2001; IVANOV, 2011; PEDROSO, 2003).

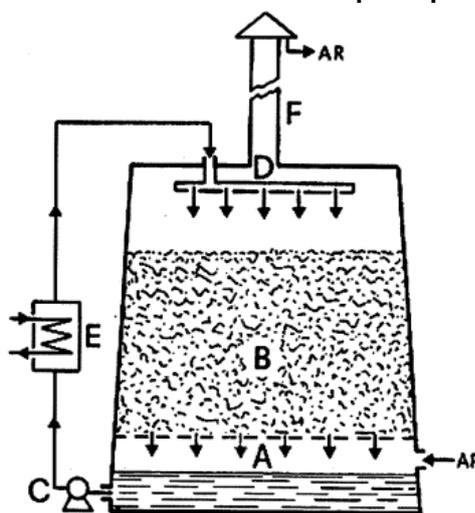
O vinagre obtido através do processo lento é de boa qualidade, praticamente limpo, sendo possível dispensar sua clarificação ou filtração por ocorrer um amadurecimento natural antes de sua retirada. Contudo este método é de baixa produtividade, demanda de muito espaço e por conta disso, mais utilizado na produção doméstica. Isso se dá pelo fato de o reator não conter nenhum tipo de aerador, que forneça o oxigênio necessário (RIZZON; MENEGUZZO, 2002).

### 2.1.4.2 Processo alemão

O processo Alemão também conhecido como processo rápido é muito utilizado atualmente. Foi idealizado por Boerhave no início do século XVII, ao observar que, deixando passar o vinho de maçãs, sua transformação em vinagre ocorre mais rapidamente, utilizando um recipiente preenchido de bagaços de maçã (PEDROSO, 2003). A utilização de recipientes gerados é mais comum atualmente, empacotados com materiais de enchimento de grande diversidade (por exemplo, a madeira). Através da superfície do material, as bactérias acéticas começam a colonizar, oxidando etanol até que se torne ácido acético (AQUARONE *et al.*, 2001).

Durante o processo para se obter a transformação do conteúdo alcoólico em ácido acético, é necessário que a matéria prima seja recirculada da parte inferior do reator até a parte superior. Recirculação essa necessária se repetir até que se obtenha a transformação total (AQUARONE *et al.*, 2001; PEDROSO, 2003). A figura 2 apresenta um corte transversal de um reator acetificador com suporte poroso para o método alemão.

**Figura 2 - Corte transversal de um acetificador com suporte poroso para o processo alemão**



**Legenda:** A) grade; B) maravalha de madeira; C) bomba para movimentação do vinho em processo de acetificação; D) dispersor de vinho; E) refrigerante de água; F) dispositivo de condensação de vapores.

**Fonte: Rizzon (2002)**

Uma vez ocorrido o processo total, se descarrega a metade da tina de depósito, voltando a introduzir a mesma carga de fermentado base (AQUARONE *et al.*, 2001).

Por este processo utilizar de bactérias e as mesmas formarem um material gelatinoso (mãe do vinagre ou zoogleia) que obstrui a passagem da mistura e acaba sendo uma complicação na produção, sendo necessário que o material de enchimento seja totalmente substituído a cada ano (IVANOV, 2011; SUMAN, 2012).

Os geradores possuem forma e tamanhos diferenciados. O tamanho varia de 15 a 30 cm de diâmetro por 200 a 60 cm de altura. Em sua maioria de forma cilíndrica e, no fundo, conta com um suporte completamente perfurado para que sustente o material de enchimento do reator. Material este que deve ocupar a maior quantidade possível interna do reator para que se tenha uma área superficial de contato grande entre o líquido e o ar, facilitando as trocas, e sendo de diversos materiais como: carvão-coque, sabugo de milho, fibras de coco e outras. Acima do material de enchimento é colocada uma placa furada, permitindo uma perfeita distribuição do vinho que cai de um torniquete hidráulico ou de um bico aspersor, colocado na parte superior (MENEGUZZO; RIZZON, 2009).

Conforme o passar do líquido de forma repetida, é possível notar o aumento progressivo da acidez, em média duas ou três vezes pelo mesmo gerador ou geradores em série. Por ser um processo exotérmico, é necessário que o líquido seja resfriado antes de entrar novamente para o gerador (PEDROSO, 2003).

#### 2.1.4.3 Processo submerso

O processo submerso surgiu em 1950, o qual se baseia em manter submersa as bactérias acéticas no vinho a ser acetificado, com um vasto suprimento de ar (PEDROSO, 2003).

As bactérias acéticas se encontram em total submersão, diferentemente dos processos mencionados anteriormente, sem a presença de material poroso, apenas em constante contato com o oxigênio do ar que está arejando o reator de forma intensa. O reator é de grande dimensão, conseguindo armazenar grandes quantidades da matéria-prima a ser acetificada, geralmente de aço inoxidável, contendo uma turbina de ar no fundo e com tubos que circulam água para refrigeração,

funcionando de forma automática. Ao entrar no reator, o ar deve ser disperso de forma homogênea em todo o vinho, quanto menor for as bolhas melhor se dará o processo. Quando o vinho do reator alcança cerca de 0,2% v/v de álcool, que geralmente se dá em intervalos de 30 a 40 horas, retira-se aproximadamente de 40% a 45% do volume de vinagre que é substituído pelo mesmo volume de vinho a acetificar (IVANOV, 2011). A figura 3 apresenta um acetificador em aço inoxidável para o método submerso.

**Figura 3 - Acetificador em aço inoxidável para o processo submerso**



Fonte: Rizzon (2002)

Este processo é muito eficiente e rápido, as perdas por evaporação são reduzidas para 3% a 5%, não necessitam de material de recheio e, conseqüentemente não necessitando de tanta manutenção. Podendo ainda ser um processo totalmente automatizado para a carga e descarga do reator e controle de temperatura (MENEGUZZO; RIZZON, 2009).

O vinagre obtido por este processo é turvo, com qualidade inferior ao processo do método lento, justamente pelo fato da intensa agitação do ar submetido no processo de acetificação (AQUARONE *et al.*, 2001; SUMAN, 2012).

### 2.1.5 Legislação brasileira do vinagre

De acordo com a instrução normativa nº 6, de 3 de abril de 2012 o decreto brasileiro nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994, que dispõe sobre a padronização a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de fermentados acéticos. Para os fermentados acéticos de cereal, o Art. 7º desta Instrução Normativa indica o anexo IV como parâmetro, que deverá apresentar as seguintes características representadas neste trabalho no Quadro 1:

**Quadro 1 - Concentrações dos componentes de fermentados acéticos estabelecias pela legislação brasileira**

| Parâmetro                                 | Valor  |        |
|---|--------|--------|
|   | Mínimo | Máximo |
| Acidez volátil em ácido acético (g/100ml) | 4,00   | -      |
| Álcool (% v/v) a 20 °C                    | -      | 1,0    |
| Cinzas (g/L)                              | 1,0    | 5,00   |
| Extrato seco reduzido (g/L)               | 7,0    | -      |
| Sulfato de potássio (g/L)                 | -      | 1,0    |
| Etanol em volume a 20 °C (G.L.)           | -      | 1,0    |

**Fonte: Adaptado de ANAV (2012)**

Ainda presente na legislação, o aspecto do vinagre deve ser de, ausência de elementos estranhos à sua natureza e composição, cheiro característico, sabor ácido e coloração de acordo com a matéria-prima de origem e composição (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2012).

De acordo com a matéria-prima que deu origem ao vinagre, é possível classificar em vinagre de vinho tinto ou de vinho branco. Os produtos formados através da fermentação acética de outros líquidos alcoólicos serão denominados fermentado acético, podendo utilizar da palavra vinagre no rótulo, desde que continuado da matéria-prima utilizada no processo. Exemplos: vinagre de maçã, vinagre de álcool, vinagre de malte entre outros (AQUARONE *et al.*, 2001).

O vinho utilizado como matéria-prima para elaboração do vinagre (vinho-base) devem ser acetificados na origem, pela adição de um vinagre com acidez igual ou superior a 8% e 12% (vinagre duplo ou triplo), que deverá ser diluído para obtenção

de vinagre comercial, para que apresente uma acidez acética mínima de 0,6g/ 100ml (MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, 2012).

Para que a conservação seja feita, deve-se pasteurizar ou adicionar dióxido de enxofre, no limite máximo de 200 ppm. É proibido o uso de melão, corante, ou outro tipo de aditivo, resguardado prévia autorização pelo órgão competente (AQUARONE *et al.*, 2001).

O vinagre pode ser submetido à colagem, clarificação, aeração e envelhecimento (AQUARONE *et al.*, 2001).

### 2.1.6 Arduino

O Arduino é uma pequena placa de microcontrolador, contém um conjunto de pinos de conexão, fazendo com que seja possível a ligação de dispositivos eletrônicos, como sensores de diferentes tipos, alto-falantes, motores, microfones, displays, LEDs e outros. Por possuir um plugue de conexão USB (Universal Serial Bus), permite que seja ligado a um computador, por uma bateria 9V ou por uma fonte de alimentação. Podem ser controlados diretamente pelo computador, ou então programados, para que em seguida desconectado do computador e poder trabalhar de forma independente (MONK, 2013).

Para fazer sua programação é necessário utilizar de um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), um software livre que permite programar na linguagem que ele entende, que no caso do Arduino é baseado em C/C++. Permite que seja possível escrever um programa de computador, ou seja, um conjunto de instruções que deseja que execute após fazer o upload (envio do código) à placa (MCROBERTS, 2018).

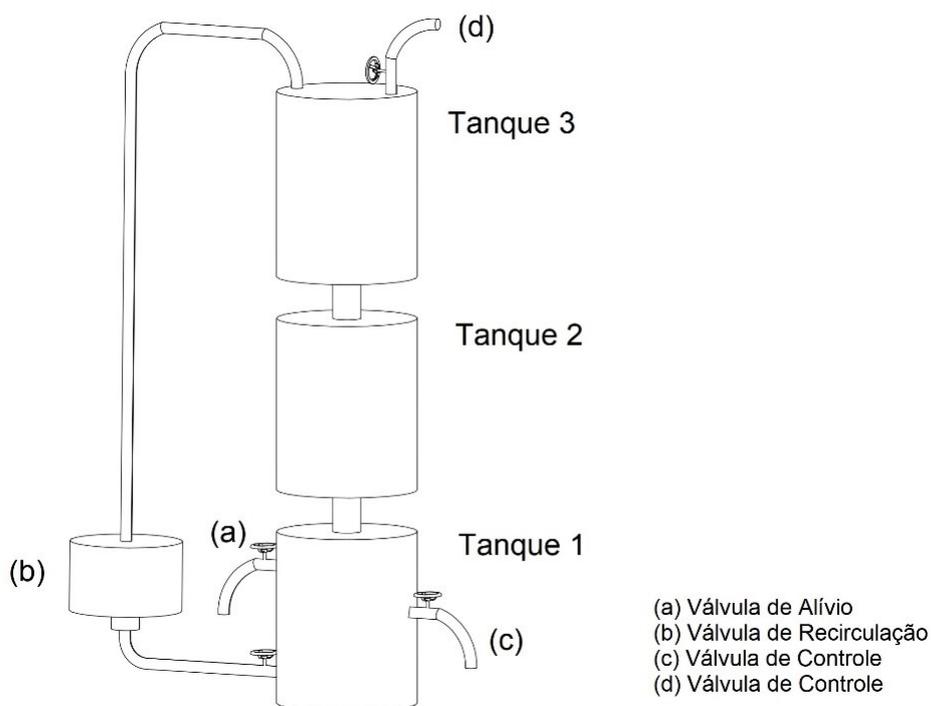
O hardware e o software são de utilização livre, ou *open source*, significa que o projeto, códigos e esquemas, são abertos para qualquer pessoa utilizar e contribuir livremente (MONK, 2013). Existem diversas plataformas para microcontroladores, mas o Arduíno se destaca mundialmente por ser de fácil programação, versatilidade, um baixo custo no desenvolvimento de projetos e disponível gratuitamente (CAVALCANTE; CAETANO TAVOLARO; MOLISANI, 2011).

## 2.2 Materiais e métodos

### 2.2.1 Construção do biorreator vinagreiro

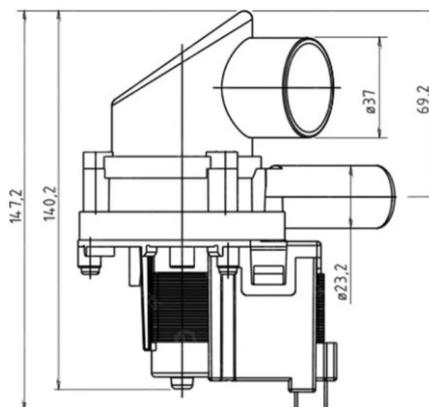
Um protótipo vertical de biorreator vinagreiro foi construído partindo do princípio do método rápido (método alemão), em dimensões de bancada com capacidade de 15 litros. Após a escolha do material sanitário para o processo de acetificação, levando em conta, também, a viabilidade financeira foi escolhido o polipropileno. O biorreator acetificador é composto por um módulo vertical de três (03) fases e uma válvula onde é conectada a bomba de recirculação, conforme figura 4.

**Figura 4 - Ilustração do biorreator acetificador vertical de três (03) fases.**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

A cerveja foi inserida no Tanque 1 (primeira fase), que é de onde a vazão foi controlada através da válvula (b) e acoplada uma eletrobomba de drenagem que faz a recirculação do vinagre durante o processo produtivo com uma vazão de até 14 litros por minuto revestida por um termoplástico, apresentada na figura 5 a seguir juntamente com suas medidas em milímetros.

**Figura 5 - Eletrobomba de recirculação**

Fonte: Adaptado de Mondial (2022)

No Tanque 2 (segunda fase) ocorre o processo de acetificação, onde foi inserido um mosto de 500 gramas de carvão ativado granulado (figura 6), para a proliferação das bactérias acetificadoras.

**Figura 6 - carvão ativado utilizado como mosto acetificador**

Fonte: Autoria Própria (2022)

Também no tanque 2, foi realizado o monitoramento de temperatura e pH através de sensores conectados a um arduino. A transferência do líquido do Tanque 2 para o Tanque 1 se dá através da gravidade.

Na terceira fase, no Tanque 3, ocorre a entrada de ar através da válvula (d). O líquido vindo do Tanque 1 é bombeado para esse terceiro.

O biorreator foi colocado na parte interna de uma geladeira, isso para que assim, fosse possível controlar a temperatura de melhor rendimento do processo fermentativo através de um controlador de temperatura acoplado a geladeira.

### 2.2.2 Elaboração do vinagre de cerveja

A cerveja utilizada para a elaboração do vinagre de malte foi produzida por uma cervejaria local de pequeno porte, especificamente para este projeto, é composta apenas de água, malte e levedura, grau alcóolico elevado, sem adição de lúpulo, pois este acaba influenciando negativamente no processo de acetificação, inibindo a reprodução das bactérias.

Para a fabricação do vinagre de cerveja, foram necessários cerveja e vinagre forte (cultura *starter*) na proporção de 1:1 (v/v). O vinagre forte, não pasteurizado foi comprado de um produtor local em Francisco Beltrão.

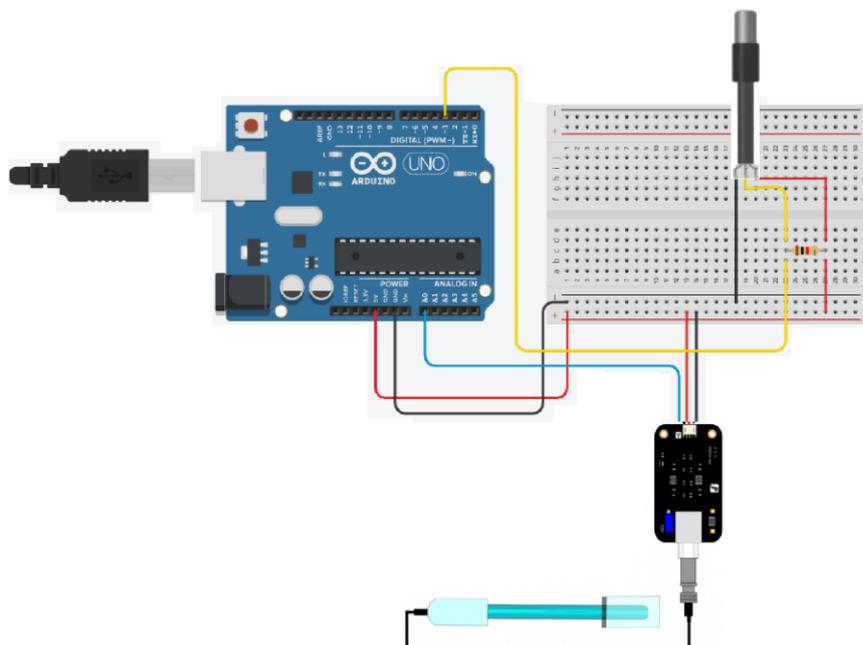
Ao final de cada dia, ao longo das 4 bateladas, foram coletadas alíquotas, para que fossem avaliados tanto o pH, como a acidez total durante toda a fermentação acética para controle e comparação dos resultados que estavam sendo coletados pelos sensores.

### 2.2.3 Monitoramento do processo de acetificação

Foram vinculados sensores para monitoramento das medições de temperatura e pH em tempo real, estes ligados a uma placa de aquisição de dados em tempo real e um computador. O sistema desenvolvido é composto por um sensor de temperatura, sensor de pH, placa Arduino mega e computador, ilustrado na figura 7 a seguir.

O sensor de pH módulo PH4502C juntamente com o pH eletrodo com conector tipo BNC detectam o pH de líquidos, compostos por um eletrodo hidropônico tipo sonda, trabalha a uma faixa de temperatura de -10 °C à 50 °C, um tempo de resposta de 5 segundos, faixa de pH de 0,00 pH à 14 pH, erro alcalino de 0,2 pH e uma vida útil de 3 anos.

**Figura 7 - Ilustração do esquema de sensores acoplados ao arduino**



**Fonte: Autoria Própria (2022)**

Vale ressaltar que o sensor de pH possui um módulo eletrônico de console que varia sua tensão em função do pH da solução que foi acoplado na entrada analógica do Arduino mega e este, por sua vez, interligado ao computador. O Arduino tem a função de enviar eletricidade ao sensor, receber a informação da voltagem e calcular o valor de pH, informando-o em tempo real e os armazenando no computador.

O sistema de monitoramento da temperatura, foi utilizado um termostato digital DS18B20 que possui uma precisão de  $\pm 0,5$  °C e trabalha na faixa de -10 °C à 85 °C, tempo de resposta de 750 milissegundos, além de ser impermeável.

O sensor foi inserido em um suporte de aço (poço) no reator, mais precisamente no tanque 2 onde ocorre a fermentação acética, este poço preenchido de vaselina para uma área de contato maior com o sensor e melhor precisão dos resultados obtidos.

Para o funcionamento dos sensores, foi necessário adaptar um código de programação e inserido no Arduino através da IDE (ambiente de desenvolvimento integrado). Os códigos foram retirados dos fóruns compartilhados do Arduino e adaptados para o projeto, O código, tanto para o sensor de pH quanto para a temperatura, são apresentados na figura 8 a seguir.

**Figura 8 - Código arduino para a os sensores de pH e temperatura**

```

#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>
#define DS18B20 7

OneWire ourWire(DS18B20);
DallasTemperature sensors(&ourWire);

int ph_pin = A0;
float temp = 0;
float ph = 0;

void setup() {
  Serial.begin(9600);
  sensors.begin();
  Serial.println("CLEARDATA");
  Serial.println("LABEL, Data, Hora, Temperatura, PH");
}

void loop() {
  int measure = analogRead(ph_pin);
  double voltage = 5 / 1024.0 * measure;
  float Po = 7 + ((2.5 - voltage) / 0.18);
  sensors.requestTemperatures();

  ph = Po;
  temp = sensors.getTempCByIndex(0);

  //envia dados para planilha

  Serial.print("DATA, DATE, TIME,");
  Serial.print(temp);
  Serial.print(",");
  Serial.println(ph);

  delay(1800000);
}

```

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Para a compilação dos dados enviados ao Arduino, foi utilizado um software chamado *Parallax Data Acquisition* (PLX-DAQ), que é uma ferramenta complementar de aquisição de dados de microcontroladores, inserido no Microsoft Excel. Ao conectar um microcontrolador com sensor à porta serial de um computador, é possível o envio dos dados direto para uma planilha de Excel em tempo real (PARALLAX, 2022).

O PLX-DAQ pode armazenar até 26 colunas de dados, para este trabalho foram utilizadas apenas 4 colunas, data, hora, temperatura e pH, como mostrado no

código (Figura 8). O tempo de aquisição de dados foi programado para ocorrer a cada 30 minutos durante todo o procedimento acético.

#### 2.2.4 Análise físico-química do vinagre de malte produzido

As análises dos parâmetros físico-químicos do vinagre de malte foram realizadas segundo metodologias descritas pelo Instituto Adolf Lutz (IAL, 2008) e também pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (BRASIL, 2005).

As análises físico-químicas clássicas usualmente realizadas em amostras de vinagre são: densidade relativa; teor alcoólico em volume; acidez total, volátil e fixa; pH; extrato seco total e reduzido; açúcares redutores; cinzas e sulfatos. Dentre estas análises foram realizadas na UTFPR campus Francisco Beltrão: densidade, acidez, acidez volátil, cinzas, pH e extrato seco total. Para as análises de sulfatos, açúcares totais, teor alcoólico e acidez volátil, foram encaminhados ao laboratório terceirizado para análise das amostras do vinagre de malte finalizado.

##### 2.2.4.1 Análise da densidade

Para a análise da densidade foi utilizada a adaptação da metodologia definida pelo MAPA (2005), Método 03: manual de métodos de análise de bebidas e vinagres – densidade relativa 20 °C/20 °C.

O procedimento consistiu em pesar um picnômetro de 25 mL vazio e limpo em balança analítica de modelo UA 220 e marca Urano. Depois preenchê-lo com água destilada e pesá-lo novamente a 25°C. Da mesma forma se procedeu preenchendo o picnômetro com a amostra de vinagre.

A análise foi feita em triplicata e a equação 3 a seguir, é utilizada para determinar a densidade.

$$D_{25}^{25} = \frac{P_{am} - P_p}{P_{H_2O} - P_p} \quad (3)$$

Onde:

$P_p$  = a massa em gramas do picnômetro vazio.

$P_{am}$  = massa em gramas do picnômetro com a amostra.

$P_{H_2O}$  = massa em gramas do picnômetro com água destilada.

Para fins de comparação foi utilizado também densímetro onde, foi feita a lavagem de uma proveta de 50 mL e preenchida com amostra, de modo que ao deixar o densímetro em submersão, não transborde. Anotado valor obtido através da leitura da escala presente no mesmo.

A densidade relativa é expressa com quatro casas decimais como consta em metodologia.

#### 2.2.4.2 Análise da acidez volátil

A acidez volátil foi determinada por MAPA (2005), Método 04 - manual de métodos de análise de bebidas e vinagres, que consiste em utilizar o método titulométrico. Parte do princípio da separação dos ácidos voláteis através do arraste de vapor d'água e retificação dos vapores. Determinado então através da titulação da amostra com solução de hidróxido de sódio e como indicador foi utilizado a fenolftaleína.

Para o preparo da amostra, foi pipetado 20 ml da amostra para um balão volumétrico de 500 ml e completado o volume com água destilada.

O aparelho de destilação por arraste de vapor é ligado, feito o enchimento do reator com serpentinas que servem para o aquecimento da água e geração de vapor. O vapor produzido é direcionado para o tubo de ensaio que contém 10 ml da amostra já diluída e 250 ml de água destilada, para que os todos os ácidos voláteis presentes sejam arrastados. Com um fluxo constante e contracorrente tem-se água para o resfriamento do vapor e por consequência a condensação do mesmo. A amostra condensada foi direcionada para um Erlenmeyer até que fosse coletado a quantidade de 100 ml de amostra.

Após a coleta da amostra já condensada, foi feita uma titulação com hidróxido de sódio a 0,1N, em presença de fenolftaleína.

A análise foi feita em quintuplicata, a acidez volátil é expressa em g de ácido acético/ 100 g ou 100 ml da amostra através da equação 4 a seguir:

$$Av = \frac{n \times N \times Eq \times f}{10 \times V} \quad (4)$$

Onde:

$Av$  = acidez volátil em gramas de ácido acético/100 ml da amostra.

$n$  = volume da solução de hidróxido de sódio gastos na titulação em ml.

$N$  = normalidade da solução de hidróxido de sódio.

$Eq.$  = equivalente em grama do ácido acético (60).

$V$  = volume da amostra em ml.

$f$  = fator de diluição (20:500,  $f=25$ )

#### 2.2.4.3 Análise das Cinzas

Para a análise das cinzas a metodologia utilizada foi a do MAPA (2005), Método 05 - manual de métodos de análise de bebidas e vinagres, que consiste no método gravimétrico.

O procedimento iniciou-se com o aquecimento dos cadinhos de porcelana, à uma temperatura próxima de 600°C durante 10 minutos, sendo que após esse tempo, resfriados no dessecador e pesados em balança analítica (modelo: UA 220 e marca Urano). Transferiu-se 25 mL da amostra para o cadinho, que foi levado até securo em banho-maria fervente em torno de 4 horas. Após securo, a amostra é carbonizada por completo em bico de Bunsen e em seguida levado para a mufla (modelo: CLC-2000F e marca: ZEZIMAQ) a 500°C, até que o resíduo se tornasse branco ou acinzentado.

A análise foi feita em quintuplicata e os valores obtidos são expressos em gramas por litro de amostra e através da equação 5 a seguir:

$$Cinzas, em g/L = 40 \times (a - b) \quad (5)$$

Onde:

$a$  = massa do cadinho com cinzas

$b$  = massa do cadinho

#### 2.2.4.4 Análise do extrato seco total

Para a análise do extrato seco total a metodologia utilizada é a do MAPA (2005), Método 06 - manual de métodos de análise de bebidas e vinagres, que consiste em um método gravimétrico, que se fundamenta na quantificação do extrato, após total evaporação da água e substâncias voláteis presentes na amostra.

Inicialmente, 20 mL da amostra foram transferidos para um Erlenmeyer e colocados em contato direto com o vapor produzido por banho maria a 100 °C por 3 horas consecutivas.

A amostra foi seca em uma estufa (modelo CLC-2000F e marca: ZEZIMAQ) à 105 °C ± 3 °C durante 30 minutos. Depois disso, colocado em um dessecador para resfriar. Então, o Erlenmeyer com o conteúdo foi pesado em balança analítica (modelo: UA 220 e marca: Urano).

A análise foi feita em quadruplicata, o valor de extrato seco total é a multiplicação do peso obtido depois de seco e multiplicado por 40, sendo expresso em g/L, com uma casa decimal e expressa pela equação 6 a seguir.

$$ES = 40 \times (a - b) \quad (6)$$

Onde:

$ES$  = Extrato seco, em g/L.

$a$  = massa da cápsula com o extrato.

$b$  = massa da cápsula.

#### 2.2.4.5 Análise da acidez total

Para a análise de acidez total, a metodologia usada é a apresentada pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008) que utilizado do método volumétrico.

Para o procedimento foi pipetado 1 mL da amostra no Erlenmeyer de 250 mL e 25 mL de água potável, acrescentado 3 gotas da solução de fenolftaleína a 1% como indicador. A bureta foi lavada com água e sabão, álcool e por fim passado a solução de hidróxido de sódio e descartada. Feita a titulação com a solução de hidróxido de sódio em triplicata para cada amostra coletada até o ponto final de viragem.

O valor obtido para a acidez total é dado em gramas de ácido acético por 100 mL e é expresso pela equação 7:

$$\frac{V_o \times M \times f \times MM}{V \times 10 \times n} \quad (7)$$

Onde:

$V_o$  = volume de solução de hidróxido de sódio gasto na titulação, em mL

$M$  = molaridade da solução de hidróxido de sódio

$MM$  = massa molar do ácido acético

$n$  = número de hidrogênios ionizáveis do ácido acético

$V$  = volume da amostra em mL

$f$  = fator de correção da solução de hidróxido de sódio

#### 2.2.4.6 Análise dos açúcares totais

Para a análise dos açúcares totais (glicose, frutose e sacarose), a metodologia utilizada foi a fornecida pelo MAPA (2005), Método 11 - Manual de métodos de análises de bebidas e vinagres, que aplica o método titulométrico (método Eynon-Lane).

#### 2.2.4.7 Análise do grau alcoólico real

Para a análise do grau alcoólico real foi utilizada a metodologia do MAPA (2005), Método 02 - Manual de métodos de análise de bebidas e vinagres, que na separação do álcool por destilação da amostra e sua posterior quantificação de acordo com a densidade relativa do destilado a 20 °C.

#### 2.2.4.8 Análise dos sulfatos

Para a análise de sulfatos, a metodologia utilizada é a apresentada pelo MAPA (2005), Método 08 – Manual de métodos de análises de bebidas e vinagres, que parte

do princípio da precipitação do íon sulfato por meio de uma solução de concentração conhecida de cloreto de bário.

## 2.3 Resultados e discussões

### 2.3.1 Calibração dos sensores de pH e temperatura

A calibração do sensor de pH foi feita através da utilização de soluções tampão padrão para os pHs nos valores 10,00, 4,00 e 7,00 e o resultado desta calibração está expresso na tabela abaixo.

**Tabela 1 - Dados de calibração com o sensor de pH**

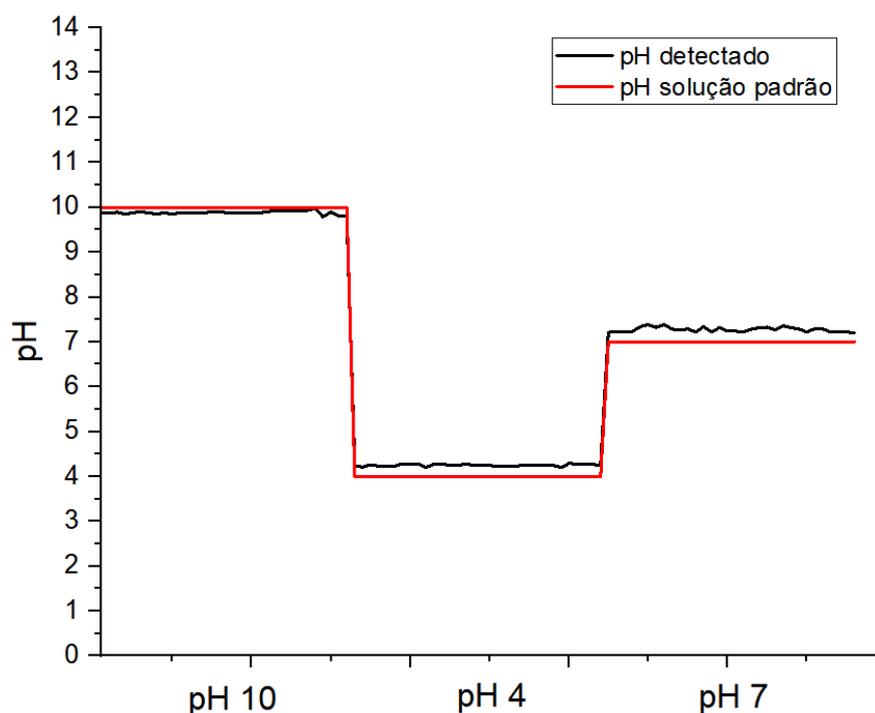
| pH                          | 10   | 4    | 7    |      |      |      |
|-----------------------------|------|------|------|------|------|------|
|                             | 9,87 | 9,88 | 4,23 | 4,25 | 7,21 | 7,24 |
|                             | 9,87 | 9,88 | 4,21 | 4,25 | 7,23 | 7,22 |
|                             | 9,89 | 9,88 | 4,26 | 4,22 | 7,23 | 7,28 |
|                             | 9,85 | 9,88 | 4,23 | 4,22 | 7,23 | 7,32 |
|                             | 9,88 | 9,88 | 4,23 | 4,22 | 7,34 | 7,33 |
|                             | 9,90 | 9,90 | 4,23 | 4,25 | 7,39 | 7,27 |
| Valor detectado pelo sensor | 9,88 | 9,93 | 4,28 | 4,25 | 7,32 | 7,36 |
|                             | 9,85 | 9,93 | 4,28 | 4,25 | 7,39 | 7,32 |
|                             | 9,88 | 9,93 | 4,28 | 4,25 | 7,29 | 7,29 |
|                             | 9,85 | 9,93 | 4,20 | 4,25 | 7,26 | 7,22 |
|                             | 9,88 | 9,93 | 4,28 | 4,20 | 7,29 | 7,29 |
|                             | 9,88 | 9,98 | 4,28 | 4,29 | 7,22 | 7,29 |
|                             | 9,88 | 9,79 | 4,25 | 4,28 | 7,34 | 7,22 |
|                             | 9,88 | 9,89 | 4,25 | 4,28 | 7,22 | 7,22 |
|                             | 9,90 | 9,80 | 4,28 | 4,27 | 7,32 | 7,22 |
|                             | 9,90 | 9,82 | 4,25 | 4,25 | 7,24 | 7,20 |
| Média                       | 9,88 |      | 4,25 |      | 7,28 |      |

**Fonte: Autoria própria (2022)**

Os dados apresentados, mostram que a calibração do sensor de pH foi adequada, visto que o sensor possui um erro alcalino de 0,2 pH em suas medições. O valor de pH 7,00 foi o que obteve o maior desvio, ficando em 0,28 pH de erro alcalino seguido do pH 4,00 com um valor de erro alcalino de 0,25.

A figura 9 a seguir mostra o comportamento dos dados no momento da calibração em comparação com as soluções padrão.

Figura 9 - Calibração do sensor de pH



Fonte: Autoria própria (2022)

### 2.3.2 Elaboração do vinagre de malte

O processo de fermentação acontece em duas etapas, sendo elas, a alcoólica e a acética. Durante a etapa alcoólica, foi obtido a matéria-prima para a produção do vinagre, a cerveja de malte. A obtenção ocorreu do mesmo modo que uma cerveja convencional, porém sem a etapa de adição do lúpulo, pois este é um inibidor do crescimento bacteriano, obtendo ao fim um total de 20 litros de cerveja puro malte com teor alcoólico propositalmente alto, de 6,5%.

A etapa seguinte consiste na fermentação acética, que foi realizada a partir de um reator vinagreiro artesanal, que foi construído para reproduzir de maneira similar ao método rápido, ou alemão.

Ao reator foram adicionados em proporções iguais, 2 litros de vinagre forte de vinho, como cultura *starter* do reator, juntamente com mais 2 litros da matéria-prima, cerveja puro malte, totalizando um volume de trabalho de 4 litros.

Um mínimo de quatro bateladas se faz necessário para que assim seja possível atingir um valor mínimo exigido pela legislação brasileira para classifica-lo

como um vinagre de cereal de malte e não como vinagre misto de vinho e cereal de malte como mostra a tabela 2 a seguir.

**Tabela 2 - Composição por batelada na obtenção do vinagre de malte**

| Batelada | Vinagre forte de vinho | Cerveja de malte | Vinagre de malte |
|----------|------------------------|------------------|------------------|
| 1        | 50%                    | 50%              | 50%              |
| 2        | 25%                    | 50%              | 75%              |
| 3        | 12,50%                 | 50%              | 87,50%           |
| 4        | 6,25%                  | 50%              | 93,75%           |

Fonte: Aatoria Própria (2022)

A cada batelada o vinagre forte de vinho utilizado se dilui, isto porque o vinagre de malte final obtido, é utilizado como *starter* na batelada seguinte. O processo poderia se repetir quantas vezes fossem necessários, visto que, o processo de obtenção do vinagre de malte pode ser contínuo e o mesmo tendendo a 100% em composição.

### 2.3.3 Avaliação do pH e temperatura

Quando falamos de bebidas fermentadas, o pH é uma das características mais importantes, interfere diretamente na coloração, além de exercer um efeito acentuado sobre o sabor. Um pH elevado em bebidas fermentadas, influencia em alterações oxidativas e biológicas (REZENDE; RODRIGUES, 2015).

O monitoramento da temperatura é extremamente importante no processo de fermentação alcoólica e acética, um rendimento alto em álcool é possível através de uma baixa temperatura, ajuda a obter uma fermentação completa e minimiza a perda por evaporação. Já para a fermentação acética a temperatura ideal influencia em sua composição sensorial, propriedades físico-químicas e quantidade de subprodutos formados (SCHMOELLER; BALBI, 2010).

A temperatura de trabalho escolhida de 22°C para o reator, se baseou em Aquarone *et al.*, (2001) que através do controle de alguma variáveis, como a temperatura, para vinagres obtidos a partir de soluções de frutos, mel ou cereais é possível aumentar o rendimento e a produtividade da fermentação acética em superfície. A temperatura ambiente entre 20 e 25 °C seria a ideal, pois abaixo dessa

faixa, a produtividade é muito reduzida e, acima, é provável uma evaporação excessiva do etanol, considerando uma produção de pequena escala (AQUARONE *et al.*, 2001).

Para o controle da temperatura ambiente, se fez necessário a obtenção de uma geladeira, que através de um controlador de temperatura acoplado a mesma, foi possível definir um *setpoint* de 22 °C para todo o período de acetificação. Através do monitor do controlador de temperatura e um sensor acoplado a geladeira, foi possível observar a temperatura da mesma.

Para este trabalho foi feito o monitoramento de temperatura e pH do processo fermentativo através de sensores acoplados a uma placa de arduino, a mesma conectada em um computador como fonte de energia e armazenamento dos dados de forma simultânea.

Na tabela 3 a seguir estão os valores obtidos tanto para o sensor de pH para o início e fim de cada batelada, quanto o valor de pH obtido através do pHmetro (marca: Del Lab, modelo: DLA-pH).

**Tabela 3 - Valores de pH coletados pelo sensor e pHmetro**

| pH      | 1 Batelada |       | 2 Batelada |       | 3 Batelada |       | 4 Batelada |       |
|---------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|
|         | Inicial    | Final | Inicial    | Final | Inicial    | Final | Inicial    | Final |
| Sensor  | 2,36       | 1,33  | 3,66       | 3,64  | 3,45       | 0,50  | 2,63       | 2,82  |
| pHmetro | 3,51       | 3,67  | 3,55       | 3,74  | 3,75       | 3,82  | 3,76       | 3,65  |

**Fonte: Autoria própria (2022)**

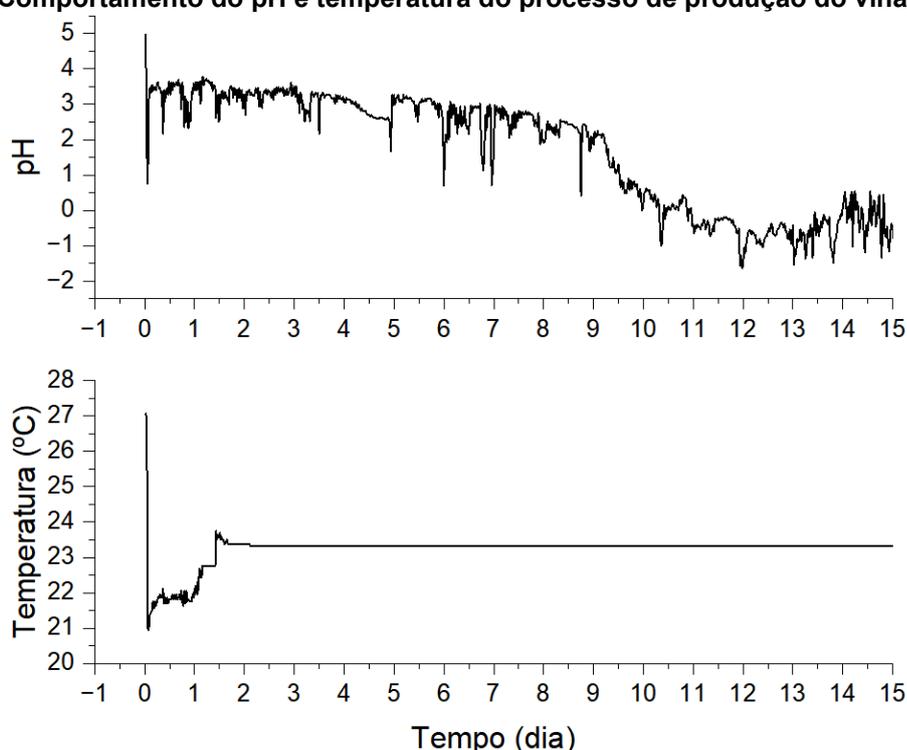
É possível notar que os valores obtidos de pH pelo sensor da primeira e terceira batelada, mostrou um decaimento no valor, de 2,36 pH para 1,33 pH e 3,45 pH para 0,5 pH respectivamente. Apesar desses valores mostrarem um decaimento, não é observado o mesmo pelos resultados obtidos pelo pHmetro, que para todas as bateladas não manteve um decaimento, e sim, mostrou um faixa de valor de pH ao longo de todos os dias.

O comportamento e os valores obtidos pelo pHmetro podem ser justificados pelo fato de que, as alíquotas coletadas a cada dia do processo de fermentação acética para a análise do pH através do pHmetro, só foram analisadas ao final de cada batelada (no seu 15º dia), visto que, para a utilização do pHmetro disponível era necessário retirar o sensor de pH utilizado no reator.

Os sensores foram programados para a obtenção de dados a cada 30 minutos, ou como descrito no código de programação,  $1,8 \cdot 10^6$  milissegundos, ficando uma média diária total de 48 dados para temperatura e 48 dados para o pH. O gráfico a seguir mostra o comportamento dos dados coletados ao longo dos 14 dias de batelada.

A batelada que obteve os melhores resultados, quando comparado os dados obtidos ao encontrado em literatura e mostrou semelhança para comportamento do pH, foi a terceira batelada. Os valores de todas as coletas estão expressos na figura 10 a seguir, contendo também a temperatura monitorada ao longo do processo.

**Figura 10 - Comportamento do pH e temperatura do processo de produção do vinagre de malte**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Pode-se constatar que o pH obteve um certo decaimento ao longo do processo de acetificação, se tornando um meio mais ácido. Para as primeiras horas do dia zero o pH e a temperatura estão em um modo de adaptação do novo meio. Isso acontece, pois, é adicionado a cerveja de malte ao reator que tem um pH médio de 5,74 com o vinagre de malte recém obtido da batelada anterior que é mais ácido.

O comportamento da temperatura, é explicado pelo fato de que o vinagre de malte recém obtido está em uma temperatura média de 22 °C, e a matéria-prima

(cerveja de malte) estar armazenada sob refrigeração à 10 °C. Além disso, o pico de temperatura se dá pelo fato de que a geladeira é mantida aberta para a inserção da nova solução ao reator acetificador, que ao se estabilizar permanece em temperatura média de 23,31 °C durante todo processo acético.

Além disso, outro erro associado ao sensor de pH foi notado quando, ao entrar em contato com a espuma gerada pela circulação do vinagre no reator, ocasionava em desestabilização do sensor, sendo necessário adicionar uma proteção ao redor do sensor.

### 2.3.4 Avaliação da acidez total

O principal constituinte do vinagre é o ácido acético, foi possível determinar a concentração deste ácido através da titulação de neutralização com uma solução de NaOH, este processo é descrito através da reação:  $C_2H_4O_2 + NaOH \rightarrow NaC_2H_3O_2 + H_2O$ .

Durante todos os dias do processo produtivo do ácido acético, foram coletadas amostras que foram armazenadas e mantidas refrigeradas. Ao final de cada batelada, feita a análise por titulação, o valor obtido do volume gasto da solução de hidróxido de sódio em triplicata para cada dia era anotado. Era realizada uma média comum desses valores e calculado o teor de acidez, ou seja, a porcentagem de ácido acético presente no vinagre, as quais estão representados na tabela 4.

**Tabela 4 - Valores obtidos para acidez total diária de cada batelada para obtenção do vinagre de malte.**

| <b>Dia</b>              | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>6</b> | <b>7</b> | <b>8</b> | <b>9</b> | <b>10</b> | <b>11</b> | <b>12</b> | <b>13</b> | <b>14</b> |
|-------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| Acidez total B1 (% m/v) | 2,94     | 2,92     | 3,00     | 3,00     | 3,04     | 3,06     | 2,98     | 3,12     | 3,12     | 3,22      | 3,36      | 3,66      | 3,90      | 3,84      |
| Acidez total B2 (% m/v) | 1,94     | 1,98     | 1,96     | 2,00     | 2,00     | 2,14     | 2,16     | 2,64     | 2,66     | 2,66      | 2,72      | 2,78      | 2,92      | 2,92      |
| Acidez total B3 (% m/v) | 2,32     | 2,64     | 2,58     | 2,64     | 3,10     | 3,20     | 3,12     | 3,12     | 3,14     | 3,28      | 3,36      | 3,44      | 3,74      | 3,92      |
| Acidez total B4 (% m/v) | 1,92     | 2,06     | 2,00     | 1,96     | 2,06     | 2,22     | 2,28     | 2,50     | 2,72     | 2,70      | 2,96      | 3,06      | 3,10      | 3,32      |

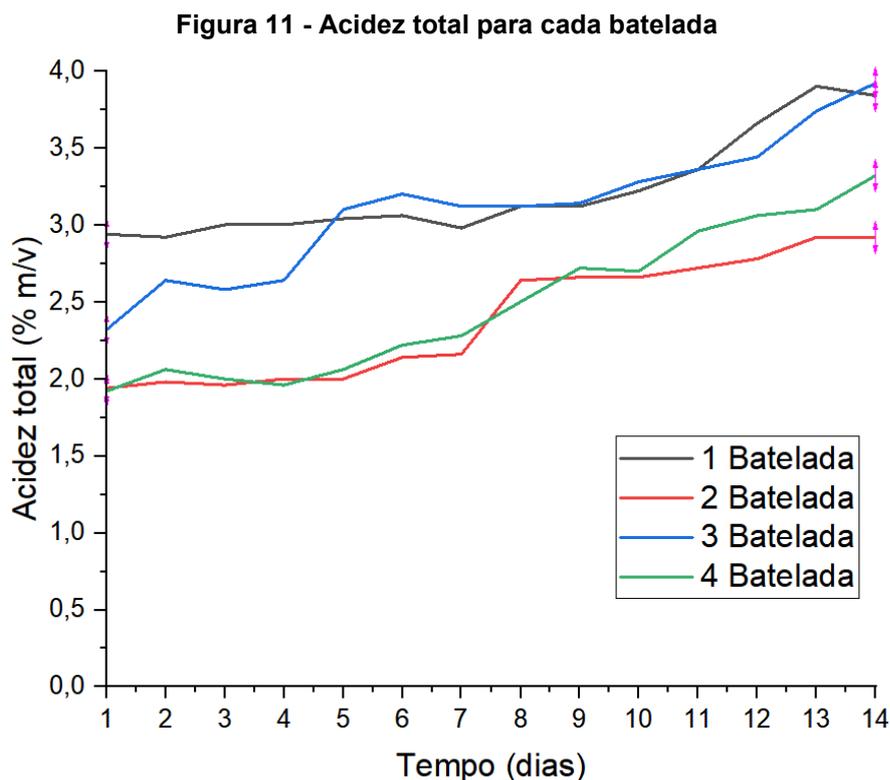
**Legenda:** B1 (1ª Batelada); B2 (2ª Batelada) B3 (3ª Batelada) B4 (4ª Batelada).

**Fonte:** Autoria própria (2022)

Contudo, foram realizados no total 4 bateladas, sendo que cada batelada teria uma duração de 14 dias em média. O teor de ácido acético encontra nas amostras

das 4 bateladas variou de 1,92% a 3,92%. Segundo um estudo feito por ENGEL, 2014, obtiveram uma variação de 3,10% a 4,50%, obtendo valores que estavam dentro e fora da legislação para a determinação de ácido acético em vinagres.

Para cada uma das bateladas foi representado graficamente a curva de acidez total por dia, sendo que a figura 11 reúne as 4 bateladas em conjunto.



Fonte: Autoria própria (2022)

Pode-se observar que o comportamento da acidez aumentou para todas as bateladas, obtendo seu valor máximo de acidez no décimo quarto dia para as bateladas 2, 3 e 4, ficando apenas a batelada 1 com o seu valor máximo de acidez no décimo terceiro dia.

A legislação brasileira exige um valor mínimo de 4,00% de ácido acético em vinagres. Dos valores obtidos, dentre as 4 bateladas, a que apresentou o melhor resultado final para o que a legislação determina, foi a terceira batelada, obtendo um valor de 3,92% no seu décimo quarto dia. Esta será a batelada discutida neste trabalho.

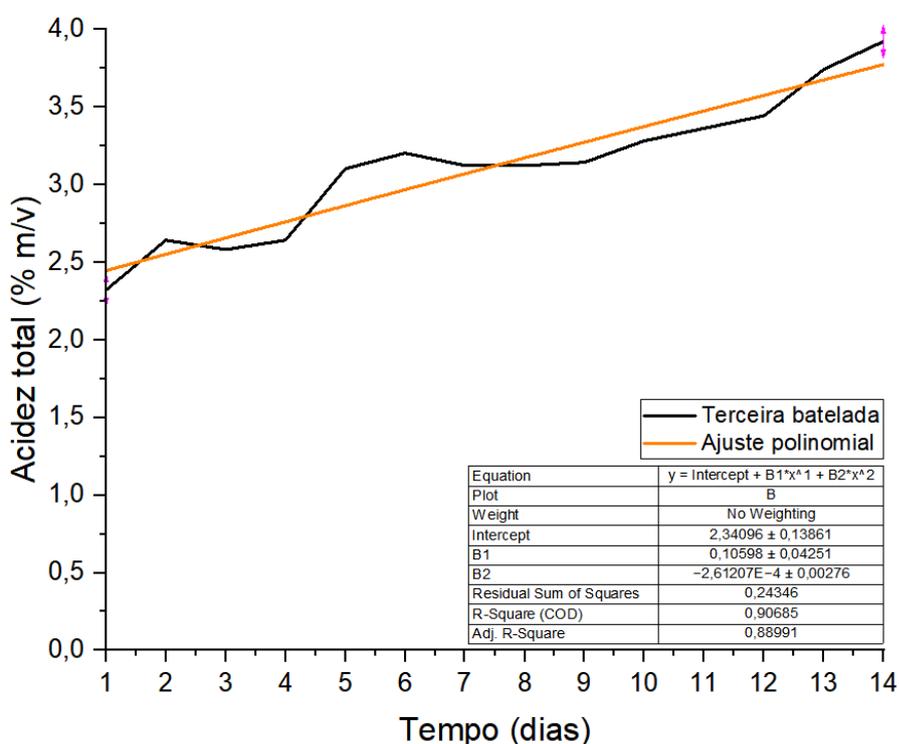
O ajuste dos dados se faz necessário para entender o comportamento dos dados apresentados e ter através de uma equação a previsão de dados futuros para qualquer valor. Utilizando de um modelo de regressão linear simples, onde  $x$  é a

variável preditora e y a variável resposta, o coeficiente de determinação  $R^2$  representa a percentagem da variabilidade dos y's que é função da variabilidade dos x's. Pode-se então dizer que um  $R^2 \approx 1$ , através dos dados apresentados, está próximo da reta de regressão apresentada pelo método. Quando se tem um  $R^2 \approx 0$ , já não se consegue observar uma estrutura linear dos dados (EUGÉNIA GRAÇA MARTINS, 2018).

Segundo Montgomery (2021), embora o modelo de regressão seja normalmente o mais utilizado para a adequação de dados, deve ser utilizado com cautela, pois nem sempre o valor de  $R^2$  próximo a 1 representa que o modelo esteja ajustando bem os dados. Da mesma maneira para um valor de  $R^2$  próximo a zero, que pode ser provocado por algum ponto fora da curva, enquanto a maioria dos dados se ajustaram razoavelmente bem a uma reta.

Para determinar a equação que melhor descreve a terceira batelada, e verificar o melhor ajuste foi plotado um gráfico utilizando o software OriginLab versão 2022b, com os valores representados na tabela 4, e por fim, feito um ajuste polinomial representados na figura 14.

**Figura 12 - Comportamento da acidez total para a terceira batelada**



Fonte: Autoria própria (2022)

A figura 14 apresenta o ajuste que melhor descreve os dados obtidos, o ajuste polinomial de segunda ordem, obtendo um coeficiente de determinação ( $R^2$ ) de 0,91 e representado pela equação 8:

$$y = 2,34096 + (0,10598) * x^1 + (-0,00003) * x^2 \quad (8)$$

Embora a equação de segunda ordem foi a que melhor se ajustou para os dados experimentais, não condiz com o comportamento final da curva de acidez total na literatura, como observado em trabalhos como o de Spinosa *et al* (2015), onde mostra um comportamento constante da acidez, mostrando o fim da batelada. Este comportamento pode ser justificado pelo fato que, o processo de acetificação não deveria ter sido interrompido ao seu décimo quarto dia, e sim, dado continuidade até obter o comportamento esperado pela literatura.

### 2.3.5 Avaliação da acidez volátil

A acidez volátil para fermentados acéticos, é determinada através do arraste do vapor d'água e retificação dos vapores e depois titulado com solução de hidróxido de sódio, o indicador utilizado é fenolftaleína.

Na tabela 6 a seguir estão apresentados os dados obtidos após análise em quintuplicata, expresso em gramas de ácido acético/100 mL do destilado.

**Tabela 5 - Acidez volátil do vinagre de malte**

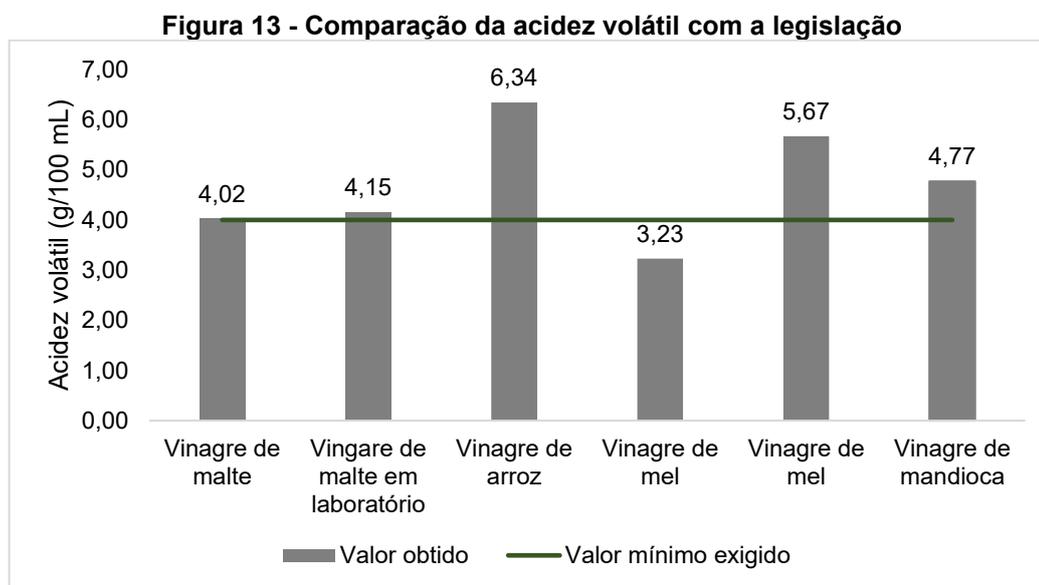
| <b>Amostra</b>   | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>Média</b> |
|--|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| V NaOH gasto   | 2,9      | 2,7      | 2,7      | 2,6      | 2,5      | 2,68         |
| Acidez volátil em ácido acético (g / 100 ml)   | 4,35     | 4,05     | 4,05     | 3,9      | 3,75     | 4,02         |
| Acidez volátil final em ácido acético (g / 100 ml)                                     |          |          |          | 4,02     |          |              |
| Acidez volátil final em ácido acético (g / 100 ml) realizado pelo laboratório terceiro |          |          |          | 4,15     |          |              |

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A acidez volátil corresponde ao teor de ácido acético, um componente importante do vinagre. Provém da oxidação do álcool presente na matéria-prima no

processo de acetificação. Para ser um vinagre próprio para consumo, o mesmo deve ter um teor de ácido acético de 4% a 6%.

A figura 13 a seguir mostra o valor de acidez volátil para o vinagre de malte obtido, compara com a legislação e outros trabalhos encontrados na literatura.



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Comparando com a legislação brasileira, que exige um valor mínimo de 4% para o ácido acético do vinagre, pode-se considerar que o resultado obtido tanto em análise feita na UTFPR, quanto em laboratório terceiro, estão dentro da legislação.

Este valor pode ser tomado como não verdadeiro, quando consideramos que o vinagre de malte final, foi armazenado e levado alguns dias depois de finalizado a última batelada e não feito nenhum tipo de tratamento para a inibição das bactérias acéticas, como a pasteurização, considerando então que o mesmo continuou a fermentação, e obtendo um valor maior de acidez volátil.

O trabalho feito por Schmoeller; Balbi (2010), comparando diversos tipos de vinagres comercializados na região metropolitana de Curitiba-PR, obteve um valor de acidez volátil média para o vinagre de cereal (arroz) de 6,34 g/100 mL.

Quando avaliado por Anjo (2015), a acidez volátil encontrada foi de 3,23 g/100 mL para vinagre de mel, L. Melo (2013) obteve um valor de 5,67 g/100 mL de acidez volátil. Avaliando os vinagres obtidos a partir de mandioca e gengibre Suman & Leonel (2013), o valor obtido foi de 4,77 g/100 mL para a acidez volátil.

Segundo Rezende e Rodrigues (2015), um valor acima do permitido pela legislação brasileira para a acidez volátil, poderá conferir ao produto final aromas e sabores indesejáveis, o que torna a bebida sensorialmente desagradável.

### 2.3.6 Avaliação da densidade

A densidade do produto final, relaciona o peso específico da amostra em relação ao peso específico da água, ambos em mesma temperatura. Foi utilizado picnômetro de 25 mL e para comparação do resultado obtido pelo método utilizado, um densímetro. Os resultados obtidos em triplicata, estão apresentados na tabela 5 a seguir.

**Tabela 6 - Densidade do vinagre de malte**

| <b>Análise</b>                               | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>Média (g)</b> |
|--|----------|----------|----------|------------------|
| Água (g)                                     | 52,1516  | 52,138   | 52,1888  | 52,1595          |
| Amostra (g)                                  | 52,9089  | 52,9039  | 52,8922  | 52,9017          |
| Densidade média (g/mL)                       |          |          | 1,0269   |                  |
| Densidade média utilizando densímetro (g/mL) |          |          | 1,0250   |                  |

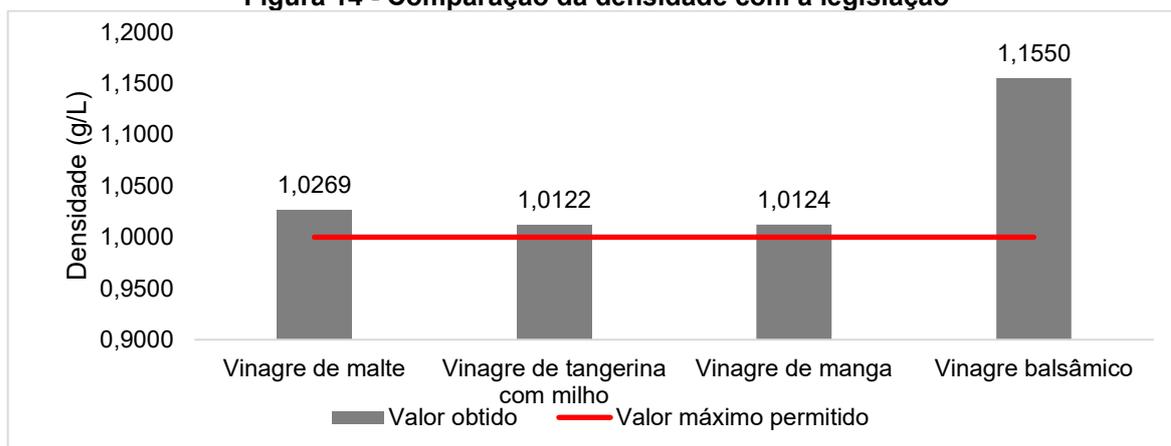
**Fonte: Autoria própria (2022)**

O fermentado obtido apresentou uma densidade de 1,0269 g/mL pelo método proposto por MAPA (2005), e um valor de 1,0250 g/mL para o densímetro utilizado, não é um parâmetro de exigência da legislação brasileira, mas serve de parâmetro de controle na adulteração do vinagre.

A densidade pode variar de acordo com a quantidade de álcool presente no fermentado, quanto com a quantidade de açúcares. Pode se dizer que o açúcar tem uma influência maior neste parâmetro físico-químico, sendo que a densidade é diretamente proporcional à quantidade de açúcares no meio.

A figura 14 a seguir mostra o valor de densidade para o vinagre de malte obtido, compara com a legislação e outros trabalhos encontrados na literatura.

**Figura 14 - Comparação da densidade com a legislação**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Por poder variar com o álcool presente no fermentado e a fermentação não ter chegado ao fim em seu estágio final no décimo quarto dia, é possível justificar um valor maior do que o esperado, pois ainda possui álcool a ser consumido pela fermentação acética.

Quando comparamos com a densidade obtida em trabalhos como de Marques (2008) que fez análise para diferentes tipos de vinagres, os valores da densidade para os vinagres de tangerina com milho, manga e de vinho tinto, obtiveram valores variando de 1,0122 g/mL a 1,0124 g/mL. O que obteve maior resultado foi o de vinagre balsâmico com densidade de 1,1550 g/mL.

### 2.3.7 Avaliação do extrato seco total

A avaliação do extrato seco total presente nos fermentados acéticos se dá pela quantificação do extrato após a evaporação da água e substâncias voláteis presente (MAPA; SDA; CGAL, 2005). A análise feita no vinagre de malte produzido foi feita em quadruplicata e os resultados obtidos apresentados na tabela 7 a seguir.

**Tabela 7 - Extrato seco total do vinagre de malte**

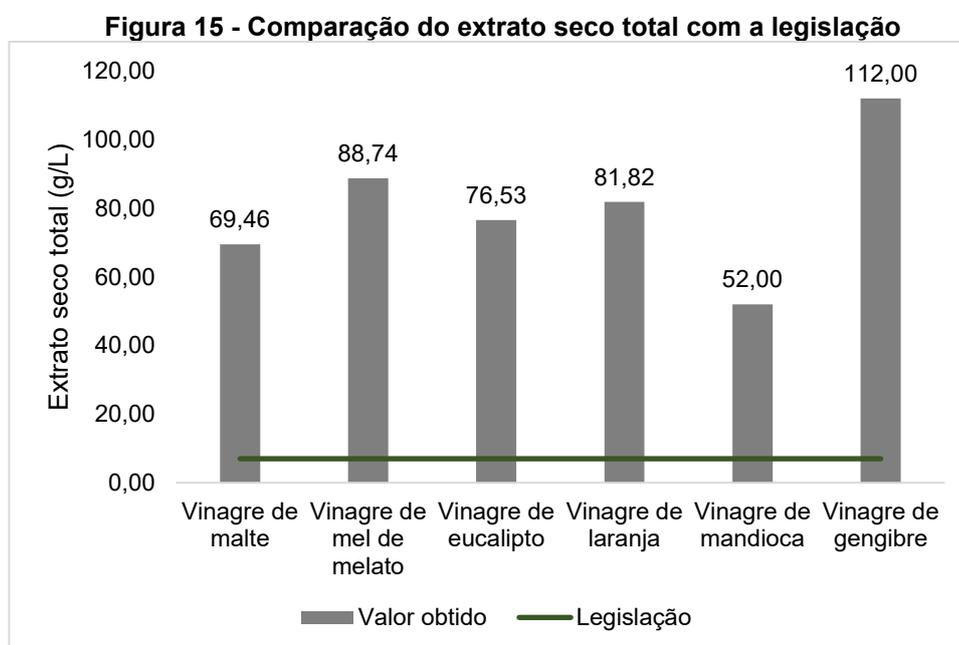
| <b>Amostra</b>                       | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>Média</b> |
|--------------------------------------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| a = massa da cápsula com extrato (g) | 51,5187  | 52,9416  | 53,0367  | 51,5747  | 52,2679      |
| b = massa da cápsula (g)             | 49,7805  | 51,2086  | 51,3091  | 49,8275  | 50,5314      |
| (a - b) (g)                          | 1,7382   | 1,7330   | 1,7276   | 1,7472   | 1,7365       |
| Extrato seco total (g/L)             |          |          | 69,46    |          |              |

**Fonte: Autoria própria (2022)**

O valor para o extrato seco total é estipulado pela legislação para diferentes tipos de classificações dos vinagres. De acordo com o Ministério da Agricultura, 2012, fermentados acéticos de cereal, do qual é enquadrado o vinagre de malte produzido neste trabalho, deve possuir um valor mínimo de 7,00 g/L porém sem um valor máximo para o mesmo.

Sendo assim, com base na metodologia o valor obtido para a média de (a - b) deve ser multiplicado por 40, obtendo um valor de 69,46 g/L de extrato seco total.

A figura 15 a seguir mostra o valor do extrato seco total para o vinagre de malte obtido, compara com a legislação e outros trabalhos encontrados na literatura.



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Um valor aproximado para esta análise foi apresentado no trabalho de Anjo (2015), ao analisar vinagre de mel proveniente de melato, eucalipto e laranja,

obteve valores de 88,74 g/L, 76,53 g/L e 81,82 g/L respectivamente, de extrato seco total.

Já o trabalho feito por Marques *et al.* (2010), avaliou amostras comerciais de vinagre de frutas, vinho, cana de açúcar e frutas com mel, encontraram valores variando entre 5,3g/L à 48,8 g/L de extrato seco total.

Utilizando matéria prima a partir de mandioca e gengibre, Suman & Leonel (2013) conseguiram obter valores de extrato seco total de 52 g/L e 112 g/L.

### 2.3.8 Avaliação das cinzas

O teor de cinzas é um dos fatores de investigação da adulteração do vinagre, determina os minerais contidos no produto. Obter um valor muito baixo de cinzas, pode-se considerar que o mesmo foi diluído e, em seguida, reconstituído com ácido acético. Um valor elevado, por sua vez, pode-se considerar um acréscimo de substâncias não voláteis (ARAÚJO, 2012).

A tabela 8 a seguir apresenta os resultados obtidos da análise das cinzas em quintuplicata, a média de seus resultados e o valor final obtido.

**Tabela 8 - Cinzas do vinagre de malte**

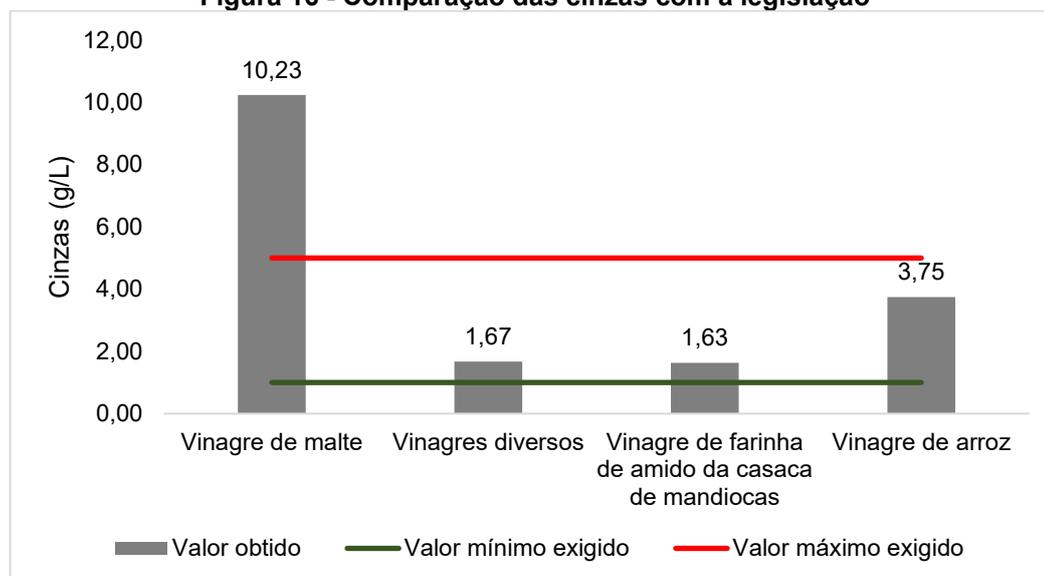
| <b>Amostra</b>                      | <b>1</b> | <b>2</b> | <b>3</b> | <b>4</b> | <b>5</b> | <b>Média</b> |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|--------------|
| a = massa do cadinho com cinzas (g) | 36,7359  | 35,4589  | 37,9245  | 36,1070  | 33,9738  | 36,0400      |
| b = massa do cadinho (g)            | 36,4909  | 35,1957  | 37,6265  | 35,8886  | 33,7191  | 35,7842      |
| (a - b)                             | 0,2450   | 0,2632   | 0,2980   | 0,2184   | 0,2547   | 0,2559       |
| cinzas (g/L)                        |          |          |          |          |          | 10,2344      |

**Fonte: Autoria própria (2022)**

A legislação brasileira prevê um valor mínimo de 1,00 g/L e um máximo de 5,00 g/L para vinagres de cereal. Um estudo feito por Rizzon e Meneguzzo (2002) para MAPA, deve ficar compreendida entre 3,50 g/L e 8,00 g/L, mesmo considerando esta faixa para as cinzas, este trabalho apresentou um valor de 10,2 g/L de cinzas.

A figura 16 a seguir mostra o valor das cinzas para o vinagre de malte obtido, compara com a legislação e outros trabalhos encontrados na literatura.

**Figura 16 - Comparação das cinzas com a legislação**



**Fonte: Aatoria própria (2022)**

O trabalho apresentado por Rezende e Rodrigues (2015), obteve valor de cinzas de 1,38 g/L a 1,67 g/L. O trabalho de Reis e Souto (2011), para o vinagre utilizando farinha de amido da casaca de mandiocas, obteve um valor de 1,63 g/L e Marques *et al.* (2010) obteve valor de 3,75 g/L para o vinagre de arroz.

O resultado pode ser explicado pelo motivo que, o vinagre de malte final obtido não passou por nenhum tipo de tratamento antes de efetuar suas análises, como a clarificação que tem o papel de sedimentar o vinagre através do uso de bentonita (0,05% m/v) e posteriormente centrifugado e filtrado, para que assim pudessem ser feitos análises como produto final e pasteurizar (LIMA, 2014).

Outro fator considerável utilizado para o valor encontrado nas cinzas, podem indicar uma contaminação por material estranho ao produto ocasionado por falhas em algumas etapas do processo (REIS; SOUTO, 2011).

### 2.3.9 Avaliação da graduação alcoólica

O grau alcoólico do vinagre representa o resíduo do processo de acetificação. Todo vinagre deve possuir um pouco de álcool em sua composição final, visto que, na ausência de um substrato alcoólico, as bactérias acéticas podem degradar o ácido acético produzido, prejudicando o produto final.

A tabela 9 a seguir apresenta o resultado final obtido para a graduação alcoólica para o vinagre de malte realizada em triplicata.

**Tabela 9 - Graduação alcoólica para o vinagre de malte**

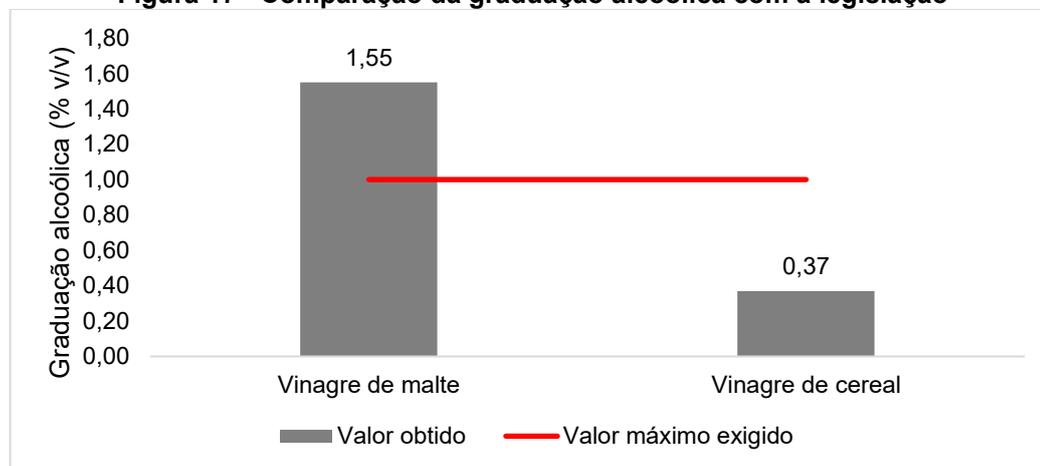
| Análise                             | Resultado |
|-------------------------------------|-----------|
| Graduação Alcoólica a 20 °C (% v/v) | 1,55      |

Fonte: Autoria própria (2022)

A legislação prevê um valor máximo de 1,0% v/v do teor alcoólico para o vinagre. O resultado obtido pelo laboratório de análise para o vinagre de malte produzido neste trabalho, obteve um valor de 1,55% v/v o que ultrapassa em 0,55% v/v do permitido. Isso se dá pelo fato que, a batelada foi finalizada antes que houvesse o consumo ideal deste álcool que seria convertido durante a etapa final da fermentação acética.

A figura 17 a seguir mostra o valor da graduação alcoólica para o vinagre de malte obtido, compara com a legislação e outros trabalhos encontrados na literatura.

**Figura 17 - Comparação da graduação alcoólica com a legislação**



Fonte: Autoria própria (2022)

O trabalho desenvolvido por Machado, Neves e Spinosa (2019) para obtenção de vinagre de cereal, obtiveram valores dentro dos exigidos pela legislação, sendo que, para cada ciclo de dados os valores obtidos variaram de 0,1% a 0,7% v/v, obtendo um valor médio de  $0,37 \pm 0,22$  % v/v.

Durante a fermentação acética, as bactérias acéticas utilizam o álcool presente na cerveja como substrato e o oxidam em ácido acético, este valor acima do

definido pela legislação implica em uma baixa eficiência quanto a esta etapa de oxidação do acetaldeído em ácido acético.

### 2.3.10 Avaliação dos açúcares totais

Os açúcares são carboidratos e estes podem ser classificados em dois tipos, os simples e os complexos. Os carboidratos simples são monossacarídeos como a frutose, glicose e galactose, já os carboidratos complexos, compostos por dois ou mais monossacarídeos ligados entre si, como a sacarose, maltose e lactose, que são dissacarídeos (SANTOS *et al.*, 2021).

Além disso os açúcares podem ser classificados em redutores e não redutores. Os açúcares redutores são carboidratos monossacarídeos, reduzem os sais de cobre, prata e bromo em soluções alcalinas por possuírem grupos aldeídos ou cetonas livres. Os açúcares dissacarídeos ou não redutores, não possuem grupos aldeídos ou cetonas livres, por isso não são capazes de reduzir os sais. Desta maneira se faz necessário a hidrólise prévia desses açúcares para quebrar as ligações glicosídicas e formar monossacarídeos, e assim, classificados como açúcares totais (SANTOS; GEMMER; OLIVEIRA, 2016).

**Tabela 10 - Açúcares totais para o vinagre de malte**

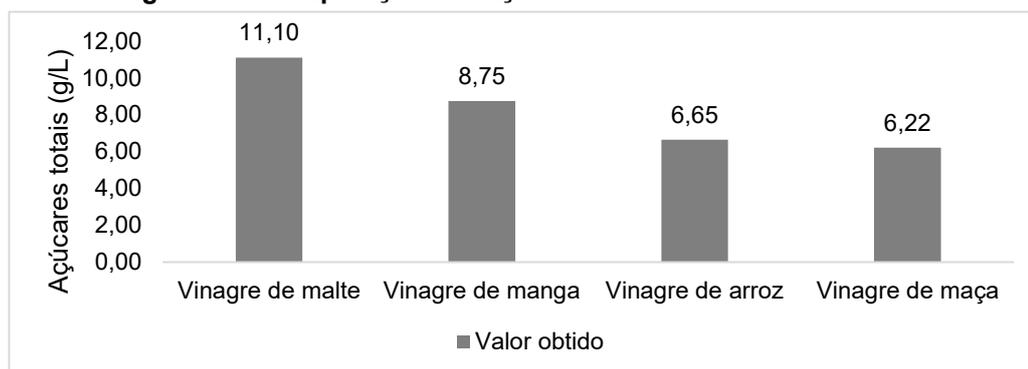
| Análise               | Resultado |
|-----------------------|-----------|
| Açúcares totais (g/L) | 11,1      |

**Fonte: Autoria própria (2022)**

O valor obtido pela análise para açúcares totais presentes no vinagre de malte ficou em 11,1 g/L. A legislação brasileira não estabelece um valor máximo ou mínimo para o mesmo, mas é utilizado como indicador para o entendimento de outros parâmetros como a densidade, que influencia no valor obtido do álcool presente na amostra e por consequência na qualidade do produto final.

A figura 18 a seguir mostra o valor dos açúcares totais para o vinagre de malte obtido e compara com outros trabalhos encontrados na literatura.

**Figura 18 - Comparação dos açúcares totais com a literatura**



**Fonte: Autoria própria (2022)**

Quando comparamos o valor de açúcares totais encontrado por Marques (2008), que obteve valor de 8,75 g/L para o vinagre de manga, 6,65 g/L para o vinagre de arroz e 6,22 g/L para o vinagre de maçã, o vinagre de malte obtido está em um valor maior. Apesar desses vinagres serem ricos em amido (como fonte de glicose) nestas matérias-primas, o malte obteve um valor mais elevado.

Outro trabalho feito por Rezende e Rodrigues (2015), obteve valores de 18,23 g/L e 15,28 g/L para açúcares totais, valores mais próximos do encontrado para o vinagre de malte produzido por este trabalho.

Ainda considerando que os quatorze dias de batelada não foram suficientes para o término do processo fermentativo acético, este valor poderia ter sido diferente do encontrado.

### 2.3.11 Avaliação dos sulfatos

Os sulfatos são fatores de controle para a legislação brasileira que podem ser utilizados para a aceleração da clarificação, acentuar o brilho e maior vivacidade de cor, além de aumentar o corpo e favorecer a estabilidade microbiana (MARQUES, 2008; SPINOSA *et al.*, 2015).

**Tabela 11 - Sulfatos para o vinagre de malte**

| Análise        | Resultado |
|----------------|-----------|
| Sulfatos (g/L) | 0,011     |

Fonte: Autoria própria (2022)

O resultado obtido para o valor de sulfato na amostra de vinagre de malte foi de 0,011 g/L. Este valor quando comparado com a legislação atende aos requisitos, que estipula um valor máximo de 1,00 g/L de sulfatos presente em vinagres de cereais.

A figura 18 a seguir mostra o valor dos sulfatos para o vinagre de malte obtido e compara com a legislação.

**Figura 19 - Comparação dos sulfatos com a legislação**

Fonte: Autoria própria (2022)

É válido ressaltar que ao consumir valores elevados de sulfatos, podem apresentar ação irritante ao trato gastrointestinal e favorecer a cirrose hepática (MARQUES, 2008).

### 3 CONCLUSÃO

Foi possível construir um biorreator acetificador vertical de três fases com uma capacidade de 15 litros e construído em material polipropileno (PP), isto porque após verificado em literatura, atendeu as características necessárias por ser um material sanitário e resistente a soluções ácidas.

A cerveja foi desenvolvida especificamente para este trabalho por uma cervejaria de pequeno porte, situada na cidade de Francisco Beltrão - PR. Esta especificação é necessária pelo fato de ser uma cerveja puro malte, sem adição do lúpulo na etapa de fermentação alcoólica, pois o mesmo acaba inibindo a proliferação de bactérias e prejudicando o rendimento final do vinagre na etapa subsequente.

Para o monitoramento da etapa de fermentação acética, foi desenvolvido um sistema de monitoramento e aquisição de dados de pH e temperatura. Estas variáveis de monitoramento foram escolhidas por serem de grande impacto no produto final obtido, influenciando em suas características sensoriais, físico-químicas e de rendimento.

Foi possível acompanhar o processo fermentativo acético pelos parâmetros, porém com grande quantidade de erros associados aos sensores que ao entrar em contato com a espuma gerada pela circulação do vinagre no reator, ocasionava em desestabilização do sensor de pH, sendo necessário adicionar uma proteção ao redor do sensor.

A determinação das propriedades foi possível, porém as mesmas não se adequaram as exigências estabelecidas a legislação brasileira vigente para vinagre de malte. Isso se dá pelo fato que quatorze dias para cada batelada não serem suficiente para a constatação do fim do ciclo, como observado através da curva de acidez total.

Como sugestão para trabalhos futuros, acompanhar o desenvolvimento dos tipos de bactérias que estão se formando no processo fermentativo; otimizar a estrutura do reator para uma melhor higienização interna nos tanques 1 e 3; utilização de outro tipo de recheio para o meio fermentativo; utilizar outros tipos de matéria-prima provenientes de cereal.

## REFERÊNCIAS

- AMORIM, Henrique Viana. **Fermentação Alcolólica: ciência e tecnologia**. [S. l.: s. n.], 2005.
- ANDRADE, Jéssica Francieli Mega; Etney Neves; Cristiano José de. A Produção da Cerveja no Brasil. **Proceedings - The International Conference on Emerging Security Information, Systems, and Technologies, SECURWARE 2007**, [s. l.], v. 1, n. 1, p. 1–6, 2007.
- ANJO, Fernando Antônio. APLICAÇÃO DE MEL DE ABELHAS AFRICANIZADAS (*Apis mellifera* L.) DE DIFERENTES ORIGENS FLORAIS NA ELABORAÇÃO DE FERMENTADOS ACÉTICOS. [s. l.], 2015.
- ANTUNES, Joseani. **Cenário favorável para a cevada**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/62654017/cenario-favoravel-para-a-cevada>. Acesso em: 13 jun. 2022.
- AQUARONE, Eugênio *et al.* **Biotecnologia Industrial Vol. IV**. [S. l.: s. n.], 2001.
- ARAÚJO, Lucynei Tenório. Estudo da produção e do envelhecimento do vinagre de laranja lima. **Universidade Federal de Alagoas**, [s. l.], v. 7, n. 2, p. 57–77, 2012.
- CAVALCANTE, Marisa Almeida; CAETANO TAVOLARO, Cristiane Rodrigues; MOLISANI, Elio. Física com Arduino para iniciantes. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, [s. l.], v. 33, n. 4, 2011.
- COSTA, Vera Clemente. Análise do processo de fabrico de vinagres. [s. l.], 2014. Disponível em: <https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/8574>.
- CURI, Roberto Abdallah. Produção de cerveja utilizando cevada como adjunto de malte. [s. l.], 2006.
- ENGEL. Determinação por titulação do teor de ácido acético em vinagres comerciais coletados em castanhal - PA. **Paper Knowledge . Toward a Media History of Documents**, [s. l.], 2014.
- EUGÉNIA GRAÇA MARTINS, Maria. Coeficiente de determinação. **Revista de Ciência Elementar**, [s. l.], v. 6, n. 1, p. 24927, 2018.
- EVANS, Martin; NOBLE, Joshua; HOCHENBAUM, Jordan. **Arduino em ação**. [S. l.]: Novatec Editora, 2013.
- FEISTAUER, Lucas Brambilla Hilbig. Propriedades antioxidantes da cerveja artesanal. [s. l.], 2016. Disponível em: <http://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/147871>.
- GABRIEL, Pedro; SOUZA, Santos; ANDRADE, Wesley Vertuan D E. Caracterização do amargor da cerveja em microcervejas da cidade de Ponta Grossa - PR. **Trabalho de conclusão de curso.**, [s. l.], 2017.
- IVANOV, RAPHAEL COELLI. Fermentação Acética: Abordando Transformações

Químicas e Bioquímicas. [s. l.], p. 44, 2011.

LIMA, Kely Priscila. Produção de vinagre como estratégia de aproveitamento tecnológico da amora-preta: Avaliação do processo submerso e do processo lento. [s. l.], p. 115, 2014. Disponível em: [http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/865/1/PB\\_PPGTP\\_M\\_Lima%2C\\_Kely\\_Priscila\\_de\\_2014.pdf](http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/865/1/PB_PPGTP_M_Lima%2C_Kely_Priscila_de_2014.pdf).

LIMA, Luciana Leite de Andrade; FILHO, Artur Bibiano de Melo. **Tecnologia de bebidas**. [S. l.: s. n.], 2011. E-book. Disponível em: [http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Tecnologia\\_de\\_Bebidas.pdf](http://pronatec.ifpr.edu.br/wp-content/uploads/2013/06/Tecnologia_de_Bebidas.pdf).

MACHADO, Adriana; NEVES, Glenda;; SPINOSA, Wilma Aparecida; PRODUÇÃO DE FERMENTADO ACÉTICO PELO MÉTODO SUBMERSO. **Research Gate**, [s. l.], n. January, 2019.

MAPA, Ministério da Agricultura Pecuária e Abastecimento; SDA, Secretaria de Defesa Agropecuária;; CGAL, Coordenação Geral de Apoio Laboratorial; Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagres Manual de Métodos de Análises de Bebidas e Vinagres. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento Agropecuária, Secretaria de Defesa Laboratorial, Coordenação Geral de Apoio**, [s. l.], v. d, n. 60, p. 1–2, 2005. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/laboratorios/credenciamento-e-laboratorios-credenciados/legislacao-metodos-credenciados/arquivos-metodos-da-area-bev-iqa/nao-alcoolicos-23-hidroximetilfurfural-hmf.pdf%0Ahttps://www.gov.br/agricultura/pt-br/as>.

MARQUES, Fabíola Pedrosa Peixoto. Características físico-químicas, nutricionais e sensoriais de vinagres de diferentes matérias-primas. **Escola de Agronomia e Engenharia de Alimentos**, [s. l.], p. 1–104, 2008.

MARQUES, Fabíola Pedrosa Peixoto *et al.* Padrões de identidade e qualidade de fermentados acéticos comerciais de frutas e vegetais. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 30, n. SUPPL. 1, p. 119–126, 2010.

MARTINS, Juliete. PRODUÇÃO E CARACTERIZAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA E MICROBIOLÓGICA DO VINAGRE DE JAMBOLÃO ( *Syzygium cumini* ). [s. l.], 2021.

MCRBERTS, Michael. **Arduíno básico**. [S. l.]: Novatec Editora, 2018.

MENEGUZZO, J; RIZZON, Luiz Antenor. **Sistema de produção de vinagre**. [S. l.], 2009.

MINISTÉRIO DA AGRICULTURA, Pecuária e Abastecimento. **ANAV - Associação Nacional das Indústrias de Vinagre**. [S. l.], 2012. Disponível em: [http://www.anav.com.br/clipping\\_interna.php?id=31](http://www.anav.com.br/clipping_interna.php?id=31). Acesso em: 19 nov. 2019.

MONK, Simon. **Programação com Arduino: começando com Sketches**. [S. l.]: Bookman Editora, 2013.

MONTGOMERY, Douglas C. **Estatística Aplicada e Probabilidade para Engenheiros**. 7. ed. [S. l.]: LTC, 2021.

PARALLAX. [S. l.], 2022. Disponível em: <https://www.parallax.com/package/plx-daq/>.

PEDROSA, Fabíola *et al.* Ciência e Tecnologia de Alimentos Padrões de identidade e qualidade de fermentados. **Ciencia e Tecnologia de Alimentos**, [s. l.], v. 30, n. 1003370, p. 119–126, 2009.

PEDROSO, Paula Regina Ferraz. Produção De Vinagre De Maçã Em Biorreator Airlift. [s. l.], 2003.

PESSETTE, Joasiane Regina ;; RAMOS, Rute de. **Projeto de Fabricacao de Vinagre**. [S. l.: s. n.], 2016.

REIS, Luciana; SOUTO, Fontinelle. Utilização do amido da casca de mandioca na produção de vinagre: características físico- químicas e funcionais. [s. l.], 2011.

REZENDE, Rosa Fukumi Michita; RODRIGUES, Tábita Veiga Dias. **Caracterização do mel e hidromel produzido visando a produção de vinagre de mel**. Bagé: [s. n.], 2015.

RIZZON, Luiz Antenor; MENEGUZZO, Júlio. **Elaboração de Vinagre**. [S. l.: s. n.], 2002. Disponível em: [https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Doc36\\_000fqzj72ov02wyiv80084arl8no17pt.pdf](https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Doc36_000fqzj72ov02wyiv80084arl8no17pt.pdf).

SANTOS, Laira Sabrina Rosa *et al.* Determinação De Açúcares Redutores, Açúcares Solúveis Totais E Sacarose Em Vinhaças Da Cana-De-Açúcar. [s. l.], p. 170–177, 2021.

SANTOS, Gabriela Lima dos; GEMMER, Ruan Ezequiel; OLIVEIRA, Eniz Conceição. Análise De Açúcares Totais , Redutores E Não- Titulométrico De Eynon-Lane. **Revista Destaques Acadêmicos**, [s. l.], v. 8, n. 4, p. 186–197, 2016.

SCHMOELLER, Rafaela Kropczak; BALBI, Maria Eugenia. Caracterização E Controle De Qualidade De Vinagres Comercializados Na Região Metropolitana De Curitiba/Pr. **Visão Acadêmica**, [s. l.], v. 11, n. 2, p. 80–92, 2010.

SPINOSA, Wilma Aparecida *et al.* Machine Translated by Google Arroz vinagre ( *Oryza sativa* L .) produzido por processo de fermentação submersa de arroz fermentado alcoólico Machine Translated by Google. [s. l.], v. 35, n. 1, p. 196–201, 2015.

SUMAN, Priscila Aparecida. PROCESSO DE OBTENÇÃO DE VINAGRE DE GENGIBRE. [s. l.], p. 97, 2012.

TAKEMOTO, S. Y. Avaliação do Teor de Acetoína Em Vinagres como Forma de Verificação de Sua Genuinidade. [s. l.], p. 137, 2003.

VENTURINI FILHO, Waldemar G.; CEREDA, Marney P. HIDROLISADO DE FÉCULA DE MANDIOCA COMO ADJUNTO DE MALTE NA FABRICAÇÃO DE CERVEJA: AVALIAÇÃO QUÍMICA E SENSORIAL. **Food Science and Technology**, [s. l.], v. 18, n. 2, p. 156–161, 1998. Disponível em:

<http://www.scielo.br/j/cta/a/Y5qTPSKFNVFbBs4SvXWjtYs/?lang=pt>. Acesso em: 13 jun. 2022.

VIANA, Roberta Oliveira. Elaboração de vinagre de maçã (*Malus spp.*) empregando os grãos de kefir como inóculo. [s. l.], p. 106, 2015.

ZARDINI, F.A. **Construção e Operação de um Gerador de Vinagre**. [S. l.: s. n.], 2000.

ZOCHE, Enio Paulo; FIGUEREDO, Odacir De. Produção de vinagre de jabuticaba. [s. l.], 2014.