



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE CEILÂNDIA  
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS EM SAÚDE

MARTA OLIVEIRA DE ARAÚJO

**Produção de aguardentes e cervejas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e de  
batata-doce (*Ipomoea batatas*)**

**BRASÍLIA – DF  
2024**

MARTA OLIVEIRA DE ARAÚJO

**Produção de aguardentes e cervejas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e de  
batata-doce (*Ipomoea batatas*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Profa. Dra. Daniela Castilho Orsi

**BRASÍLIA – DF**

**2024**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente, com os dados  
fornecidos pelo(a) autor(a)

Araújo, Marta Oliveira

AA663p      Produção de aguardentes e cervejas de mandioca (*Manihot  
esculenta* Crantz) e de batata-doce (*Ipomoea batatas*) / Marta  
Oliveira de Araújo; orientador Daniela Castilho Orsi. --

80 p.

Dissertação (Mestrado - Mestrado em Ciências e  
Tecnologias em Saúde) -- Universidade de Brasília, 2024.

1. Amilases. 2. Fermentação alcoólica. 3. Compostos  
fenólicos. 4. Atividade antioxidante. 5. DPPH e ABTS.  
I. Orsi, Daniela Castilho, orient. II. Título.

MARTA OLIVEIRA DE ARAÚJO

**Produção de aguardentes e cervejas de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e de batata-doce (*Ipomoea batatas*)**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde, da Universidade de Brasília, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre.

Brasília, 16 de julho de 2024.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dra. Daniela Castilho Orsi  
Universidade de Brasília

---

Prof. Dra. Cainara Lins Draeger  
Faculdade LS

---

Prof. Dra. Vania Silva Carvalho  
Instituto Federal Goiano

Aos meus pais, por serem minha base e por acreditarem em mim. Sem o apoio de vocês, meus sonhos e conquistas não teriam sido possíveis.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria, primeiramente, de expressar minha profunda gratidão a Deus, cuja presença e cuidado têm sido constantes em minha vida. Aos meus pais, Antônio e Sandra, devo tudo. Seu amor incondicional, apoio inabalável e encorajamento foram fundamentais para minha jornada acadêmica. Suas palavras de estímulo sempre me impulsionaram a alcançar meus objetivos.

Às minhas irmãs, Isabel e Júlia, sou imensamente grata por estarem sempre ao meu lado, oferecendo apoio incondicional, ajuda e alegria nos momentos mais desafiadores. Vocês são fontes de inspiração em minha vida.

Ao meu querido Rafael, meu eterno companheiro, sou profundamente grata pelo seu amor incondicional e apoio. Sua compreensão e paciência foram fundamentais para enfrentar os desafios do mestrado. Obrigada por acreditar em mim e sempre me motivar.

À Dra. Renata, minha médica, agradeço pelos cuidados dedicados ao longo de onze anos, sempre preocupada com meu bem-estar, inclusive durante os períodos de estudo intenso, sempre perguntando se estava tudo bem e pedindo para eu não surtar.

Agradeço também à minha orientadora, Daniela Orsi, expresse minha sincera gratidão por seu acolhimento, orientação e ensinamentos preciosos. Admiro profundamente sua paixão pelo ensino e pela ciência. Suas contribuições foram cruciais para o desenvolvimento deste trabalho.

A todas as pessoas do laboratório, agradeço pela amizade, troca de conhecimentos e pelos momentos alegres compartilhados. Dedico este trabalho à minha própria jornada de crescimento e aprendizado. Cada desafio superado, cada lição aprendida e cada conquista alcançada contribuíram para minha evolução como estudante e pesquisadora. Que este trabalho seja um testemunho do meu compromisso com a excelência acadêmica e a busca contínua pelo conhecimento.

Por fim, expresse minha gratidão à Universidade de Brasília pelo ensino de qualidade ao longo da graduação e pela oportunidade de continuar minha formação na Pós-Graduação em Ciências e Tecnologias em Saúde.

*“A verdadeira viagem de descobrimento não  
consiste em procurar novas paisagens, mas em  
ter novos olhos”*

Marcel Proust

## RESUMO

A mandioca e a batata-doce são raízes tuberosas amiláceas amplamente consumidas em várias partes do mundo. Ambas são fontes de carboidratos e são valorizadas por sua versatilidade culinária e facilidade de cultivo. A produção de bebidas destiladas e cervejas a base desses tubérculos promove a sustentabilidade ao utilizar ingredientes cultivados regionalmente. A crescente popularidade do uso de ingredientes regionais está proporcionando uma plataforma para a inovação e a experimentação, impulsionando a diversificação do mercado de bebidas alcoólicas e celebrando a riqueza da biodiversidade alimentar. Esse trabalho teve como objetivo a produção de aguardentes e cervejas de mandioca e de batata-doce. Para a produção das aguardentes, utilizou-se amilases comerciais para a produção dos mostos, que foram submetidos à fermentação alcoólica. Após a fermentação, os destilados foram obtidos através de um processo de dupla destilação, com separação das frações cabeça, coração e cauda. A fração coração dos destilados foi analisada quanto aos teores de acidez volátil, aldeídos, ésteres e metanol. As cervejas foram compostas por 50% de mandioca ou batata-doce e 50% de malte. A mosturação ocorreu durante 40 min a 75°C sob agitação. A fermentação alcoólica ocorreu em temperatura ambiente durante 7 dias. Para a maturação, as cervejas foram armazenadas em um refrigerador a 5°C por 15 dias. As garrafas de cerveja foram lacradas e armazenadas à temperatura ambiente durante 15 dias para a formação de dióxido de carbono. Os resultados mostraram que as aguardentes de mandioca e batata-doce apresentaram baixa acidez (32,94-36,87 mg/100 mL), baixo valor de metanol (7,12-9,60 mg/100 mL) e teor alcoólico de 37,7-37,8%, estando, assim, de acordo com os parâmetros exigidos na legislação. As cervejas de mandioca e batata-doce apresentaram elevado teor de compostos fenólicos (111,25-196,97 mg/100 mL) e atividade antioxidante (0,99-1,30 Mmol·g<sup>-1</sup> TEAC para o método DPPH e 0,99-6,00 Mmol·g<sup>-1</sup> TEAC para o método ABTS), com teor alcoólico de 5,2-5,5°GL. Este estudo resultou na produção eficiente das aguardentes de mandioca e batata-doce em escala laboratorial, demonstrando um potencial significativo para a produção comercial destes destilados. As aguardentes têm o potencial de beneficiar os produtores rurais e impulsionar a economia local devido ao seu alto valor agregado, promovendo o desenvolvimento econômico e a diversificação da agricultura. Da mesma forma, as cervejas feitas com ingredientes como mandioca e batata-doce enaltecem o uso desses insumos e despertam o interesse dos consumidores, além de exibirem uma alta atividade antioxidante que pode trazer benefícios à saúde do consumidor.

**Palavras-chave:** Amilases, fermentação alcoólica, compostos fenólicos, atividade antioxidante, DPPH e ABTS.



## ABSTRACT

Cassava and sweet potato are starchy tuberous roots widely consumed in various parts of the world. Both are sources of carbohydrates and are valued for their culinary versatility and ease of cultivation. The production of distilled spirits and beers based on these tubers promotes sustainability by utilizing locally grown ingredients. The growing popularity of using regional ingredients is providing a platform for innovation and experimentation, driving diversification in the alcoholic beverage market, and celebrating the richness of food biodiversity. This work aimed at the production of cassava and sweet potato spirits and beers. To produce the spirits, commercial amylases were used to produce the worts, which were then subjected to alcoholic fermentation. After fermentation, the distillates were obtained through a double distillation process, with separation of the head, heart, and tail fractions. The heart fraction of the distillates was analyzed for volatile acidity, aldehydes, esters, and methanol content. The beers were composed of 50% cassava or sweet potato and 50% malt. Mashing occurred for 40 minutes at 75°C with agitation. The alcoholic fermentation process took place at room temperature for 7 days. For the maturation stage, the beers were stored in a refrigerator at 5°C for 15 days. Beer bottles were sealed and stored at room temperature for 15 days to allow carbon dioxide formation. The results showed that the cassava and sweet potato spirits had low acidity (32.94-36.87 mg/100 mL), low methanol content (7.12-9.60 mg/100 mL), and an alcohol content of 37.7-37.8%, thus meeting the parameters required by regulations. The cassava and sweet potato beers showed high levels of phenolic compounds (111.25-196.97 mg/100 mL) and antioxidant activity (0.99-1.30 Mmol·g<sup>-1</sup> TEAC for the DPPH method and 0.99-6.00 Mmol·g<sup>-1</sup> TEAC for the ABTS method), with an alcohol content of 5.2-5.5°GL. This study resulted in the efficient production of cassava and sweet potato spirits on a laboratory scale, demonstrating significant potential for the commercial production of these spirits. The spirits have the potential to benefit rural producers and boost the local economy due to their high added value, promoting economic development and agricultural diversification. Similarly, beers made with ingredients such as cassava and sweet potato showcase the utilization of these resources, arousing consumer interest, and demonstrating a high antioxidant activity that may confer health benefits to consumers.

**Keywords:** Amylases, alcoholic fermentation, phenolic compounds, antioxidant activity, DPPH and ABTS.

**RELAÇÃO DE FIGURAS**

|  |    |
|--|----|
| <b>Figura 1.</b> Raízes de mandioca.....   | 18 |
| <b>Figura 2.</b> Variedade de tonalidades na batata-doce, conforme a casca e a polpa. ....   | 19 |
| <b>Figura 3.</b> Estrutura química do amido .....  | 21 |
| <b>Figura 4.</b> Fluxograma do processo de hidrólise do amido .....  | 23 |
| <b>Figura 5.</b> Esquema básico de um destilador .....   | 26 |
| <b>Figura 6.</b> Transformação da glicose em etanol e dióxido de carbono. ....   | 28 |
| <b>Figura 7.</b> Raízes de mandioca e de batata doce utilizadas na produção das aguardentes e aspecto das massas obtidas após cozimento e trituração das matérias primas ..... | 42 |
| <b>Figura 8.</b> Amiloglucosidase de <i>Aspergillus niger</i> e $\alpha$ -amilase de <i>Bacillus cereus</i> .....  | 43 |
| <b>Figura 9.</b> Fermentação alcoólica dos mostos de mandioca e de batata-doce .....   | 43 |
| <b>Figura 10.</b> Destilação dos fermentados alcoólicos de (a) mandioca e de (b) batata-doce.....  | 44 |
| <b>Figura 11.</b> Aguardentes de mandioca e de batata-doce .....   | 44 |
| <b>Figura 12.</b> Lúpulo, levedura, malte de cevada e raízes de batata-doce utilizados na produção da cerveja de batata-doce.....  | 46 |
| <b>Figura 13.</b> Lúpulo, levedura, malte de cevada e raízes de mandioca utilizadas na produção da cerveja de mandioca .....   | 47 |
| <b>Figura 14.</b> Etapa de mosturação para elaboração dos mostos cervejeiros.....  | 48 |
| <b>Figura 15.</b> Hidratação da levedura seca no mosto cervejeiro e fermentação alcoólica dos mostos cervejeiros.....  | 49 |
| <b>Figura 16.</b> Cervejas de mandioca e batata-doce engarrafadas.....   | 50 |
| <b>Figura 17.</b> Aspecto das cervejas de mandioca e batata-doce.....  | 63 |

**RELAÇÃO DE TABELAS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Tabela 1.</b> Fixação dos padrões de identidade e qualidade para a Tiquira e a aguardente de vegetal.....                    | 29 |
| <b>Tabela 2.</b> Rendimento dos mostos, fermentados alcoólicos e aguardentes de mandioca e de batata-doce.....                  | 53 |
| <b>Tabela 3.</b> Análises físico-químicas das massas, dos mostos e dos fermentados alcoólicos de mandioca e de batata-doce..... | 55 |
| <b>Tabela 4.</b> Análises cromatográficas das frações coração das aguardentes de mandioca e de batata-doce.....                 | 57 |
| <b>Tabela 5.</b> Análises físico-químicas dos mostos e das cervejas de mandioca e de batata-doce.....                           | 60 |

**RELAÇÃO DE QUADROS**

|   |    |
|---|----|
| <b>Quadro 1.</b> Características físico-químicas das frações cabeça, coração e cauda..... | 27 |
|---|----|

**RELAÇÃO DE ANEXOS**

|   |    |
|---|----|
| <b>ANEXO 1.</b> CURVA PADRÃO ADNS.....                                    | 75 |
| <b>ANEXO 2.</b> CURVA PADRÃO FENÓLICOS.....                               | 76 |
| <b>ANEXO 3.</b> CURVA PADRÃO DPPH.....                                    | 77 |
| <b>ANEXO 4.</b> CURVA PADRÃO ABTS.....                                    | 78 |
| <b>ANEXO 5.</b> FORMULAÇÃO DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E BATATA-DOCE..... | 79 |
| <b>ANEXO 6.</b> FORMULAÇÃO DAS CERVEJAS DE MANDIOCA E BATATA-DOCE....     | 80 |

**RELAÇÃO DAS SIGLAS E ABREVIATURAS**

|                 |  |
|-----------------|--|
| $\alpha$        | Alfa   |
| $\beta$         | Beta   |
| $\mu\text{L}$   | Microlitros  |
| $\mu\text{mol}$ | Micromol   |
| $\mu\text{M}$   | Micromolar   |
| a.C.            | Antes de Cristo  |
| Abs             | Absorbância  |
| ABTS            | 2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico            |
| aw              | Atividade de água  |
| $\text{CO}_2$   | Gás carbônico  |
| CONAB           | Companhia Nacional de Abastecimento                              |
| DPPH            | 2,2-difenil-1-picrilhidrazila                                    |
| EMBRAPA         | Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária                      |
| ESALQ           | Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz                   |
| FAOSTAT         | Food and Agriculture Organization Corporate Statistical Database |
| g               | Grama  |
| GAE             | Ácido gálico   |
| IBGE            | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística                  |
| k               | Quilo  |
| L               | Litro  |
| M               | Molar  |
| MAPA            | Ministério da Agricultura, Pecuária e do Abastecimento           |
| mEq             | Miliequivalente  |
| mg              | Miligrama  |
| min             | Minutos  |
| mL              | Mililitro  |
| NaOH            | Hidróxido de sódio   |
| nM              | Nanomolar  |
| nm              | Nanômetro  |
| °Brix           | Índice refratométrico  |
| °C              | Graus Celsius  |

|           |   |
|-----------|---|
| °GL       | Grau Gay-Lussac   |
| p.        | Página  |
| ppm       | Parte por milhão  |
| p         | Peso  |
| pH        | Potencial hidrogeniônico                                |
| SINDICERV | Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja              |
| SST       | Sólidos Solúveis Totais                                 |
| Trolox    | 6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico |
| UV-Vis    | Ultravioleta-visível                                    |
| v         | Volume  |

## SUMÁRIO

|              |   |    |
|--------------|---|----|
| <b>1</b>     | <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....  | 18 |
| 1.1          | A MANDIOCA.....   | 18 |
| 1.2          | A BATATA-DOCE.....  | 19 |
| 1.3          | PRODUÇÃO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS A PARTIR DE SUBSTRATOS À BASE DE AMIDO .....   | 20 |
| 1.4          | AGUARDENTES DE MANDIOCA E DE BATATA DOCE.....   | 24 |
| 1.5          | DESTILAÇÃO .....  | 26 |
| 1.6          | ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO DESTILADO E PARÂMETROS ESTABELECIDOS NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA .....   | 28 |
| 1.7          | CERVEJAS DE MANDIOCA E DE BATATA DOCE.....  | 33 |
| 1.8          | PRODUÇÃO DE CERVEJA NO BRASIL .....   | 34 |
| 1.9          | CONSTITUINTES DAS CERVEJAS .....  | 35 |
| 1.10         | PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA .....  | 37 |
| 1.11         | COMPOSTOS FENÓLICOS PRESENTES NA CERVEJA E SUA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE.....   | 39 |
| <b>2</b>     | <b>OBJETIVOS</b> .....  | 41 |
| 2.2          | OBJETIVO GERAL.....   | 41 |
| 2.3          | OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....   | 41 |
| <b>3</b>     | <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....  | 42 |
| 3.1          | PRODUÇÃO DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E DE BATATA-DOCE ....  | 42 |
| <b>3.1.1</b> | <b>Preparo das matérias primas para a produção das aguardentes de mandioca e de batata-doce</b> .....                                   | 42 |
| <b>3.1.2</b> | <b>Processo de hidrólise (liquefação e sacarificação) do amido das matérias primas com uso de amilases purificadas</b> .....            | 43 |
| <b>3.1.3</b> | <b>Fermentação alcoólica e destilação das aguardentes</b> .....   | 43 |
| <b>3.1.4</b> | <b>Análises físico-químicas das massas, dos mostos, dos fermentados alcoólicos e das aguardentes de mandioca e de batata-doce</b> ..... | 45 |
| 3.2          | PRODUÇÃO DAS CERVEJAS DE BATATA-DOCE E DE MANDIOCA.....   | 46 |
| <b>3.2.2</b> | <b>Matérias-primas utilizadas na produção das cervejas de batata-doce e de mandioca</b> .....   | 46 |
| <b>3.2.3</b> | <b>Elaboração dos mostos cervejeiros de mandioca e de batata-doce</b> .....   | 48 |
| <b>3.2.4</b> | <b>Fermentação alcoólica e maturação das cervejas de mandioca e de batata-doce</b> .....  | 48 |
| <b>3.2.5</b> | <b>Carbonatação e engarrafamento</b> .....  | 49 |



|   |    |
|---|----|
| <b>3.2.6 Análises físico-químicas dos mostos e das cervejas de batata-doce e de mandioca</b> .....            | 50 |
| 3.2.6.1 <i>Determinação do pH e do teor de sólidos solúveis totais (SST)</i> .....                            | 50 |
| 3.2.6.2 <i>Determinação do grau alcoólico</i> .....   | 50 |
| 3.2.6.3 <i>Determinação de açúcares redutores</i> .....   | 50 |
| 3.2.6.4 <i>Determinação de compostos fenólicos</i> .....  | 51 |
| 3.2.6.5 <i>Determinação da atividade antioxidante (DPPH e ABTS)</i> .....                                     | 51 |
| 3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS .....   | 52 |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....   | 53 |
| 4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS MOSTOS, DOS FERMENTADOS E DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E DE BATATA-DOCE ..... | 53 |
| 4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS MOSTOS E DAS CERVEJAS DE MANDIOCA E DE BATATA-DOCE.....                      | 60 |
| <b>5 CONCLUSÃO</b> .....  | 64 |
| <b>REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....   | 65 |
| <b>ANEXOS</b> .....   | 75 |
| <b>ANEXO 1. CURVA PADRÃO DE GLICOSE (ADNS)</b> .....  | 75 |
| <b>ANEXO 2. CURVA PADRÃO DE ÁCIDO GÁLICO (COMPOSTOS FENÓLICOS)</b> .....                                      | 76 |
| <b>ANEXO 3. CURVA PADRÃO DE TROLOX (DPPH)</b> .....   | 77 |
| <b>ANEXO 4. CURVA PADRÃO DE TROLOX (ABTS)</b> .....   | 78 |
| <b>ANEXO 5. FORMULAÇÃO DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E BATATA-DOCE</b> .....                                    | 79 |
| <b>ANEXO 6. FORMULAÇÃO DAS CERVEJAS DE MANDIOCA E BATATA-DOCE</b> .....                                       | 80 |

## 1 REVISÃO DE LITERATURA

### 1.1 A MANDIOCA

A mandioca é uma planta que pertence à ordem *Malpighiales*, família *Euphorbiaceae*, gênero *Manihot* e espécie *Manihot esculenta* Crantz, sendo uma raiz tuberosa (Figura 1) que se destaca como uma cultura de importância global, alimentando uma parcela significativa da população mundial. Essa raiz é originária da América do Sul (região tropical amazônica) e espalhou-se para a África e a Ásia através dos colonizadores portugueses e espanhóis (Schwan *et al.*, 2016, p. 27; Sousa *et al.*, 2020, p. 32).

**Figura 1.** Raízes de mandioca.



Fonte: Embrapa, 2022a.

A produção de mandioca no mundo envolve mais de 80 países, e o Brasil contribui com mais de 15% da produção mundial (Schwan *et al.*, 2016, p. 27). A Nigéria lidera como maior produtor mundial, com 57,13 milhões de toneladas, seguida pela Tailândia e Indonésia (Sousa *et al.*, 2020, p. 32). O Brasil ocupa a 4ª posição global e produziu 18,96 milhões de toneladas de raízes de mandioca em 2023 (CONAB, 2023).

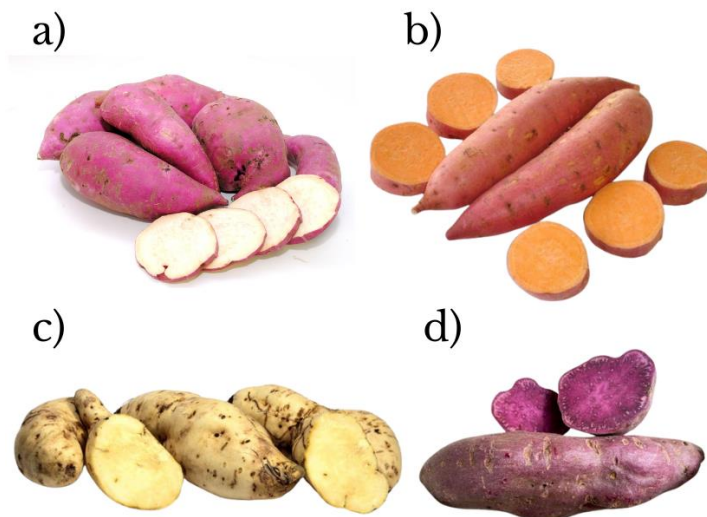
A mandioca é uma planta que cresce em regiões tropicais, atingindo até três metros de altura. A capacidade de adaptação a diferentes condições climáticas permite seu cultivo em todos os estados brasileiros, inclusive em solos menos férteis e sob condições de seca. No Brasil a mandioca destaca-se como uma cultura agrícola de grande importância, especialmente na agricultura familiar do Nordeste, principalmente o Maranhão, sendo uma das primeiras culturas do Brasil, tendo relevância histórica, econômica e social (Sena *et al.*, 2017, p. 338-339).

A mandioca é vantajosa devido ao aproveitamento integral da planta, incluindo folhas, caules e raízes. Nutricionalmente, a mandioca destaca-se pelo alto teor de amido (cerca de 65-80% da composição em base seca), sendo considerada um alimento básico na dieta humana, assim como, arroz, batata, milho e trigo. Além de seu papel na alimentação humana e animal, ela é utilizada como matéria-prima em diversos produtos industriais (farinha, polvilho, amido, entre outros) (Ayetigbo *et al.*, 2018, p. 4; Drapal *et al.*, 2019a, p. 986; Mohidin *et al.*, 2023, p. 2).

## 1.2 A BATATA-DOCE

A batata-doce pertence a ordem *Solanales*, família *Convolvulaceae*, gênero *Ipomoea* e espécie *Ipomoea batatas* Lam e é uma planta herbácea tropical cultivada em todo o mundo. Essa raiz é originária das Américas Central e do Sul e tem uma relevância social significativa devido à sua qualidade como alimento rico em energia e carboidratos complexos. Além disso, destaca-se pela versatilidade, apresentando cultivares de diversas cores de polpa (Figura 2) (Galvão *et al.*, 2021, p. 1).

**Figura 2.** Variedade de tonalidades na batata-doce, conforme a casca e a polpa.



Legenda: Batata-doce de polpa **a)** branca; **b)** laranja; **c)** creme; **d)** roxa.  
 Fonte: Embrapa, 2022b adaptada.

A China destaca-se como o principal produtor mundial de batata-doce, contribuindo com 53,01 milhões de toneladas anualmente, o que representa mais de 58% da produção global estimada em 91,95 milhões de toneladas (FAOSTAT, 2020). O Brasil ocupa a 16ª posição entre

os maiores produtores de batata-doce, registrando 805,4 mil toneladas, estabelecendo-se como o principal produtor na América Latina (IBGE, 2020).

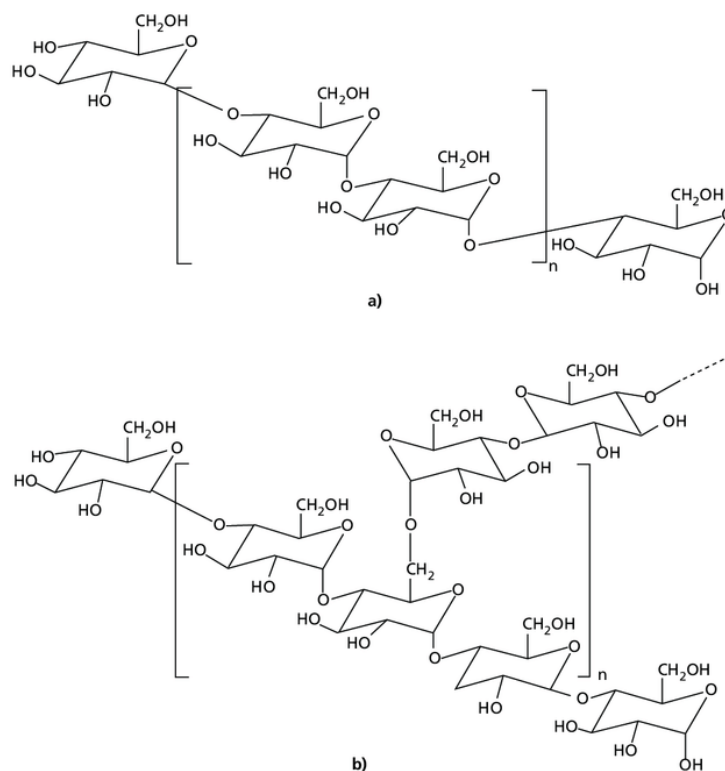
A batata-doce é uma raiz conhecida por sua rusticidade, facilidade de cultivo e adaptabilidade a diferentes climas e solos, incluindo tolerância à seca e a capacidade de prosperar em solos pouco férteis, tendo baixo custo de produção. O ciclo de crescimento varia de 12 a 35 semanas, dependendo das condições ambientais e variedades utilizadas (Embrapa, 2021a, p. 2).

No Brasil, a batata-doce ocupa a quarta posição entre as hortaliças mais consumidas, destacando-se pela abundância em carboidratos (principalmente amido), com teores variando entre 15 e 26% de amido e 5 e 8% de açúcares redutores em base úmida. A concentração de amido na planta chega a representar até 80% da massa seca (Bach *et al.*, 2021, p. 3; Drapal *et al.*, 2019b, p. 2). Além de ser usada para alimentação humana, também serve como fonte de amido para a indústria alimentícia (Galvão *et al.*, 2021, p. 1; Pereira *et al.*, 2021, p. 87076).

A batata-doce é rica em compostos bioativos como antocianinas (batata-doce de polpa roxa) e  $\beta$ -caroteno (precursor da vitamina A) (batata doce de polpas amarela e laranja). Além disso, contém compostos fenólicos e antioxidantes com boa biodisponibilidade e que podem contribuir para prevenção de doenças crônicas e cardiovasculares (Alam, 2021, p. 513; Pereira *et al.*, 2021, p. 87076).

### 1.3 PRODUÇÃO DE BEBIDAS ALCOÓLICAS A PARTIR DE SUBSTRATOS À BASE DE AMIDO

O amido representa a principal reserva energética no reino vegetal e é a principal fonte de carboidratos para a alimentação humana. Ele é amplamente empregado na indústria alimentícia e, em menor escala, nas indústrias farmacêutica e têxtil. Os grânulos de amido são constituídos por dois polissacarídeos, amilose e amilopectina (Figura 3), ambos formados por unidades constitucionais repetitivas de  $\alpha$ -D-glicose. A amilose é uma molécula linear formada por unidades de D-glicose conectadas por ligação  $\alpha$ -1,4, enquanto a amilopectina é um polissacarídeo ramificado contendo unidades de D-glicose conectadas por ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 (Cereda, Brito, 2016, p. 473; Embrapa, 2021a).

**Figura 3.** Estrutura química do amido

Legenda: a) Amilose; b) Amilopectina.

Fonte: Cereda, Brito (2016).

Para a produção de bebidas alcoólicas a partir de substratos à base de amido, é necessário o processo de liquefação e sacarificação do amido, gerando maltose, glicose e outros açúcares fermentescíveis, que podem ser transformados em etanol durante o metabolismo de *Saccharomyces cerevisiae*. Diferentes amilases ( $\alpha$ -amilase,  $\beta$ -amilase e glucoamilase) podem ser usadas para obter açúcares fermentescíveis a partir do amido para produzir bebidas alcoólicas (Cereda, Brito, 2016, p. 473). A necessidade de transformação de amido em açúcares simples decorre do fato de que as leveduras de fermentação alcoólica como *Saccharomyces cerevisiae* não possuem enzimas amilolíticas (Souza *et al.*, 2016, p. 37).

A levedura *Saccharomyces cerevisiae* tem importância econômica nos processos biotecnológicos que abrangem áreas como panificação, produção de cerveja, vinho, outras bebidas alcoólicas e na produção de combustíveis renováveis como o bioetanol (Abreu *et al.*, 2015, p. 57). As leveduras do gênero *Saccharomyces* são classificadas como aeróbias facultativas, adaptando-se metabolicamente tanto a condições aeróbias quanto anaeróbias (ausência de oxigênio molecular) (Lima, 2019, p. 31). *Saccharomyces cerevisiae* é a espécie de levedura mais utilizada em fermentações alcoólicas devido à sua tolerância ao estresse osmótico, ácido e alcóolico, à ausência de produção de substâncias nocivas, e à capacidade de

controle do crescimento populacional em condições industriais (Bastos, 2013, p. 34; Fonseca *et al.*, 2020, p. 46178).

Existem dois grupos principais de amilases: as endoamilases ( $\alpha$ -amilase) e as exoamilases ( $\beta$ -amilase e amiloglucosidase). As endoamilases promovem a hidrólise dentro da molécula de amido em vários pontos da cadeia simultaneamente. Por outro lado, as exoamilases atuam na hidrólise das ligações glicosídicas a partir da extremidade não-redutora, sem penetrar na estrutura helicoidal interna da amilose e amilopectina (Onofre *et al.*, 2016, p. 1512; Torres *et al.*, 2012, p. 1328).

A  $\alpha$ -amilase (EC 3.2.1.1) é uma endoenzima de origem bacteriana ou fúngica, que quebra as ligações  $\alpha$ -1,4 dentro do amido. Essa enzima catalisa a quebra aleatória e simultânea das ligações  $\alpha$ -1,4, sem afetar as ligações  $\alpha$ -1,6. Como resultado dessa quebra, ocorre a produção de oligossacarídeos com diferentes pesos moleculares e dextrinas, juntamente com pequenas quantidades de D-glicose (Parazzi *et al.*, 2017, p. 16).

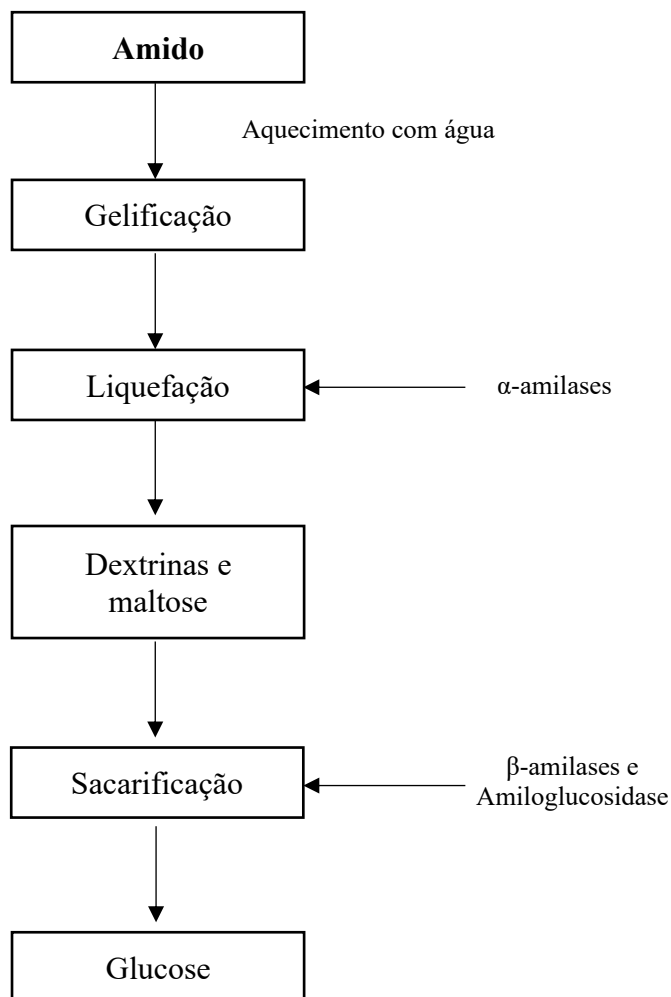
A  $\beta$ -amilase (EC 3.2.1.2) é uma exoenzima que possui a capacidade de hidrolisar ligações  $\alpha$ -1,4 das extremidades das moléculas de amido em direção ao centro, resultando na produção de carboidratos como glicose, maltose e maltotriose. Uma possível fonte de  $\beta$ -amilase é o malte de cevada. A atividade da  $\beta$ -amilase do malte é otimizada em uma faixa de temperatura entre 58-68°C, com temperatura ideal sendo em 63°C (Gomes, 2023, p. 86; Muzzolon *et al.*, 2021, p. 218).

A amiloglucosidase, também chamada de glucoamilase (EC 3.2.1.3), é uma exoenzima que libera unidades de glicose a partir da extremidade não redutora da amilose, da amilopectina e do glicogênio. Utilizada como enzima sacarificante, essa enzima pode atuar simultaneamente na hidrólise de ligações  $\alpha$ -1,4 e  $\alpha$ -1,6 do amido. Seu processo de ação inicial é mais lento, pois, sendo uma exoenzima, não penetra a estrutura do amido. As amiloglucosidases disponíveis comercialmente são produzidas por fungos e apresentam atividade ótima em torno de 50°C, mas perdem estabilidade acima dessa faixa de temperatura e são inativadas a temperaturas superiores a 65°C (Parazzi *et al.*, 2017, p. 16; Torres *et al.*, 2012, p. 1328).

A hidrólise enzimática do amido é realizada através das seguintes etapas: gelatinização ou gelificação, liquefação e sacarificação (Figura 4). Estas etapas têm como objetivo converter o amido em açúcares fermentescíveis. O processo de gelificação envolve a modificação das estruturas dos grânulos de amido para formar uma substância semelhante a goma, através do aquecimento do amido em presença de água com temperaturas superiores a 60°C. Esse aquecimento provoca o inchamento dos grânulos, resultando na solubilização gradual da

amilose e amilopectina, o que leva à perda progressiva da integridade granular e à formação de uma pasta viscosa (Bastos, 2013, p. 22).

**Figura 4.** Fluxograma do processo de hidrólise do amido



Fonte: Autor.

Após a gelatinização do amido, segue-se para a fase de liquefação. Durante essa etapa, o material gomificado é gradualmente aquecido e sofre hidrólise parcial e irreversível com a ajuda de uma  $\alpha$ -amilase. A temperatura é aumentada de forma progressiva até atingir um ponto adequado, onde é mantida por um período para permitir a liquefação. A temperatura final de aquecimento e o tempo são fatores importantes no rendimento da operação e na qualidade do produto, levando em consideração a presença de enzimas termossensíveis ou termoresistentes (Lima, 2019, p. 80; Torres *et al.*, 2012, p. 1328). As enzimas  $\alpha$ -amilases bacterianas provenientes de *Bacillus licheniformis* e *Bacillus cereus* apresentam sua máxima eficácia em um pH situado entre 6,0 e 8,0 e a temperatura ótima varia de 90 a 105°C (Sena *et al.*, 2017, p. 341).

A sacarificação representa o processo hidrolítico de materiais amiláceos que converte uma complexa molécula de carboidrato em açúcares simples como glicose e maltose. Na via enzimática, pode ser feito por enzimas amilolíticas provenientes do malte ( $\beta$ -amilase) ou de microrganismos fúngicos (amiloglucosidase). Geralmente, as enzimas sacarificantes como as amiloglucosidases fúngicas de *Aspergillus oryzae* ou *Aspergillus niger* atuam na hidrólise do amido liquefeito, apresentando sua máxima eficiência em um pH situado entre 4,0 e 4,5, e a temperatura ótima varia de 60 a 70°C (Bastos, 2013, p. 22; Lima, 2019, p. 74-75; Sena *et al.*, 2017, p. 341).

#### 1.4 AGUARDENTES DE MANDIOCA E DE BATATA DOCE

Bebidas alcoólicas oriundas de matérias-primas amiláceas são preparadas na América do Sul desde os tempos pré-colombianos. Os ameríndios preparavam diversas bebidas a partir de produtos amiláceos como milho e mandioca (Cereda, Brito, 2016, p. 470). A Tiquira é um destilado artesanal de mandioca de origem indígena (Ferreira *et al.*, 2023, p. 2). A Tiquira encontra-se dentro da legislação brasileira como uma aguardente, com graduação alcoólica de 36 a 54% em volume, obtida de destilado alcoólico simples de mandioca ou pela destilação de seu mosto fermentado (Brasil, 2011a). No estado do Maranhão, a Tiquira ganhou reconhecimento e se tornou amplamente apreciada, sendo esse estado o seu principal produtor. A fabricação de Tiquira ainda continua sendo artesanal, e sua venda ocorre no mercado informal, não havendo dados de produção ou registro de produtores no Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). No método tradicional de fabricação de Tiquira, a sacarificação do amido da mandioca é realizada por fungos e bactérias autóctones que produzem enzimas amilolíticas que hidrolisam o amido, gerando açúcares para as leveduras fermentarem a etanol (Cereda, Brito, 2016, p. 470).

No método artesanal de obtenção da Tiquira, o preparo é iniciado pela lavagem e descascagem das raízes, que logo são raladas para facilitar a liberação de grânulos de amido. A massa é homogeneizada e prensada para evitar o escurecimento. Em seguida, a massa é esfarelada e distribuída em chapas metálicas aquecidas à lenha para obtenção dos beijus de 30 cm de diâmetro e de 3 a 4 cm de espessura que são guardados na sombra em local quente e úmido em cochos cobertos com água, forrados com folhas de bananeira ou de palmeiras, onde ficam até que ocorra o “emboloramento” por microrganismos nativos, necessário para a sacarificação do amido. Logo depois, os beijus são macerados e colocados no cocho e completados com água para fermentar em um período médio de quatro a seis dias e só então, o mosto fermentado é coado para a separação dos sólidos insolúveis. Por último, ocorre a



destilação, processo artesanal, onde o líquido fermentado é acondicionado em alambique de cobre no qual acontece o aquecimento direto que deve ser controlado para evitar a formação de produtos pirogênicos (Bastos, 2013, p. 38; Cereda; Brito, 2016, p. 476; Lima *et al.*, 2022, p. 8; Oliveira *et al.*, 2020<sup>a</sup>, p. 3).

A Tiquira está desaparecendo no Maranhão, sem condições de competir com os preços mais baixos da aguardente de cana-de-açúcar. A falta de competitividade é atribuída ao seu processo artesanal, que eleva os custos de produção devido à baixa produtividade. A Tiquira tem baixa representação no mercado devido à qualidade duvidosa, como condições inadequadas em termos de higiene, em que alguns alambiques trabalham; o fato da flora microbiana utilizada nas etapas de sacarificação e fermentação ser colhida ao acaso, ou seja, diversas linhagens selvagens competindo no processo, com implicações importantes na composição e qualidade do destilado, tempo e rendimento da produção; variação nos teores de compostos secundários. Estes compostos secundários, como álcoois superiores, aldeídos, ésteres e ácidos voláteis, derivam do processo de fermentação do mosto, influenciando a qualidade, o aroma e o sabor dos destilados (Cereda, Brito, 2016, p. 470; Ferreira *et al.*, 2023, p. 2; Ribeiro *et al.*, 2019, p. 1951).

Assim, a Tiquira pode ser obtida tanto por métodos artesanais quanto por métodos modernos. No método moderno os fungos e as bactérias autóctones são substituídos por enzimas comerciais no processo de hidrólise do amido da mandioca. É esperado que através da aplicação de tecnologia de fermentação, as práticas de fabricação sejam bastante criteriosas e resultem na obtenção de uma tiquira padronizada e de qualidade (Bastos, 2013, p. 13; Cereda, Brito, 2016, p. 475).

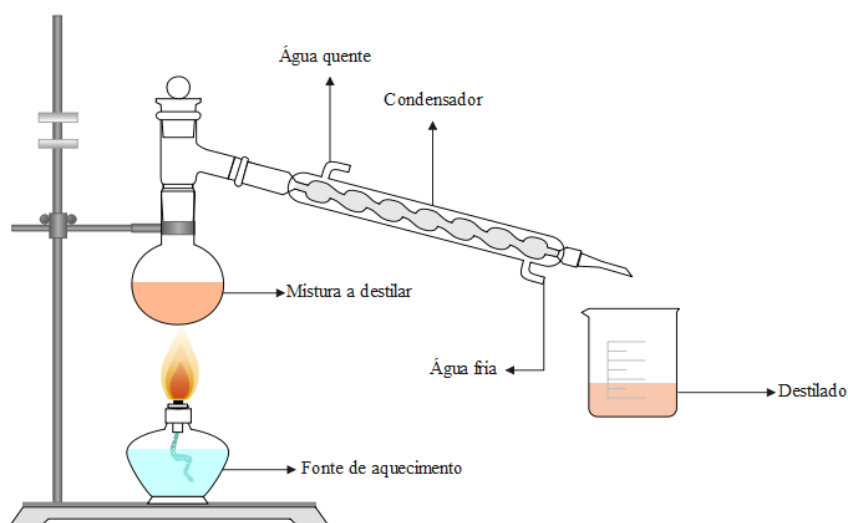
O Shochu é uma bebida alcoólica destilada japonesa, normalmente elaborada a partir da batata-doce ou arroz e possui 20-40% álcool em volume. Para a produção do Shochu, a batata-doce fresca é cozida no vapor e depois triturada. Para o processo de hidrólise enzimática do amido da batata doce utiliza-se o Koji, que é uma massa de arroz cozido contendo fungos *Aspergillus oryzae* já crescidos e que excretaram enzimas amilolíticas durante o seu crescimento. Assim a massa de batata-doce cozida é adicionada ao Koji na proporção de 4:1 formando o mosto. Durante a fermentação do mosto, simultaneamente ocorre a conversão de amido em açúcares pelas enzimas do Koji e a conversão dos açúcares em álcool pela levedura *S. cerevisiae*. A concentração final de álcool do fermentado alcoólico é de 13–15%. O fermentado alcoólico é então bombeado para o alambique e o álcool é destilado. Diferentes lotes de Shochu podem ser misturados e o teor de álcool é ajustado para 20–40% (v/v) antes do engarrafamento (El Sheikha; Ray, 2017, p. 15)

A legislação brasileira define o Sochu (Shochu) como a bebida destilada com graduação alcoólica de 15-35% em volume, obtida da destilação do mosto fermentado de arroz, não considerando a matéria-prima batata-doce. Assim, nesse estudo optou-se por tratar a aguardente de batata-doce como uma aguardente de vegetal, que de acordo com a legislação brasileira, é a bebida com graduação alcoólica de 38-54% em volume, obtida do destilado alcoólico de vegetal ou pela destilação do mosto fermentado de vegetal (Brasil, 2011a).

## 1.5 DESTILAÇÃO

A destilação é um procedimento no qual ocorre a separação das substâncias voláteis das não voláteis ou fixas com base nas temperaturas de ebulição e mudança de fase dos componentes (Pereira *et al.*, 2021, p. 87077). Na destilação, um líquido é vaporizado, transformado em vapor, recondensado, retornando ao estado líquido, e finalmente coletado em um recipiente (Figura 5) (Spaho, 2017, p. 131).

**Figura 5.** Esquema básico de um destilador



Fonte: Autor.

Na destilação ao aquecer a mistura a temperatura específica e condensar os vapores resultantes, ocorre a separação dos componentes. O vapor acima da mistura em ebulição torna-se mais concentrado em componentes mais voláteis, enquanto a mistura em ebulição em si se enriquece em componentes menos voláteis (Spaho, 2017, p. 131).

No início do processo de destilação, ocorre a saída de um volume significativo de etanol do alambique, acompanhado por compostos altamente voláteis. À medida que o tempo avança, a quantidade de álcool diminui, enquanto os compostos menos voláteis se tornam mais

proeminentes. Consequentemente, o destilado é subdividido em três cortes ou frações distintas: a cabeça, o coração e a cauda (Quadro 1) (Spaho, 2017, p. 133).

**Quadro 1.** Características físico-químicas das frações cabeça, coração e cauda da aguardente

| Principais compostos separados em cada fração   | Características físico-químicas durante a destilação  |
|---|---|
| <b>Fração Cabeça (10% do volume inicial)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Acetaldeído</li> <li>• Acetato de etila</li> <li>• Metanol</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Baixo ponto de ebulição</li> <li>• Solúvel em álcool</li> </ul>  |
| <b>Fração Coração (80% do volume intermediário)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Etanol</li> </ul>  | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponto de ebulição &lt; 200°C</li> <li>• Solúvel em álcool</li> <li>• Totalmente ou parcialmente solúvel em água</li> </ul> |
| <b>Fração Cauda (10% do volume final)</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ácido acético</li> <li>• Furfural</li> </ul>                             | <ul style="list-style-type: none"> <li>• Ponto de ebulição maior que a água</li> <li>• Solúvel em água</li> </ul>   |

Fonte: Autor.

A fração “cabeça” representa 10% do volume total a ser destilado e é caracterizada por uma concentração elevada de componentes de baixo ponto de ebulição, contendo predominantemente compostos indesejáveis como metanol e aldeídos em aldeído acético. Essa porção apresenta elevada graduação alcoólica (65-75% v/v) e é rica em ésteres, aldeídos, metanol e outros compostos voláteis. Esses compostos conferem ao destilado um sabor desagradável, forte e pronunciado, incluindo alguns compostos tóxicos que justificam a eliminação dessa primeira fração (Mutton, Mutton, 2016, p. 337, Spaho, 2017, p. 133).

A seguir, separa-se a fração intermediária, a fração “coração”, que é a parte mais valiosa do destilado por apresentar menor quantidade de substâncias indesejáveis, tornando-se, consequentemente, a melhor fração do destilado: a aguardente. A fração “coração” representa 80% do volume do destilado e é rica em etanol, contém menor proporção dos componentes mais voláteis, além de álcoois superiores, ácidos voláteis e demais produtos secundários formados. Seu sabor é notavelmente limpo, sem a intensidade marcante da fração “cabeça” e possui aroma agradável e frutado (Mutton, Mutton, 2016, p. 338, Spaho, 2017, p. 133).

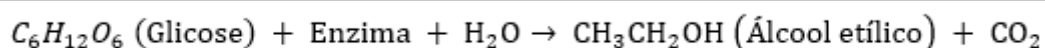
Por fim, a última fração, denominada “cauda” ou “água fraca”, é a porção final do destilado que representa 10% do volume final. Essa parte contém produtos mais pesados, menos voláteis que o etanol, com maior afinidade pela água. Essa fração é rica em compostos indesejáveis, tais como furfural, ácido acético, compostos oleosos, entre outros. Portanto, é aconselhável eliminar a “cauda” para garantir a qualidade desejada no produto (Mutton, Mutton, 2016, p. 338, Pereira *et al.*, 2021, p. 87077; Spaho, 2017, p. 133).

A técnica de dupla destilação, também conhecida como bidestilação, envolve a realização de dois processos de destilação consecutivos, resultando em uma qualidade de produto superior quando comparada ao processo de destilação única. Este método proporciona baixa acidez e características sensoriais mais agradáveis ao destilado (Pereira *et al.*, 2021, p. 87077). Na primeira destilação, o líquido é destilado para recuperar praticamente todo o álcool contido, sem a separação das frações, resultando em um destilado conhecido como flegma. Na segunda destilação, o flegma é submetido a destilação, onde ocorre a separação das frações: cabeça, coração e cauda. Esse processo permite um refinamento adicional, garantindo uma bebida de alta qualidade, com características sensoriais mais aprimoradas (Alcarde & Bortoletto, 2016, p. 353).

## 1.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DO DESTILADO E PARÂMETROS ESTABELECIDOS NA LEGISLAÇÃO BRASILEIRA

Na fermentação alcoólica, os mostos preparados são inoculados com leveduras, que convertem os açúcares presentes em etanol e CO<sub>2</sub> (Figura 6). Este processo é mediado por enzimas e pode ser considerado uma oxidação anaeróbica parcial da glicose. Essa prática é de grande importância, resultando na produção de todos os álcoois industriais e diversas bebidas alcoólicas, tanto destiladas quanto não destiladas, além de gerar gás carbônico como subproduto (Bastos, 2013, p. 32).

**Figura 6.** Transformação da glicose em etanol e dióxido de carbono.



Fonte: Autor.

Durante o processo de fermentação, além da produção dos componentes principais (álcool etílico e o dióxido de carbono), ocorre a formação de compostos secundários, incluindo acetato de etila, metanol e acetaldeído (etanal). Este último é gerado a partir dos aminoácidos presentes no meio e pela oxidação do etanol. Além desses, também são formados outros compostos como ésteres, aldeídos, álcoois superiores e ácidos orgânicos (Almeida *et al.*, 2020, p. 2). E nas bebidas destiladas, certas substâncias são indesejáveis, devido à sua alta toxicidade e potencial carcinogênico (Bastos, 2013, p. 54).

Assim, a legislação brasileira estabelece o Regulamento Técnico para Fixação dos Padrões de Identidade e Qualidade da Tiquira e da aguardente de vegetal (Tabela 1), detalhando

os parâmetros aceitáveis para determinadas substâncias presentes nessas bebidas (Brasil, 2011a).

**Tabela 1.** Fixação dos padrões de identidade e qualidade para a Tiquira e a aguardente de vegetal

| Componentes  | Tiquira | Vegetal |
|--|---------|---------|
| Álcool metílico (mg/100 mL de álcool anidro)                 | 0-20    | 0-20    |
| Acidez volátil em ácido acético (mg/100 mL de álcool anidro) | 0-100   | 0-150   |
| Aldeídos em aldeído acético (mg/100 mL de álcool anidro)     | 0-20    | 0-30    |
| Ésteres em acetato de etila (mg/100 mL de álcool anidro)     | 0-200   | 0-200   |
| Álcoois superiores* (mg/100 mL de álcool anidro)             | 0-300   | 0-360   |
| Coefficiente de congêneres** (mg/100 mL de álcool anidro)    | 200-650 | 200-650 |
| Graduação alcoólica (% v/v a 20 C)                           | 36-54   | 38-54   |
| Furfural e hidroximetilfurfural (mg/100 mL de álcool anidro) | 0-5     | 0-5     |
| Chumbo (Pb) (mg/L)   | 0-0,2   | 0-0,2   |
| Cobre (Cu) (mg/L)  | 0-5     | 0-5     |
| Ácido cianídrico (mg/100 mL de álcool anidro)                | 0-5     | n       |

\* somatório de álcoois propílico, iso-butilico e iso-amílico. \*\* somatório de acidez volátil, aldeídos, acetato de etila, álcoois superiores e furfural. n = não se aplica.

Fonte: Brasil, 2011a; Brasil, 2011b (adaptado).

A legislação brasileira estabelece o limite máximo de metanol ou álcool metílico de 20 mg/100 mL de etanol anidro para uma aguardente produzida a partir de vegetais, cereais e melão e para a Tiquira (Brasil, 2011a). No entanto, a legislação brasileira permite um limite de até 400 mg/100 mL de metanol em aguardentes de frutas (Brasil, 2011b). O metanol ocorre naturalmente em níveis baixos na maioria das bebidas alcoólicas destiladas, sem causar danos à saúde dos consumidores. No entanto, a ingestão de níveis tóxicos de metanol pode causar doenças graves e até fatais (cegueira ou deficiência visual grave e até morte) e a sua presença em aguardentes é estritamente controlada em todo o mundo. O metanol ao ser metabolizado no organismo humano é oxidado a formaldeído pela enzima álcool desidrogenase e a seguir a oxidado a ácido fórmico pela enzima formaldeído desidrogenase e por fim, a dióxido de carbono por meio da enzima catalase, provocando acidose grave, convulsões, coma e morte pela depressão do sistema respiratório. O efeito da cegueira é causado pela oxidação do metanol a ácido fórmico (Blumenthal *et al.*, 2021, p. 3; Botelho *et al.*, 2020, p. 3; Pang *et al.*, 2017, p. 435).

A concentração de metanol é maior nas aguardentes de frutas porque sua produção é derivada da hidrólise enzimática de pectinas durante o processo de fermentação. O metanol é gerado principalmente por enzimas pectinolíticas presentes endogenamente em frutas esmagadas que separam o grupo metoxil da pectina, liberando metanol e ácido pécico no mosto. Posteriormente o metanol vai estar presente nas bebidas destiladas devido à sua alta volatilidade durante o processo de destilação. Portanto, o metanol é um composto volátil, presente especialmente em bebidas alcoólicas destiladas quando se utiliza matérias-primas ricas em pectinas, como batatas e frutas na produção de aguardentes, pois estas contêm mais pectina do que cereais (Blumenthal *et al.*, 2021, p. 2; Botelho *et al.*, 2020, p. 4; Tulashie *et al.*, 2017, p. 2).

O ácido acético, componente secundário da fermentação alcoólica, é o maior responsável pela acidez volátil da bebida destilada. A alta acidez volátil pode ser atribuída a múltiplas causas referentes ao processo de fabricação, como: más condições de higiene do ambiente e dos equipamentos e manejo descuidado do mosto, permitindo a contaminação desses por bactérias acéticas e a não separação adequada da fração coração do volume total do destilado, já que a fração cauda é aquela em que o ácido acético mais está presente (Bastos, 2013, p. 56; Pang *et al.*, 2017, p. 438).

O aldeído acético, também chamado de acetaldeído, tem um limite de 20 mg/100 mL para a Tiquira e 30 mg/100 mL para uma aguardente produzida a partir de vegetais. O acetaldeído em baixos níveis confere à aguardente odores agradáveis, lembrando avelãs, cerejas e maçãs maduras. No entanto, o acetaldeído em concentrações mais elevadas em aguardentes tem um odor pungente e irritante e pode ser perigoso para a saúde devido à sua reatividade química. Geralmente está associado a intoxicação e sintomas como náuseas, vômitos e dor de cabeça. Uma alta concentração de acetaldeído em bebidas alcoólicas pode ser formado pela oxidação do etanol por bactérias do ácido acético (Balcerek *et al.*, 2017, p. 455; Kostik *et al.*, 2014, p. 42).

O acetato de etila representa aproximadamente 80% do total de ésteres presentes nas aguardentes e em baixas concentrações apresenta agradável aroma floral e frutado. O acetato de etila em altas concentrações confere um caráter ácido (cheiro de vinagre) e adiciona notas de deterioração às bebidas alcoólicas destiladas. O acetato de etila é componente característico da fração cabeça e é obtido a partir da reação de esterificação do etanol e do ácido acético provenientes da fermentação, assim, o acetato de etila pode ter seu conteúdo controlado mantendo os cuidados utilizados para evitar altos teores de acidez volátil (Balcerek *et al.*, 2017, p. 458; Bastos, 2013, p. 54; Kostik *et al.*, 2014, p. 45).

Os álcoois superiores são originados através do metabolismo da levedura a partir de aminoácidos e ocorrem naturalmente em bebidas alcoólicas destiladas, contribuindo beneficemente com o sabor e aroma característico das bebidas. Quantitativamente, os álcoois superiores representam o maior grupo de substâncias voláteis nas bebidas destiladas, sendo a soma dos álcoois propílico, iso-butílico e iso-amílico (Pang *et al.*, 2017, p. 435). O excesso de álcoois superiores pode ter um impacto negativo na qualidade das bebidas e causar sabores indesejáveis, às vezes descritos como picantes ou semelhantes a solventes (Alonso *et al.*, 2015). Elevadas concentrações de álcoois superiores geralmente resultam das condições durante o processo fermentativo, sendo que a presença excessiva de borras ao longo da fermentação pode provocar um aumento de até 50% nesses teores. Outro fator determinante para o conteúdo desses compostos é um processo adequado de destilação, incluindo a separação das frações cabeça, coração e cauda (Bastos, 2013, p. 54).

De acordo com a legislação brasileira, o coeficiente de congêneres representa os componentes voláteis da aguardente (componentes secundários), exceto o etanol e metanol, sendo composto pela soma de acidez volátil (expressa como ácido acético), ésteres (como acetato de etila), aldeído total (expresso como acetaldeído), álcoois superiores (expressos como a soma de álcoois n-propílico, isobutil e isoamílico) e furfural/hidroximetilfurfural e seu valor deve estar entre 200 e 650 mg em 100 mL de etanol anidro (Brasil, 2011a; Capobianco *et al.*, 2013, p. 979).

O furfural e o hidroximetilfurfural são aldeídos indesejáveis na composição das aguardentes, visto que, além de serem nocivos ao organismo, afetam negativamente o sabor e o aroma da bebida em virtude de suas características sensoriais picantes. Esses compostos se originam dos açúcares ainda presentes durante a destilação ou das substâncias em suspensão destiladas do mosto. Além disso, a presença de matéria orgânica depositada no fundo do alambique e a elevada temperatura de destilação propiciam a síntese do furfural/hidroximetilfurfural (Ratkovich *et al.*, 2023, p. 8).

O chumbo é um metal pesado que envenena o sistema nervoso e causa distúrbios cerebrais. A presença de chumbo nas aguardentes provém principalmente de equipamentos e recipientes usados durante a fabricação das aguardentes e tal contaminação pode ser prevenida evitando o uso de recipientes metálicos contendo chumbo em sua composição. A principal fonte de exposição humana ao chumbo não está relacionada ao consumo de bebidas alcoólicas, que contribui apenas com cerca de 7% da exposição total a esse metal pesado proveniente de alimentos e bebidas (Pang *et al.*, 2017, p. 437).

O cobre é um dos metais não desejados na aguardente e o limite permitido pela legislação brasileira é de 5 mg/L (Brasil, 2011b). A presença de cobre em bebidas destiladas é atribuída ao fato de que a maioria dos alambiques é fabricada com esse material. O cobre é escolhido devido à sua resistência à corrosão, boas propriedades de transferência de calor e capacidade de catalisar reações que contribuem para as características sensoriais da bebida. Se os equipamentos não forem devidamente higienizados, ocorre a formação de azinhavre, um carbonato básico de cobre  $[\text{CuCO}_3\text{Cu}(\text{OH})_2]$ , nas paredes internas dos alambiques. O azinhavre é gerado pelos vapores alcoólicos altamente ácidos, que, ao condensarem, arrastam o cobre para o produto destilado, contaminando-o (Kunigk *et al.*, 2011, p. 101).

Todas as variedades de mandioca têm, por quilo de produto fresco, entre 15 e 400 mg de ácido cianídrico (HCN). A mandioca é classificada pela taxonomia popular em brava e mansa dependendo do teor de ácido cianídrico encontrado nas raízes. As mandiocas consideradas bravas têm elevado teor de glicosídeos cianogênicos e as consideradas mansas contêm baixo teor de glicosídeos cianogênicos e podem ser consumidas sem qualquer processamento (Zago *et al.*, 2016). Recomenda-se para a produção da Tiquira o uso de variedades de mandioca com baixo teor de glicosídeos cianogênicos para evitar a produção de ácido cianídrico (HCN) por meio da hidrólise enzimática dos glicosídeos cianogênicos presentes.

A presença de ácido cianídrico em elevada concentração na aguardente apresenta uma dupla desvantagem, sendo a primeira relacionada à sua toxicidade intrínseca. O íon cianeto (CN<sup>-</sup>) é altamente tóxico pois tem a capacidade de inibir a respiração celular atuando em enzimas que possuem ferro (catalase, oxidase, citocromo). Assim, o íon cianeto, ao formar complexos com metais como cobre e ferro, pode, quando ingerido, se ligar ao ferro da hemoglobina, resultando no bloqueio do transporte de oxigênio no sangue e a dose letal por ingestão varia de 0,5 a 3,5 mg/kg (cianeto/massa corpórea). A outra desvantagem é que o ácido cianídrico é o principal precursor da substância carbamato de etila (Cereda, Brito, 2016, p. 484; Ferreira *et al.*, 2023, p. 8).

O carbamato de etila (EtOCONH<sub>2</sub>) é um éster etílico do ácido carbâmico que em elevada concentração apresenta potencial carcinogênico, no entanto, é encontrado em pequenas quantidades em alimentos fermentados como pães e iogurte e em bebidas destiladas. A ocorrência do carbamato de etila no destilado pode ser explicada por interações do etanol com ureia, fosfato de carbamila e ácido cianídrico (Bastos, 2013, p. 53; Pang *et al.*, 2017, p. 436). Para atender aos critérios de exportação, a legislação brasileira estabeleceu para a cachaça (aguardente de cana-de-açúcar) o limite máximo de carbamato de etila de 0,21 mg/L (Brasil, 2022).



## 1.7 CERVEJAS DE MANDIOCA E DE BATATA DOCE

A legislação brasileira especifica que a cerveja é a bebida resultante da fermentação, utilizando levedura cervejeira, do mosto de cevada maltada ou do extrato do malte, que passou por um processo prévio de cocção e foi adicionado lúpulo (Brasil, 2019a). De acordo com a legislação brasileira (Brasil, 2019a), parte do malte pode ser substituída por adjuntos cervejeiros, até o máximo de 45%. Se a cerveja for produzida principalmente a partir de um mosto derivado de adjuntos cervejeiros, deverá ser rotulada adequadamente, indicando o adjunto predominante (maltado ou não). Neste caso, a cerveja pode conter no máximo 80% de adjuntos cervejeiros e no mínimo 20% de malte de cevada, conforme especificado pela regulamentação brasileira (Brasil, 2019b).

As grandes cervejarias comerciais costumam usar adjuntos como milho e arroz por razões econômicas, visto que o malte é uma fonte mais cara de amido. No entanto, o uso de adjuntos de cerveja pode melhorar os perfis de cor, aroma e sabor da cerveja (Gasiński *et al.*, 2023, p. 1; Kumar *et al.*, 2019, p. 2). Nos últimos anos, houve um grande aumento no mercado brasileiro de consumo e produção de cerveja artesanal. Ao contrário das grandes cervejarias comerciais, as cervejas artesanais são produzidas principalmente em microcervejarias e podem ser produzidas utilizando diferentes tipos de adjuntos. Adições inusitadas à cerveja são consideradas interessantes para muitos dos consumidores que optam por cervejas artesanais por apresentarem variedade de sabores e atributos sensoriais distintos (Carvalho *et al.*, 2018, p. 13; Costa Jardim *et al.*, 2018, p. 2).

O uso de batata-doce na formulação de bebidas vem crescendo, destacando-se aguardentes e cervejas artesanais. O cultivo de batata-doce para a produção de álcool é notável não apenas pelos benefícios econômicos, mas também pelos impactos ambientais positivos. A combinação de baixos custos de produção e de alta produtividade, faz com que a batata-doce tenha um potencial para produzir de 2 a 3 vezes mais etanol do que o milho, aproximando-se da quantidade obtida a partir de cana-de-açúcar, apresentando-se como uma alternativa econômica em relação a outros tubérculos (Bach *et al.*, 2021, p. 3-4; Pereira *et al.*, 2021, p. 87076).

Poucos estudos incorporaram batata-doce em cervejas, e os resultados mostraram um aumento na concentração de compostos bioativos nas cervejas resultantes (Humia *et al.*, 2020, p. 1; Panda *et al.*, 2015, p. 2). A batata-doce possui alto valor nutritivo e é composta, na matéria seca, principalmente por carboidratos (42,4-77,3% de amido e 1,9-6,4% de fibra) e proteínas (1,3-9,5%), possuindo baixo teor de gordura (0,2-3,0%). Além disso, é rica em compostos

bioativos que beneficiam a saúde do consumidor, incluindo vitamina B, minerais como ferro, cálcio, magnésio e zinco, e compostos fenólicos. Os ácidos fenólicos e os flavonoides são conhecidos por suas propriedades antioxidantes e estão presentes na batata-doce de todas as cores de polpa (Alam, 2021, 513).

Akpogheli *et al.* (2022) reportaram que há pouco uso da mandioca como adjunto cervejeiro. Os autores elaboraram cervejas de malte de sorgo com mandioca amarela e obtiveram bebidas com níveis mais elevados de vitamina A quando comparado a maioria das cervejas comerciais. A mandioca amarela possui betacarotenos que são precursores da vitamina A. O caxiri é uma bebida alcoólica fermentada consumida pelos indígenas na região amazônica brasileira cujo principal ingrediente é a mandioca. Baseado nessa bebida tradicional, Gonçalves, *et al.* (2022) elaboraram uma cerveja artesanal com 20% de fécula de mandioca, 5% de xarope de guaraná, além de malte de cevada, lúpulo e leveduras. A cerveja apresentou teor alcoólico de 5,2%, cor cobre, sabor frutado e aparência turva.

## 1.8 PRODUÇÃO DE CERVEJA NO BRASIL

A popularização da cerveja no Brasil teve início no século XVII com a chegada da colonização holandesa (1634-1654) através da Companhia das Índias Ocidentais. Após a saída dos holandeses, a bebida deixou de ser produzida no país por um período de um século e meio (Rosalin, 2021, p. 152). No início do século XIX, o hábito de consumir cerveja ocorreu durante a permanência da família real portuguesa em território brasileiro. Naquela época, a cerveja consumida era importada de países europeus. Posteriormente, em 1888, foi estabelecida a “Manufatura de Cerveja Brahma Villiger e Cia” na cidade do Rio de Janeiro, e alguns anos depois, em 1891, surgiu a “Companhia Antártica Paulista” na cidade de São Paulo (Dragone *et al.*, 2016, p. 52).

A indústria cervejeira no Brasil destaca-se significativamente, ocupando o terceiro lugar como maior produtora de cerveja no mundo, ficando atrás da China e dos Estados Unidos. O Brasil alcançou uma produção anual de 16,1 bilhões de litros de cerveja em 2023, consolidando a cerveja como a bebida alcoólica mais consumida no país (SINDICERV, 2023). Os dados do ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento indicaram um crescimento de 11,6% no número de cervejarias registradas no Brasil em 2022. É relevante destacar que, em 2022, o número de cervejarias era de 1.729, representando um aumento de mais de 4000% comparada com o início do século XX, respectivamente (MAPA, 2023).

Atualmente, há duas formas de fabricação de cervejas: a industrial, realizada por grandes empresas em larga escala e a artesanal, realizada por pequenas empresas e em menor

escala. As cervejarias industriais ou artesanais buscam constantemente aprimoramentos para a produção de produtos com qualidade crescente e custos reduzidos, com o objetivo de manterem sua posição em um setor cada vez mais exigente (Sousa e Fogaça, 2019, p. 441).

A cerveja artesanal, que se diferencia do padrão convencional, tem ganhado destaque e conquistado o paladar dos consumidores. Isso se deve ao fato de que a qualidade é o critério mais importante na avaliação do consumidor. Os ingredientes utilizados nessas cervejas são nobres e criteriosamente selecionados. O período de fermentação e maturação ocorre de maneira gradual, em processos rigorosamente controlados, sem a adição de produtos químicos para acelerar o processo, ao contrário do que ocorre na produção de cerveja industrial (Flores *et al.*, 2015, p. 159; Mesquita *et al.*, 2020, p. 4).

O aumento do consumo de cervejas artesanais pode ser atribuído principalmente à busca por autenticidade, novas experiências sensoriais e aos atributos benéficos a saúde que essas cervejas podem proporcionar aos consumidores. A característica distintiva das cervejas artesanais também reside na inovação, resultante da inclusão de adjuntos poucos convencionais. A introdução de frutas, vegetais e especiarias na cerveja confere características únicas de aroma e sabor, além de potencialmente elevar as concentrações de compostos bioativos. Essa abordagem tem capturado a atenção tanto dos consumidores quanto de pesquisadores interessados na interseção entre cerveja e saúde (Kronenberger *et al.*, 2023, p. 57; Mesquita *et al.*, 2020, p. 3).

## 1.9 CONSTITUINTES DAS CERVEJAS

Os constituintes básicos da cerveja são: água, malte de cevada, lúpulo e leveduras. Em 1516, na Baviera, foi promulgada a Lei de Pureza Alemã para a produção de cerveja, conhecida como *Reinheitsgebot*. Conforme estabelecido por essa lei, somente o malte (derivado de grãos de cevada), lúpulo e água eram autorizados na produção de cerveja. Com o objetivo de assegurar a qualidade da bebida, a legislação proibia o uso de outros cereais, especiarias, frutas e ervas populares na época. Com o tempo, a legislação foi revisada, incorporando a levedura como o quarto ingrediente permitido na produção de cerveja (Silva, Pinheiro, 2018, p. 24).

A água é o principal componente da cerveja, representando 93% de sua formulação. É essencial que a água utilizada na produção da cerveja seja inócua, isenta de contaminações e apresente dureza, caracterizada por um elevado teor de cálcio e magnésio. No entanto, a presença excessiva de sais minerais na água contribui para o aumento do pH (alcalinidade), resultando em má formação de açúcares, degradação proteica mais lenta, extração de polifenóis (resultando em coloração mais escura) e uma maior solubilização das substâncias amargas do

lúpulo. Assim, a água empregada na fabricação da cerveja requer um tratamento eficiente visando atender aos parâmetros de qualidade (Ávila *et al.*, 2022, p. 125-126; Dragone *et al.*, 2016, p. 60).

A cevada (*Hordeum vulgare* L.) é uma planta originária do Oriente Médio e pertence à família das gramíneas. É uma planta herbácea que atinge uma altura de 60 a 110 centímetros, e sua cultura é anual. A cevada ocupa a quinta posição em importância mundial de produção de cereais, após o arroz, milho, trigo e soja. Com uma produção anual média de aproximadamente 140 milhões de toneladas, essa cultura concentra-se principalmente nas regiões temperadas da Europa, Ásia e América do Norte. No Brasil, a produção de cevada ocorre principalmente no Rio Grande do Sul, mas também é encontrada em São Paulo, Minas Gerais e Goiás (Embrapa, 2012, p. 1; Embrapa, 2021b; Muzzolon *et al.*, 2021, p. 208).

O grão de cevada apresenta um formato alongado, com a parte central mais espessa e extremidades cônicas. A casca desempenha o papel de proteger o grão contra predadores, representando, em média, 13% do peso total do grão. A cevada tem aplicações tanto na alimentação humana quanto na alimentação animal. A cevada contém principalmente amido e juntamente com a batata e o arroz apresenta quantidades significativas de vitaminas A, B, C e K, além de tocoferóis, que podem atuar como antioxidantes (Muzzolon *et al.*, 2021, p. 210).

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta herbácea perene e dioica (flores masculinas e femininas em plantas diferentes) pertence à família *Cannabaceae* (Lagos *et al.*, 2022, p. 1374). É uma planta adaptada aos climas frios do hemisfério norte. No Brasil, as condições climáticas não são propícias para o cultivo de lúpulo, resultando na dependência de importações, principalmente dos Estados Unidos e Alemanha, os maiores produtores globais, com uma produção anual de aproximadamente 51,0 e 48,5 mil toneladas (Dragone *et al.*, 2016, p. 61; FAOSTAT, 2021).

O lúpulo exerce um impacto significativo sobre o sabor da cerveja, mesmo quando utilizado em pequenas quantidades (Dragone *et al.*, 2016, p. 61). A parte utilizada é a flor do lúpulo, que é desidratada, possuindo características amargas. Na flor da planta fêmea, a glândula lupulina abriga os componentes mais relevantes do lúpulo, como os polifenóis e óleos essenciais. Essa inflorescência é reconhecida globalmente como um elemento de grande importância no processo cervejeiro, contribuindo para o aroma, sabor e amargor da cerveja, além de prevenir sua contaminação por bactérias, conservando o produto (Guimarães *et al.*, 2021, p. 859).

De acordo com o tipo de levedura e o processo de fermentação utilizado, as cervejas são classificadas em dois grandes estilos: *Ale* e *Lager*. A cerveja *Ale* é produzida com leveduras

de alta fermentação em temperaturas entre 18 e 22°C durante um período de 3 a 5 dias. As cervejas *Ale*, em geral, tem um sabor pronunciado de lúpulo e um maior teor alcoólico que varia de 4 a 8% em volume e os produtores de cerveja artesanal tem preferência por esse estilo de cerveja. A cerveja *Lager* é produzida com leveduras de baixa fermentação em temperaturas mais baixas, variando entre 7 e 15°C durante um período de 7 a 15 dias. As cervejas *Lager*, muito produzidas pelas grandes indústrias cervejeiras, geralmente apresentam cor clara, sabor suave (com menos adição de lúpulo) e menor teor alcoólico entre 3 e 5% em volume devido às baixas temperaturas utilizadas na fermentação (Silva *et al.*, 2015, p. 1; Bortoli *et al.*, 2013, p. 47).

O uso de adjuntos na produção de cervejas contribui para a redução dos custos e favorece a obtenção de características sensoriais distintas (Muller *et al.*, 2021, p. 70). Na fase de preparação do mosto, os cereais mais comumente empregados como adjuntos cervejeiros incluem milho, arroz, cevada, trigo, sorgo e aveia. Dentre esses, o milho destaca-se como o adjunto mais amplamente utilizado na indústria cervejeira brasileira (Dragone *et al.*, 2016, p. 63; Oliveira *et al.*, 2020b, p. 172).

## 1.10 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA CERVEJA

Embora haja variações na forma de elaboração das cervejas, o processo essencialmente consiste em cinco etapas: 1) maltagem (germinação da cevada); 2) mosturação (extração e hidrólise dos componentes do malte, seguido por filtração); 3) fervura (com adição de lúpulo); 4) fermentação (que se divide em fermentação primária e maturação); e 5) carbonatação e engarrafamento (Hinojosa-Avila *et al.*, 2024, p. 2).

A maltagem consiste em uma etapa de germinação controlada dos grãos da cevada com o objetivo de desenvolver enzimas amilases e proteases que serão responsáveis posteriormente por converter o amido em açúcares fermentescíveis e solubilizar as proteínas durante o processo de produção do mosto cervejeiro. O processo de maltagem dos grãos de cevada pode ser dividido em três fases: maceração, germinação e secagem dos grãos. Na etapa de maceração, os grãos de cevada são cobertos de água e esse estágio proporciona condições ideais para a germinação do grão. O processo de germinação em estufas ocorre até a brotação das radículas. A interrupção da germinação ocorre por meio de uma secagem controlada, que reduz a umidade sem prejudicar as enzimas formadas. A qualidade da cerveja está intrinsecamente ligada a esse processo, uma vez que as características de aroma, sabor e cor são influenciadas pela qualidade do malte (Muzzolon *et al.*, 2021, p. 211).

A mosturação envolve a mistura do malte moído com água e aquecimento. Esse processo busca promover a gomificação e a hidrólise do amido do malte em açúcares fermentescíveis. A água, inicialmente é aquecida a uma temperatura específica, onde as enzimas do malte serão ativadas, desencadeando várias reações bioquímicas. Por volta de 52°C, as enzimas proteolíticas decompõem as proteínas da cevada, temperaturas acima de 60°C até 75°C ativam as enzimas  $\alpha$ -amilase e  $\beta$ -amilase. Essas enzimas decompõem o amido em açúcares menores, mas através de mecanismos diferentes. A  $\beta$ -amilase, com temperatura ideal de 62,78°C, converte o amido em maltose. Já a  $\alpha$ -amilase, com temperatura ideal de 73,89°C, produz oligossacarídeos à base de glicose. Esse processo tem uma duração média de 40 minutos (Hinojosa-Avila *et al.*, 2024, p. 2).

Após a mosturação, o mosto é separado do bagaço do malte pela filtração. O mosto filtrado é fervido e adicionado de lúpulo. A fervura do mosto estabiliza sua composição, inativando as amilases e proteases e causa a coagulação das proteínas, que se precipitam em flocos. O processo leva em torno de 2 horas. Outros efeitos da fervura no mosto são a aromatização, a esterilização e a formação de compostos responsáveis pela cor e sabor do produto, através das reações de Maillard e caramelização. Muitas vezes, o lúpulo é acrescentado quando a fervura está no meio ou mesmo no final, outras vezes pode ser adicionado em parcelas durante o processamento. A razão é que os óleos essenciais responsáveis pelo desenvolvimento do aroma são voláteis, podendo perder-se na fervura (Dragone *et al.*, 2016, p. 71; Hinojosa-Avila *et al.*, 2024, p. 2).

Depois da etapa de fervura, o mosto passa por procedimentos de remoção de precipitados, resfriamento e subsequente aeração. O resfriamento do mosto ocorre a uma temperatura inferior a 35°C, facilitando o desenvolvimento das leveduras responsáveis pela fermentação alcoólica. A etapa de fermentação do mosto (fermentação primária) é iniciada com a adição de leveduras. Essa etapa geralmente demanda aproximadamente sete dias para ser concluída, enquanto a maturação pode se estender por várias semanas. Durante a fermentação, são gerados os produtos principais como etanol, glicerol, ácido lático e CO<sub>2</sub>, com presença de vários outros compostos secundários em concentrações reduzidas, resultantes do metabolismo de açúcares e aminoácidos do mosto cervejeiro (Dragone *et al.*, 2016, p. 71; Hinojosa-Avila *et al.*, 2024, p. 2).

Ao término da fermentação primária, a cerveja é conhecida como “cerveja verde” devido à sua baixa concentração de CO<sub>2</sub>, turbidez e características sensoriais qualitativamente inferiores em comparação à versão finalizada. Para aprimorar essas características, é necessário submeter a cerveja a uma fermentação secundária, denominada maturação. Essa etapa do

processo ocorre em temperaturas entre 0 e 3°C e pode se estender por algumas semanas ou até mesmo meses, resultando em alterações no aroma e sabor, além de modificações em seu sistema coloidal. O processo favorece a clarificação por meio da precipitação de proteínas, leveduras e sólidos solúveis. Durante o armazenamento, ésteres são formados, contribuindo para o desenvolvimento do aroma e sabor da cerveja amadurecida (Dragone *et al.*, 2016, p. 72-73).

Por fim, a carbonatação da cerveja ocorre por meio de um segundo processo de fermentação. Isso pode ser alcançado adicionando carboidratos simples (conhecido como *priming*) ou utilizando a técnica de carbonatação forçada, na qual o CO<sub>2</sub> é introduzido no líquido por meio de agitação, alta pressão e temperaturas frias (4°C). O CO<sub>2</sub> é um constituinte muito importante, pois é responsável pela efervescência e uma sensação ácida na boca devido às suas propriedades de gás ácido. O envase é o procedimento de engarrafamento, enlatamento ou embarrilhamento do produto. A cerveja pode ser armazenada em temperaturas frias ou em temperatura ambiente, sendo essencial garantir a proteção contra a luz solar (Dragone *et al.*, 2016, p. 77-78; Hinojosa-Avila, 2024, p. 2).

### 1.11 COMPOSTOS FENÓLICOS PRESENTES NA CERVEJA E SUA CAPACIDADE ANTIOXIDANTE

A cerveja é amplamente reconhecida como uma das bebidas alcoólicas mais populares e consumidas do mundo, constituindo uma fonte significativa de carboidratos, aminoácidos minerais, vitaminas e polifenóis. Nos últimos anos, tem crescido o interesse nutricional em relação à cerveja, devido à sua riqueza em compostos antioxidantes e o seu teor alcoólico baixo comparado a outras bebidas alcoólicas (Nardini e Foddai, 2020, p. 1).

A cerveja é uma fonte rica em compostos fenólicos, incluindo ácidos fenólicos, flavonóis, flavonas e taninos. Os compostos fenólicos são metabólitos secundários produzidos pelas plantas como mecanismos de defesa contra pragas em seu crescimento e reprodução. Aproximadamente 70-80% dos compostos fenólicos presentes na cerveja têm origem no malte, enquanto os 30-20% restantes são provenientes do lúpulo. Os compostos fenólicos possuem atividade antioxidante e influenciam positivamente na qualidade sensorial da cerveja, retardando as mudanças de sabor e aroma durante o armazenamento em garrafa (Martinez-Gomez *et al.*, 2020, p. 2; Silva *et al.*, 2021, p. 2).

Os compostos antioxidantes da cerveja derivam diretamente das matérias-primas, sendo alguns produzidos durante o processo de fermentação. Os antioxidantes presentes na cerveja são predominantemente provenientes de dois ingredientes essenciais na sua fabricação: malte e lúpulo. Os antioxidantes são compostos importantes na promoção da saúde, reduzindo

o estresse oxidativo causado pela produção excessiva de espécies reativas de oxigênio (Martinez-Gomez *et al.*, 2020, p. 1).

A diversificação das variedades e a inovação sensorial são os benefícios da utilização de mandioca e batata-doce na produção de cervejas. As raízes ricas em amido oferecem aromas e sabores únicos, além de notas sutis de doçura e textura cremosa, o que aprimoram a complexidade da bebida. Além disso, diminuem os custos de produção e a dependência de importações, enfatizando produtos agrícolas locais para garantir a sustentabilidade. Além de ampliar o alcance do produto para consumidores com restrições alimentares, e incluir esses tubérculos, que são naturalmente isentos de glúten, apresenta um compromisso com a diversidade e acessibilidade do mercado cervejeiro.



## 2 OBJETIVOS

### 2.2 OBJETIVO GERAL

Esse trabalho teve como objetivo a produção e a avaliação da qualidade de aguardentes e cervejas de mandioca e de batata-doce de acordo com os parâmetros exigidos pela legislação brasileira.

### 2.3 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar a hidrólise (liquefação e sacarificação) do amido das matérias primas com uso de amilases comerciais para a produção das aguardentes de mandioca e de batata-doce;
- Realizar a fermentação alcoólica e destilação das aguardentes;
- Realizar as análises físico-químicas das massas, dos mostos, dos fermentados alcoólicos e das aguardentes de mandioca e de batata-doce;
- Elaborar os mostos cervejeiros de mandioca e de batata-doce;
- Realizar a fermentação alcoólica e maturação das cervejas;
- Realizar as análises físico-químicas dos mostos e das cervejas de batata-doce e de mandioca.

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 PRODUÇÃO DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E DE BATATA-DOCE

##### 3.1.1 Preparo das matérias primas para a produção das aguardentes de mandioca e de batata-doce

As raízes de mandioca cultivar amarela e de batata-doce cultivar Brazlândia roxa foram obtidas em supermercados do Distrito Federal no período de fevereiro de 2023. As raízes de mandioca foram compradas já sanitizadas, descascadas e embaladas à vácuo e as raízes de batata-doce foram compradas inteiras. No laboratório, as batatas-doces foram sanitizadas em solução de hipoclorito de sódio (200 ppm) e lavadas em água corrente antes do uso. As matérias primas mandioca (3,5 kg) e batata-doce (4,3 kg) foram cozidas em micro-ondas por volta de 10 minutos em um saco para micro-ondas. Após o cozimento, a batata-doce foi descascada e ambas as matérias primas (batata-doce e mandioca) foram cortadas em pedaços. As matérias primas foram trituradas em liquidificador com adição de água na proporção 1:1 (p/v), obtendo-se uma massa contendo o amido gelificado a ser hidrolisado pelas amilases na etapa seguinte (Figura 7).

**Figura 7.** Raízes de mandioca e de batata doce utilizadas na produção das aguardentes e aspecto das massas obtidas após cozimento e trituração das matérias primas



Legenda: a) raízes de mandioca; b) batata-doce; c) massa cozida de mandioca e d) massa cozida de batata-doce.

Fonte: Autoria própria, 2024.

### 3.1.2 Processo de hidrólise (liquefação e sacarificação) do amido das matérias primas com uso de amilases purificadas

Para o processo de hidrólise do amido das matérias primas, houve a adição de 1,5 mL de  $\alpha$ -amilase (Sigma®) e 1,0 mL de amiloglucosidase (Sigma®) (Figura 8) nas massas de mandioca e de batata-doce obtidas após cozimento e trituração das matérias primas (6 litros do mosto). As misturas foram mantidas sob agitação manual por 30 minutos a temperaturas de 45-90°C em um fogão para a ação das amilases. Concluída a etapa de liquefação e sacarificação, o mosto seguiu para a etapa de fermentação alcoólica.

**Figura 8.** Amiloglucosidase de *Aspergillus niger* e  $\alpha$ -amilase de *Bacillus cereus*



Fonte: Autoria própria, 2024.

### 3.1.3 Fermentação alcoólica e destilação das aguardentes

Os mostos foram fermentados com levedura comercial própria para produção de aguardente (*Saccharomyces cerevisiae* UFLA CA-11, Novozymes®). Após a adição da levedura (1,0 g/L) nos mostos, estes foram incubados em temperatura ambiente por 5 dias (Figura 9).

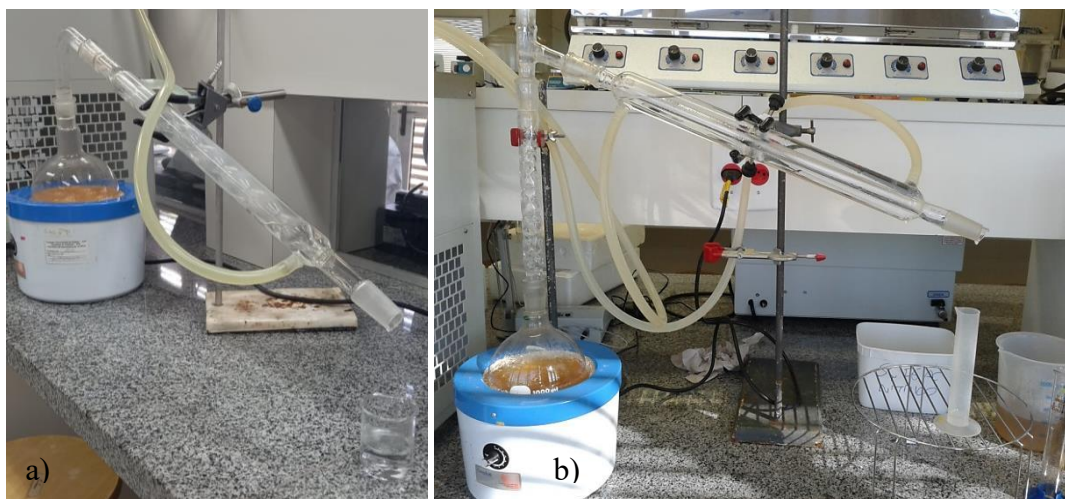
**Figura 9.** Fermentação alcoólica dos mostos de mandioca e de batata-doce



Fonte: Autoria própria, 2024.

Os líquidos fermentados passaram por filtração para remoção dos bagaços e prosseguiram para a destilação. Destilou-se os fermentados alcoólicos em um destilador de laboratório com capacidade de 1 litro, onde na primeira destilação todo o volume foi destilado sem separar as frações (Figura 10).

**Figura 10.** Destilação dos fermentados alcoólicos de (a) mandioca e de (b) batata-doce



Fonte: Autoria própria, 2024.

Na segunda destilação, separou-se as frações cabeça, coração e cauda. As frações de cabeça (10% do destilado inicial) e cauda (10% do destilado final) foram descartadas, ficando somente a fração coração (80% do volume destilado) para as análises. As aguardentes foram então armazenadas em garrafas de vidro e armazenadas em refrigerador a 5°C e, posteriormente, foram realizadas as análises físico-químicas (Figura 11).

**Figura 11.** Aguardentes de mandioca e de batata-doce



Fonte: Autoria própria, 2024.

### **3.1.4 Análises físico-químicas das massas, dos mostos, dos fermentados alcoólicos e das aguardentes de mandioca e de batata-doce**

A aferição do pH e do teor de sólidos solúveis (°Brix) foi realizada com auxílio de um pHmetro digital (Gehaka PG 2000) e refratômetro de bancada (AOAC, 2019). Os açúcares redutores foram determinados pelo método ADNS (ácido 3-5 dinitrossalicílico) (Miller, 1959). O grau alcoólico dos fermentados alcoólicos e primeiro destilado foi determinado com o uso de um alcoômetro de Gay-Lussac inserido diretamente no volume de destilado a 20°C (IAL, 1985).

As análises das frações coração das aguardentes foram realizadas no Laboratório de Tecnologia e Qualidade de Bebidas da ESALQ (Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, USP, Piracicaba, SP). As análises de aldeído acético, acetato de etila, metanol, álcoois superiores (n-propanol, isobutanol e álcool isoamílico), n-butanol, 2-butanol e ácido acético foram realizadas por cromatografia gasosa utilizando um cromatógrafo com detecção de ionização de chama (FID) (Shimadzu GC -Equipamento 2010 Plus, Shimadzu Co., Kyoto, Japão). As análises de furfural e hidroximetilfurfural foram realizadas por HPLC em equipamento Shimadzu LC-10AD, com detector UV-VIS Shimadzu SPD-20A (Bortoletto, Alcarde, 2013). A análise do carbamato de etila foi realizada em cromatógrafo gasoso acoplado a espectrômetro de massas, modelo GCMS-QP2010 Plus (Shimadzu) (Bortoletto, Alcarde, 2015). A quantificação dos compostos foi realizada com base em curvas analíticas cromatográficas externas de seis pontos de concentração padrão (Bortoletto, Alcarde, 2015; Bortoletto, Alcarde, 2013).

A concentração de etanol foi determinada em densímetro digital (DMA-4500, Anton-Paar GmbH, Graz, Áustria). A concentração de cobre foi determinada utilizando um Pocket Colorimeter™ II, Copper (Hach Lange GmbH, Dusseldorf, Alemanha) (Bortoletto, Alcarde, 2015).



## 3.2 PRODUÇÃO DAS CERVEJAS DE BATATA-DOCE E DE MANDIOCA

### 3.2.2 Matérias-primas utilizadas na produção das cervejas de batata-doce e de mandioca

Para a produção da cerveja de batata-doce foram utilizadas as seguintes matérias-primas: levedura cervejeira *Saccharomyces cerevisiae* Ale US 05 Fermentis®, maltes tipo Munich Castle (0,5 kg), Gold Castle (1,0 kg) e Pale Ale Agrária (2,0 kg), lúpulos tipo Citra (10 g) e Saaz (10g) e batata-doce cultivar Brazlândia roxa (2,8 kg) (Figura 12).

**Figura 12.** Lúpulo, levedura, malte de cevada e raízes de batata-doce utilizados na produção da cerveja de batata-doce



Legenda: a) Lúpulo e levedura; b) malte de cevada e c) batata-doce.

Fonte: Autoria própria, 2024.

Para a produção da cerveja de mandioca foram utilizadas as seguintes matérias-primas: levedura cervejeira *Saccharomyces cerevisiae* Ale T-58 Fermentis®, maltes tipo Cara Gold Castle (1,0 kg) e Pale Ale Agrária (1,0 kg), lúpulo tipo Saaz (20 g) e mandioca cultivar amarela (2,0 kg) (Figura 13).

**Figura 13.** Lúpulo, levedura, malte de cevada e raízes de mandioca utilizadas na produção da cerveja de mandioca



Legenda: a) Lúpulo, malte de cevada e levedura; b) mandioca.

Fonte: Autoria própria, 2024.

As raízes de batata-doce e mandioca foram adquiridas em supermercados do Distrito Federal no período de março de 2023. As raízes de mandioca foram compradas já sanitizadas, descascadas e embaladas à vácuo e as raízes de batata-doce foram compradas inteiras. No laboratório, as batatas-doces foram sanitizadas em hipoclorito de sódio (200 ppm) e lavadas em água corrente antes do uso. As matérias primas mandioca e batata-doce foram cozidas em micro-ondas por volta de 10 minutos em um saco para micro-ondas. Após o cozimento, a batata-doce foi descascada e ambas as matérias primas (batata-doce e mandioca) foram cortadas em pedaços. As matérias primas foram trituradas em liquidificador com adição de água na proporção 1:1 (p/v), obtendo-se uma massa contendo o amido gelificado a ser utilizado na etapa seguinte.

### 3.2.3 Elaboração dos mostos cervejeiros de mandioca e de batata-doce

O processo de mosturação iniciou-se acrescentando o malte moído (2,5 kg) e batata-doce (2,8 kg) ou mandioca (3,0 kg) em água mineral (9 litros) aquecida a 75°C. A mosturação ocorreu durante 40 min a 75°C sob agitação manual. Após a mosturação, o bagaço de malte foi lavado com 3 litros de água a 80°C. A etapa de lavagem desempenha um papel crucial, pois promove a extração máxima dos açúcares remanescentes do bagaço de malte. O mosto foi separado do bagaço de malte por filtração e seguiu para o processo de fervura por 1 hora e durante essa etapa foi realizada a adição de lúpulo tipo Citra (10 g) e Saaz (10 g), totalizando 20 g de lúpulo. Para o resfriamento do mosto a 20°C utilizou-se um trocador de calor e após seguiu-se para a etapa de fermentação (Figura 14).

**Figura 14.** Etapa de mosturação para elaboração dos mostos cervejeiros



Fonte: Autoria própria, 2024.

### 3.2.4 Fermentação alcoólica e maturação das cervejas de mandioca e de batata-doce

A fermentação alcoólica teve início com a adição de levedura seca *Saccharomyces cerevisiae* Ale US Fermentis® previamente hidratada (0,7 g/L) no mosto. O processo de fermentação ocorreu em temperatura ambiente durante 7 dias (Figura 15). Após a conclusão da fermentação alcoólica, as leveduras sedimentadas no fundo foram eliminadas. Para a etapa de maturação, a cerveja foi armazenada em um refrigerador a 5°C por 15 dias.



**Figura 15.** Hidratação da levedura seca no mosto cervejeiro e fermentação alcoólica dos mostos cervejeiros



Legenda: a) Hidratação da levedura seca; b) e c) fermentação alcoólica dos mostos cervejeiros.  
Fonte: Autoria própria, 2024.

### 3.2.5 Carbonatação e engarrafamento

As cervejas foram envasadas em garrafas âmbar de 600 mL. Para o procedimento de carbonatação, foram acrescentados xarope de glicose (1,0 g/L) e levedura (0,2 g/L). As garrafas de cerveja foram lacradas e armazenadas à temperatura ambiente durante 15 dias para permitir a formação de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) (Figura 16).

**Figura 16.** Cervejas de mandioca e batata-doce engarrafadas



Fonte: A autoria própria, 2024.

### **3.2.6 Análises físico-químicas dos mostos e das cervejas de batata-doce e de mandioca**

#### *3.2.6.1 Determinação do pH e do teor de sólidos solúveis totais (SST)*

A aferição do pH foi realizada com um pHmetro digital calibrado Gehaka modelo PG 2000 (AOAC, 2019). A concentração de sólidos solúveis totais (°Brix) foi medida por refratômetro de bancada (AOAC, 2019).

#### *3.2.6.2 Determinação do grau alcoólico*

O grau alcoólico das cervejas foi determinado através da destilação do volume de 250 mL de cada cerveja. O volume de álcool recolhido após destilação foi completado com água destilada até 250 mL para obter o volume inicial das cervejas antes da destilação. Então, o alcoômetro de Gay-Lussac foi inserido nessa solução hidroalcoólica a 20°C para obtenção do grau alcoólico (IAL, 1985).

#### *3.2.6.3 Determinação de açúcares redutores*

A quantificação do teor dos açúcares redutores foi realizada utilizando o método ADNS (ácido 3,5-dinitrosalicílico), conforme descrito por Miller (1959). Para a diluição das amostras, foi pipetado 700 µL de cada mosto e 200 µL de cada cerveja em um balão volumétrico de 50 mL e o volume foi completado com água destilada. Para a reação em tubos de ensaio, pipetou-se 500 µL das amostras, 1700 µL de água destilada e 2000 µL do reagente ADNS. As

misturas foram incubadas em água fervente por 5 minutos e resfriadas à temperatura ambiente. Os valores de absorvância foram registrados a 540 nm em espectrofotômetro UV-Vis (Quimis® Q898DPT). Uma curva de calibração foi preparada com glicose (ANEXO 1). Os resultados foram expressos em porcentagem (%).

#### 3.2.6.4 Determinação de compostos fenólicos

A quantificação dos compostos fenólicos seguiu o método de Folin-Denis (Folin & Denis, 1912). Inicialmente, uma solução saturada de carbonato de sódio ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) foi preparada, adicionando 25 g de carbonato de sódio anidro em 100 mL de água destilada, dissolvendo-a em 70°C e armazenando-a em temperatura ambiente por 24 horas. Para a análise, 900  $\mu\text{L}$  das amostras previamente diluídas (mosto e cerveja), 7600  $\mu\text{L}$  de água destilada, 1000  $\mu\text{L}$  da solução de carbonato de sódio e 500  $\mu\text{L}$  do reagente de Folin-Denis foram pipetados em tubos de ensaio. As amostras foram solubilizadas e deixadas em repouso por 30 minutos à temperatura ambiente. A leitura da absorvância foi realizada em espectrofotômetro UV-Vis (Quimis® Q898DPT) a 760 nm, utilizando-se água destilada para leitura de absorvância zero. Uma curva de calibração foi elaborada com ácido gálico (ANEXO 2). Os resultados foram expressos como média  $\pm$  desvio padrão em miligramas (mg) de equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 mililitros (mL) de amostra ( $\text{mg GAE} \cdot 100 \text{ mL}^{-1}$ ).

#### 3.2.6.5 Determinação da atividade antioxidante (DPPH e ABTS)

A avaliação da capacidade antioxidante foi realizada pelo método DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazila), com adaptações conforme descrito por Rufino *et al.* (2007a) e do método ABTS (2,2'-azino-bis(3-etilbenzotiazolin) 6-ácido sulfônico), com modificações conforme Rufino *et al.* (2007b).

O DPPH é um radical que na presença de amostras antioxidantes, captura o hidrogênio (próton), estabilizando assim o radical e resultando em uma mudança da cor de roxo para rosa claro. Para as análises, transferiu-se alíquotas de 0,1 mL de cada amostra previamente diluída (mosto e cerveja) para tubos de ensaio contendo 3,9 mL da solução do radical DPPH e armazenadas a ausência de luz. A leitura foi realizada após 30 min em espectrofotômetro UV-Vis (Quimis® Q898DPT) a 517 nm. Usou-se álcool etílico como branco. Construiu-se uma curva padrão com concentrações conhecidas de Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico) (Sigma) (ANEXO 3). A partir da equação da reta resultante da curva

padrão de Trolox foram realizados os cálculos de atividade antioxidante. As análises foram feitas em triplicata e os resultados foram expressos como Mmol de Trolox equivalente·g<sup>-1</sup>.

O radical ABTS demonstra a capacidade de capturar prótons na solução, evidenciando o potencial antioxidante presente nas amostras analisadas. Após a captura, o radical se estabiliza, manifestando-se pela alteração na coloração de verde escuro para verde claro. Para isso, transferiu-se 20 µL de cada amostra (mosto e cerveja) para tubos de ensaio contendo 980 µL da solução do radical ABTS e armazenadas sob a ausência de luz por 6 minutos. Foi realizada a leitura em espectrofotômetro UV-Vis (Quimis® Q898DPT) a 734 nm, usando álcool etílico como branco. Construiu uma curva padrão com concentrações conhecidas de Trolox (6-Hidroxi-2,5,7,8-tetrametilchroman-2-ácido carboxílico) (Sigma) (ANEXO 4). As análises foram feitas em triplicata e a partir da equação da reta resultante da curva padrão os resultados foram expressos como Mmol de Trolox equivalente·g<sup>-1</sup>.

### 3.3 ANÁLISES ESTATÍSTICAS

Todos os resultados foram expressos como média ± desvio padrão das análises físico-químicas e microbiológicas em triplicata. A significância estatística foi fixada em p<0,05, o teste ANOVA foi utilizado para avaliar as diferenças nos valores das médias, e a comparação entre as médias foi feita utilizando o teste de *Tukey*. Os dados foram analisados com uso do *software* STATISTICA®, versão 10.0.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS MOSTOS, DOS FERMENTADOS E DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E DE BATATA-DOCE

A partir da utilização de 3,5 kg de mandioca, foi possível produzir 6 litros de mosto, resultando em um rendimento de 4 litros de fermentado alcoólico. Durante a primeira destilação, foram destilados 4 litros do fermentado alcoólico, resultando em 480 mL de aguardente. Na segunda destilação, ocorreu a separação das frações cabeça, coração e cauda, sendo que a fração coração da aguardente apresentou um rendimento de 380 mL e um teor alcoólico de 37,8% (Tabela 2).

Para a batata-doce, a partir da utilização de 4,3 kg de matéria prima, foi possível produzir 6 litros de mosto, resultando em um rendimento de 4 litros de fermentado alcoólico. Durante a primeira destilação, dos 4 litros de mosto, obteve-se 465 mL de aguardente com um teor alcoólico de 27 °GL. Na segunda destilação, com as separações das frações, a fração coração da aguardente apresentou um rendimento de 250 mL e um teor alcoólico de 37,7%.

**Tabela 2.** Rendimento dos mostos, fermentados alcoólicos e aguardentes de mandioca e de batata-doce

|                                |                               | <b>Mandioca</b> | <b>Batata-doce</b> |
|--------------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>Matéria-prima (kg)</b>      |                               | 3,5             | 4,3                |
| <b>Rendimento do mosto (L)</b> |                               | 6,0             | 6,0                |
| <b>Fermentado</b>              | <b>Rendimento (L)</b>         | 4,0             | 4,0                |
| <b>alcoólico</b>               | <b>Teor alcoólico (°GL)</b>   | 4,9             | 7,5                |
| <b>Primeiro</b>                | <b>Rendimento (mL)</b>        | 480,0           | 465,0              |
| <b>destilado</b>               | <b>Teor alcoólico (°GL)</b>   | ---             | 27,0               |
| <b>Segundo</b>                 | <b>Rendimento (mL)</b>        | 380,0           | 250,0              |
| <b>destilado</b>               | <b>Teor alcoólico (% v/v)</b> | 37,8            | 37,7               |

A Tiquira pode ser obtida tanto por métodos artesanais quanto por métodos modernos. No método moderno os fungos e as bactérias autóctones são substituídos por enzimas comerciais no processo de hidrólise do amido da mandioca (Bastos, 2013; Cereda, Brito, 2016). Neste trabalho, optou-se pela produção da aguardente de mandioca pelo método moderno, utilizando as amilases purificadas  $\alpha$ -amilase termoestável e amiloglicosidase da marca Sigma

visando obter um produto com padrões de qualidade que atendam aos critérios estabelecidos pela legislação brasileira.

A tiquira é uma bebida com graduação alcoólica de 36 a 54% em volume, portanto, nesse estudo, o teor alcoólico de 37,8% ficou de acordo com a legislação brasileira (Brasil, 2011a). Martins *et al.* (2020, p. 43) utilizaram amilases comerciais para a sacarificação do amido de mandioca (Liquozyme da Novozymes<sup>®</sup>, uma  $\alpha$ -amilase termoestável usada para liquefação do amido e AMG 300 L da Novozymes<sup>®</sup>, uma amiloglucosidase usada para a sacarificação do amido) e obtiveram uma aguardente com teor alcoólico de 37,0%. Souza *et al.* (2016) utilizaram o método do Koji (mistura de arroz cozido contendo fungos *A. oryzae* crescidos) para a hidrólise do amido de mandioca e obtiveram uma aguardente com teor alcoólico de 51,5%.

Ferreira *et al.* (2023) relataram 3 amostras de tiquira artesanal coletadas na cidade de Belém-PA com graduação alcoólica entre 41 e 42%. Oliveira *et al.* (2020) reportaram teores mais elevados de álcool de 51-54% em 5 amostras de tiquira originadas de fabricantes que elaboraram o produto de forma artesanal em municípios maranhenses.

O teor alcoólico da aguardente de batata-doce (37,7%) ficou próximo do limite mínimo exigido pela legislação brasileira para a aguardente de vegetal, que é de 38 a 54% (Brasil, 2011a). Weber *et al.* (2020) produziram uma aguardente de batata doce utilizando amilases comerciais (Stargen 002, uma mistura de enzimas da marca Genencor fabricado pela DuPont, contendo  $\alpha$ -amilase de *Aspergillus kawachi* e glucoamilase de *Trichoderma reesei*) e obtiveram teor alcoólico de 38,8%. Okutsu *et al.* (2016) utilizaram o método tradicional de Koji para a produção do sochu e reportaram valor de álcool de 15,0–15,2% no fermentado alcoólico e de 38% no destilado, porém o teor alcoólico foi ajustado a 25% com adição de água para a comercialização no Japão.

No presente estudo, o rendimento teórico das aguardentes foi de 10,8 litros para cada 100 Kg de mandioca e 5,8 litros para cada 100 Kg de batata doce no processo de bidestilação. Santos (2019) com o uso de amilases comerciais (Termamyl da Novozymes<sup>®</sup>, uma  $\alpha$ -amilase termoestável usada para liquefação do amido e AMG 300 L da Novozymes<sup>®</sup>, uma amiloglucosidase usada para a sacarificação do amido) obteve um rendimento teórico da aguardente de mandioca de 9,2 litros por 100 kg de mandioca com teor alcoólico de 38% na primeira destilação (destilação simples). Souza *et al.* (2016) com o uso do método do Koji obtiveram um rendimento teórico da aguardente de mandioca de 5,6 litros para cada 100 kg de mandioca no processo de bidestilação. Assim, a escolha do método de hidrólise enzimática do amido, do tipo de matéria prima e do processo de destilação influenciam no rendimento das

aguardentes. Segundo Souza *et al.* (2013) o rendimento médio da cachaça é de 10 litros por 100 kg de cana de açúcar no processo de destilação simples. A metodologia de bidestilação das aguardentes proporciona uma redução da concentração de ácido acético, aldeído acético, acetato de etila, álcool propílico e furfural, além da redução de compostos considerados contaminantes como metanol, sec-butanol, cobre e carbamato de etila (Silva *et al.*, 2020).

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos nas análises físico-químicas das massas, dos mostos e dos fermentados alcoólicos de mandioca e de batata-doce.

**Tabela 3.** Análises físico-químicas das massas, dos mostos e dos fermentados alcoólicos de mandioca e de batata-doce

| Análises físico-químicas        | Massa da mandioca      | Mosto de mandioca       | Fermentado alcoólico de mandioca | Massa da batata-doce   | Mosto de batata-doce    | Fermentado alcoólico de batata-doce |
|---------------------------------|------------------------|-------------------------|----------------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------------------|
| <b>pH</b>                       | 6,66±0,00 <sup>a</sup> | 6,40±0,00 <sup>b</sup>  | 4,65±0,00 <sup>c</sup>           | 6,13±0,00 <sup>c</sup> | 5,99±0,00 <sup>d</sup>  | 4,23±0,00 <sup>f</sup>              |
| <b>Sólidos solúveis (°Brix)</b> | 5,00±0,58 <sup>e</sup> | 10,50±0,00 <sup>b</sup> | 7,00±0,00 <sup>d</sup>           | 8,00±0,00 <sup>c</sup> | 12,50±0,00 <sup>a</sup> | 5,00±0,00 <sup>e</sup>              |
| <b>Açúcares redutores (%)</b>   | 0,25±0,07 <sup>f</sup> | 9,99±0,00 <sup>a</sup>  | 0,66±0,05 <sup>d</sup>           | 7,99±0,26 <sup>c</sup> | 9,19±0,01 <sup>b</sup>  | 0,54±0,35 <sup>e</sup>              |

Os resultados foram expressos com médias seguidas dos respectivos desvios padrão das medidas em triplicata. Letras diferentes dentro da mesma linha indicam diferenças significativas ao nível de  $p < 0,05$ , de acordo com o teste de Tukey a um nível de confiança de 95%.

A redução do pH observada nas bebidas fermentadas (4,65 para mandioca e 4,23 para batata doce) em comparação com os mostos (6,40 para mandioca e 6,13 para batata doce) decorre da produção dos ácidos orgânicos que são subprodutos gerados pela fermentação alcoólica (Chidi, Bauer, Rossouw, 2018; Ye, Yue, Yuan, 2014). Essa diminuição do pH do fermentado alcoólico é benéfica, pois protege o produto de contaminação bacteriana (Ceccato-Antonini, 2018). Os valores de pH acima de 5,00 ocasionam um ambiente propício ao crescimento bacteriano, o que vai elevar a acidez acética prejudicando as bebidas fermentadas (Martins *et al.*, 2020, p. 43). O ácido acético em pequenas quantidades é um produto secundário da fermentação alcoólica, porém a elevada acidez acética pode ser associada à contaminação da massa de mandioca ou do mosto por bactérias acéticas e/ou outros microrganismos, exercendo um impacto negativo no aroma e no sabor da bebida (Jesus *et al.*, 2020, p. 283).

Martins *et al.* (2020, p. 43) utilizaram amilases comerciais para a sacarificação do amido de mandioca e observaram resultados similares ao nosso estudo, com um pH entre 4,00 e 4,50 para os fermentados alcoólicos de mandioca. Souza *et al.* (2016) usaram o método do

Koji para a sacarificação do amido de mandioca e obtiveram um fermentado alcoólico com pH de 5,33.

O aumento do teor de sólidos solúveis totais (SST) e açúcares redutores nos mostos (9,99 °Brix e 10,50% para mandioca e 12,50 °Brix e 9,19% para batata doce) em comparação com as massas (5,00 °Brix e 0,25% para mandioca e 8,00 °Brix e 7,99% para batata doce) são indicativos de uma adequada quebra do amido pelas amilases. E os baixos valores de SST e açúcares obtidos nos fermentados alcoólicos (7,00 °Brix e 0,66% para mandioca e 5,00 °Brix e 0,54% para batata doce) são indicativos de que a levedura *Saccharomyces cerevisiae* utilizou os açúcares fermentescíveis para produção de etanol.

Resultados similares foram observados por Vilhalva *et al.* (2013, p. 811), em que o SST do mosto de mandioca foi 14 °Brix, estabilizando-se para 4,6 °Brix após 24 horas de fermentação. Sena *et al.* (2017, p. 345), utilizaram amilases comerciais para sacarificação da fécula de mandioca e o mosto apresentou 23,1 °Brix, e diminuiu para 13 °Brix após 7 dias de fermentação. Okutsu *et al.* (2016) utilizaram o método tradicional de Koji para a produção do sochu e reportaram um teor de açúcares residuais nos fermentados alcoólicos de 1,6–1,8%.

A Tabela 4 apresenta os resultados das análises cromatográficas das frações coração das aguardentes de mandioca e de batata-doce. O valor de metanol permitido pela legislação brasileira nessas aguardentes é de 20 mg/100 mL álcool anidro. Sendo assim, os teores de metanol da aguardente de mandioca (7,12 mg/100 mL álcool anidro) e da aguardente de batata-doce (9,60 mg/100 mL álcool anidro) estão de acordo com a legislação brasileira.

O principal motivo desse estudo para o uso de amilases purificadas na produção das aguardentes de mandioca e de batata-doce foi o controle do metanol nos produtos obtidos, mesmo sabendo que as amilases purificadas são caras e possam não oferecer uma bom custo-benefício na produção comercial dessas aguardentes, entretanto elas têm o potencial de elevar significativamente a qualidade das bebidas.

Em estudos anteriores conduzidos por nosso grupo de pesquisa, o uso do método de Koji (Souza *et al.*, 2016) e de amilases industriais (Santos, 2019) resultou em aguardentes de mandioca com maiores teores de metanol de 127,15 e 34,75 mg/100 mL álcool anidro, respectivamente. Esses teores de metanol não estão em níveis tóxicos que impeçam o consumo, considerando que em aguardentes de frutas, a legislação brasileira permite um limite de até 400 mg/100 mL de metanol (Brasil, 2011b), mas deixaram essas aguardentes em desacordo com a legislação brasileira.



**Tabela 4.** Análises cromatográficas das frações coração das aguardentes de mandioca e de batata-doce

| Análises<br>(mg/100 mL álcool anidro)   | Mandioca | Batata-<br>doce | <sup>3</sup> Valores de<br>referência | <sup>4</sup> Valores<br>de<br>referência |
|---|----------|-----------------|---------------------------------------|--|
| Álcool metílico                         | 7,12     | 9,60            | 0-20                                  | 0-20                                     |
| Aldeídos em aldeído acético             | 1,48     | 4,32            | 0-20                                  | 0-30                                     |
| Ésteres em acetato de etila             | 1,75     | 1,70            | 0-200                                 | 0-200                                    |
| Acidez volátil em ácido acético         | 32,94    | 36,87           | 0-100                                 | 0-150                                    |
| <sup>1</sup> Álcoois superiores         | 422,91   | 248,12          | 0-300                                 | 0-360                                    |
| Álcool propílico                        | 164,15   | 8,20            | -                                     | -  |
| Álcool iso-butílico                     | 32,35    | 32,97           | -                                     | -  |
| Álcool iso-amílico                      | 226,40   | 206,95          | -                                     | -  |
| Álcool sec-butanol                      | nd       | 0,74            | -                                     | -  |
| Álcool n-butílico                       | nd       | 1,46            | -                                     | -  |
| Furfural+ Hidroximetilfurfural          | 0,87     | nd              | 0-5                                   | 0-5                                      |
| <sup>2</sup> Coefficiente de congêneres | 459,95   | 291,01          | 200-650                               | 200-650                                  |
| <b>Contaminantes</b>                    |          |                 |                                       |  |
| Carbamato de etila (mg/L)               | 0,82     | 1,05            | -                                     | -  |
| Cobre (mg/L)                            | nd       | nd              | 0-5                                   | 0-5                                      |
| Chumbo (mg/L)                           | nd       | nd              | 0-0,2                                 | 0-0,2                                    |

nd = não detectado.<sup>1</sup>Álcoois superiores são expressos pela soma dos álcoois propílico, iso-butílico e iso-amílico. <sup>2</sup>Coefficiente de congêneres são expressos pela soma de acidez volátil, aldeídos, acetato de etila, álcoois superiores e furfural. <sup>3</sup>Valores estabelecidos pela legislação brasileira para a identidade e qualidade da tiquira. <sup>4</sup>Valores estabelecidos pela legislação brasileira para a identidade e qualidade da aguardente de vegetal (Brasil, 2011a,b).

Souza *et al.* (2016) atribuíram o elevado teor de metanol na aguardente de mandioca ao fato de que o fungo *A. oryzae* é produtor de enzimas pectinolíticas e a mandioca contém pectina (2,19 a 2,46% de pectina total em peso fresco), sendo assim, as enzimas pectinolíticas

dos fungos catalisaram a hidrólise do grupo metoxil da pectina da mandioca e isso aumentou a concentração de metanol no mosto.

A batata-doce também é uma matéria-prima que contém pectina, sendo que Zaidel *et al.* (2015) reportaram um rendimento de pectina de 5,0 a 6,0% em peso seco de batata-doce. Weber *et al.* (2020) produziram uma aguardente de batata doce utilizando amilases comerciais e obtiveram elevados teores de metanol de 302,64 a 380,89 mg/100 mL álcool anidro.

A possível explicação para os teores mais elevados de metanol tanto na aguardente de batata-doce (Weber *et al.*, 2020) quanto na aguardente de mandioca (Santos, 2019) foi que ambos os estudos usaram amilases produzidas por fungos (AMG 300 L da Novozymes® é produzida por *A. niger* e Stargen 002 contém uma  $\alpha$ -amilase de *A. kawachi*). Essas amilases de uso industrial não são purificadas, e assim, tem um custo viável para aplicação na indústria alimentícia. Considerando que os fungos *Aspergillus* são eficientes produtores de várias enzimas como celulasas, pectinases, proteases e amilases (Mojsov, 2022), essas enzimas industriais devem conter uma mistura enzimática que inclui as amilases e as pectinases. Portanto, houve a liberação de metanol pela hidrólise enzimática da pectina da batata-doce e da mandioca ao se utilizar as enzimas industriais, aumentando o teor de metanol nas bebidas destiladas.

Os teores de aldeído acético, acetato de etila e acidez volátil em ácido acético foram baixos nas aguardentes de mandioca e de batata-doce e estão de acordo com a legislação brasileira (Brasil, 2011a). Os teores elevados desses três componentes podem estar associados a más condições de higiene do ambiente e dos equipamentos e manejo descuidado do mosto, permitindo a contaminação por bactérias acéticas (Balcerek *et al.*, 2017; Kostik *et al.*, 2014; Pang *et al.*, 2017).

Ferreira *et al.* (2023) relataram que 3 amostras de tiquira artesanal coletadas na cidade de Belém-PA apresentaram elevada acidez volátil de 304,8, 159,5 e 80,9 mg/100 mL, estando, portanto, 2 amostras com os valores acima do permitido pela legislação brasileira para a tiquira (100 mg/100 mL álcool anidro). E Jesus *et al.* (2020) detectaram um teor de aldeído acético de 42,6 mg/100 mL em uma amostra de tiquira artesanal comercializada em São Luís-MA, estando tal valor acima do permitido pela legislação brasileira para a tiquira (20 mg/100 mL álcool anidro). A produção artesanal da tiquira não propicia um controle do ambiente fermentativo, e assim, favorece a contaminação com bactérias lácticas e acéticas.

Martins *et al.* (2020) utilizaram amilases comerciais para a sacarificação do amido de mandioca e obtiveram um resultado de 69,53 mg/100 mL de acidez volátil e 187,23 mg/100 mL de acetato de etila para a aguardente de mandioca. Weber *et al.* (2020) reportaram valores de

137,24 a 146,07 mg/100 mL de acetato de etila e não detectaram acidez volátil nas aguardentes de batata doce produzidas com o uso de amilases comerciais. Os valores de acetato de etila permitidos pela legislação brasileira nessas aguardentes variam de 0 a 200 mg/100 mL álcool anidro (Brasil, 2011a).

O teor de álcoois superiores na aguardente de mandioca de 422,91 mg/100 mL álcool anidro superou o limite estabelecido pela legislação brasileira (<300 mg/100 mL álcool anidro). Por outro lado, a aguardente de batata-doce apresentou um teor de 248,12 mg/100 mL álcool anidro, situando-se dentro dos padrões exigidos na legislação (<360 mg/100 mL álcool anidro). Quantitativamente, os álcoois superiores representam o maior grupo de substâncias voláteis nas bebidas destiladas, sendo a soma dos álcoois propílico, iso-butílico e iso-amílico (Pang *et al.*, 2017, p. 435). O excesso de álcoois superiores pode ter um impacto negativo na qualidade das bebidas e causar sabores indesejáveis, às vezes descritos como picantes (Alonso *et al.*, 2015).

Weber *et al.* (2020) reportaram valores de 165,98 a 184,44 mg/100 mL de álcoois superiores nas aguardentes de batata-doce produzidas com o uso de amilases comerciais. Santos (2019) obtiveram 336,51 mg/100 mL de álcoois superiores na aguardente de mandioca produzida com o uso de amilases comerciais.

O furfural é comumente resultante da degradação de polissacarídeos, como a hemicelulose. Esses compostos se originam dos açúcares ainda presentes durante a destilação ou das substâncias em suspensão destiladas do mosto. A presença de furfural compromete a qualidade da aguardente, influenciando negativamente tanto aroma quanto sabor, além de apresentar potenciais efeitos prejudiciais ao organismo (Oliveira *et al.*, 2022, p. 6). No presente estudo, o teor de furfural na aguardente de mandioca (0,87 mg/100 mL álcool anidro) entrou nos parâmetros exigidos na legislação (< 5 mg/100 mL álcool anidro) e na aguardente de batata-doce não foi detectado furfural.

Conforme evidenciado na Tabela 4, não houve teor de cobre nas aguardentes deste estudo e esse resultado já era previsível, uma vez que o destilador utilizado no laboratório é de vidro e não contém cobre em sua composição. Martins *et al.* (2020) utilizaram alambique de cobre para destilar o fermentado alcoólico de mandioca e obtiveram um teor de cobre de 0,94 mg/L na aguardente de mandioca, estando o valor dentro do limite estabelecido pela legislação brasileira (até 5 mg/L).

O carbamato de etila teve valores elevados nas aguardentes de mandioca e batata-doce (0,82-1,05 mg/L). Esse é um contaminante não desejado nas aguardentes, pois pode ter potencial carcinogênico em certas concentrações (Śliwińska *et al.*, 2015). Para atender aos critérios de exportação, a legislação brasileira estabeleceu para a cachaça (aguardente de cana-

de-açúcar) o limite máximo de carbamato de etila de 0,21 mg/L (Brasil, 2022), porém não limitou a concentração de carbamato de etila para outros tipos de aguardentes.

#### 4.2 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS DOS MOSTOS E DAS CERVEJAS DE MANDIOCA E DE BATATA-DOCE

A Tabela 5 apresenta os resultados das análises físico-químicas dos mostos e das cervejas de mandioca e de batata-doce.

**Tabela 5.** Análises físico-químicas dos mostos e das cervejas de mandioca e de batata-doce

| Análises                                    | Mandioca                 |                          | Batata-doce               |                          |
|---|--------------------------|--------------------------|---------------------------|--------------------------|
|   | Mosto                    | Cerveja                  | Mosto                     | Cerveja                  |
| <b>pH</b>                                   | 4,51±0,01 <sup>c</sup>   | 4,46±0,12 <sup>d</sup>   | 5,68±0,03 <sup>a</sup>    | 4,68±0,17 <sup>b</sup>   |
| <b>Sólidos Solúveis (°Brix)</b>             | 11,97±0,06 <sup>b</sup>  | 9,80±1,47 <sup>c</sup>   | 15,00±0,00 <sup>a</sup>   | 8,00 0,00 <sup>d</sup>   |
| <b>Açúcares Redutores (%)</b>               | 4,55±0,08 <sup>a</sup>   | 2,43±0,05 <sup>c</sup>   | 5,85±0,05 <sup>b</sup>    | 1,14±0,00 <sup>d</sup>   |
| <b>Álcool (°GL)</b>                         | --                       | 5,50±0,00 <sup>a</sup>   | --                        | 5,20±0,00 <sup>a</sup>   |
| <b>Compostos Fenólicos (mg/100 mL)</b>      | 189,59±5,08 <sup>b</sup> | 196,97±1,09 <sup>a</sup> | 105,50±10,60 <sup>d</sup> | 111,25±5,65 <sup>c</sup> |
| <b>DPPH (Trolox EQ Mmol·g<sup>-1</sup>)</b> | 1,08±4,54 <sup>c</sup>   | 1,30±5,23 <sup>a</sup>   | 1,17±2,12 <sup>b</sup>    | 0,99±1,27 <sup>d</sup>   |
| <b>ABTS (Trolox EQ Mmol·g<sup>-1</sup>)</b> | 5,41±6,12 <sup>b</sup>   | 6,00±9,18 <sup>a</sup>   | 0,85±9,01 <sup>d</sup>    | 0,99±4,66 <sup>c</sup>   |

Os resultados foram expressos com médias seguidas dos respectivos desvios padrão das medidas em triplicata. Letras diferentes dentro da mesma linha indicam diferenças significativas ao nível de  $p < 0,05$ , de acordo com o teste de Tukey a um nível de confiança de 95%.

Fonte: Autor, 2024.

Os mostos de mandioca e de batata-doce tiveram um pH de 4,51-5,68. O pH dos mostos foi comparável ao das cervejas à base de cereais, assim, a adição de mandioca ou batata-doce não contribuíram para um aumento na acidez dos mostos. Em geral, o pH do mosto de malte de cevada varia de 4,60 a 5,80 (Saarni *et al.*, 2020). Gugino *et al.* (2024) obtiveram um pH de 6,09-6,34 em mostos de malte de trigo, e Gasinski *et al.* (2021) relataram um pH de 5,60-5,80 em mostos de malte de cevada.

Por outro lado, a adição de outros adjuntos, como frutas com alta acidez, pode levar a um aumento da acidez e diminuição do pH do mosto. Cioch-Skoneczny *et al.* (2023) observaram um aumento na acidez do mosto de 1,16 para 4,64% com a adição de 20% de suco de uva e para 7,72% com a adição de 40% de suco de uva. E Kawa-Rygielska *et al.* (2019) observaram uma diminuição no pH do mosto de 5,81 para 3,55-3,77 com a adição de frutas de Cornelian cherry.

As cervejas de mandioca e de batata-doce tiveram um pH de 4,68-4,46 e esses valores foram comparáveis aos valores de cervejas de malte de cevada cujo pH, em geral, varia de 3,80 a 4,70 (Ciont *et al.*, 2022). Oliveira *et al.* (2021, p. 121423), obtiveram resultado semelhante, registrando um pH de 4,28 em cerveja feita com farinha de batata-doce e flor de laranjeira. Humia *et al.* (2019) relataram um pH de 4,00 a 4,20 em cervejas feitas com flocos de batata-doce laranja. Panda *et al.* (2015) observaram um pH de 3,05 a 3,45 em cervejas feitas com flocos de batata-doce roxa. Akpoghelie *et al.* (2022) observaram um valor de pH de 3,65 a 4,86 para cervejas feitas com malte de sorgo (50-60%) e flocos de mandioca amarela (40-50%).

O mosto de mandioca apresentou teor de SST de 11,97 °Brix e 4,55% de açúcares redutores e a cerveja de mandioca apresentou teor de SST de 9,80 °Brix e 2,43% de açúcares redutores. Akpoghelie *et al.* (2021) obtiveram no mosto feito com malte de sorgo (50%) e flocos de mandioca amarela (50%) um teor de SST de 17,80 °Brix e na cerveja um teor de SST de 6,50 °Brix.

No mosto de batata-doce do presente estudo foi obtido teor de SST de 15 °Brix e 5,85% de açúcares redutores, enquanto a cerveja de batata-doce obteve teor de SST de 8 °Brix e 1,14% de açúcares redutores. Humia *et al.* (2019) obtiveram um teor de sólidos solúveis de 12 °Brix em mostos feitos com flocos de batata-doce laranja e 4,05-6,11 °Brix nas cervejas. De acordo com Cadenas *et al.* (2021), as batatas-doces têm excelentes propriedades para serem usadas como adjunto na indústria cervejeira, pois são principalmente compostas de amido e açúcares e têm um alto teor de  $\beta$ -amilases, que são mais estáveis ao calor do que as  $\beta$ -amilases da cevada.

A cerveja de mandioca apresentou teor alcoólico de 5,50 °GL e a de batata-doce 5,20 °GL. Gonçalves *et al.* (2022) elaboraram uma cerveja artesanal com 20% de fécula de mandioca e malte de cevada e obtiveram teor alcoólico de 5,20%. As cervejas feitas com flocos de batata-doce laranja tiveram teores de álcool de 3,90-5,05% (Humia *et al.*, 2019), enquanto as cervejas feitas com flocos de batata-doce roxa tiveram teores de álcool mais baixos, variando de 3,37-3,77% (Panda *et al.*, 2015).

O teor de compostos fenólicos totais da cerveja de mandioca foi de 196,97 mg/100 mL e da cerveja de batata-doce foi de 111,25 mg/100 mL. O mosto e a cerveja de mandioca apresentaram valores maiores de compostos fenólicos totais em comparação com o mosto e a cerveja de batata-doce, provavelmente devido ao uso do malte torrado tipo Cara Gold Castle. Snežana *et al.* (2014) reportaram que o teor de compostos fenólicos foi significativamente maior em cervejas escuras do que em cervejas claras. González-Mendonza *et al.* (2022) determinaram o teor de compostos fenólicos em diferentes cervejas artesanais mexicanas. Os resultados mostraram uma maior quantidade de compostos fenólicos totais nos estilos de cervejas escuras

como: Coffee Stout Imperial (362 mg/L) e Stout Ale (299 mg/L). Em contraste os estilos de cervejas claras como: American Wheat Ale (65 mg GAE/L), Lager (102 mg GAE/L) e IPA (103,73 mg GAE/L) mostraram um menor conteúdo de compostos fenólicos totais.

Os ácidos fenólicos e os flavonoides estão presentes na batata-doce de todas as cores de polpa (Alam, 2021). Panda *et al.* (2015) relataram um aumento no teor de compostos fenólicos na cerveja feita com 50% de flocos de batata-doce roxa (31,00 mg/100 mL) em comparação com a cerveja de malte de cevada (19,00 mg/100 mL). Humia *et al.* (2019) também observaram um aumento no teor de compostos fenólicos na cerveja feita com 70% de flocos de batata-doce laranja (23,05 mg/100 mL) em comparação com a cerveja de malte de cevada (21,09 mg/100 mL).

Caon *et al.* (2021) relataram que cervejas artesanais têm teores mais elevados de compostos fenólicos totais, como catequina, rutina, epicatequina e ácido cafeico, em comparação com cervejas tradicionais. Alguns estudos têm mostrado que o consumo moderado de álcool possui propriedades benéficas contra doenças crônicas em populações adultas saudáveis, incluindo a redução do estresse oxidativo, inflamação e doenças cardiovasculares (Caon *et al.*, 2021; Fernández-Solà, 2015; Quesada-Molina *et al.*, 2019).

A cerveja de mandioca apresentou os maiores valores de atividade antioxidante (6,00 e 1,30 mM TE/g de atividade antioxidante por ABTS e DPPH) em comparação com a cerveja de batata-doce (0,99 mM TE/g de atividade antioxidante por ABTS e DPPH). Esse já era um resultado esperado, pois o teor de compostos fenólicos totais da cerveja de mandioca foi maior em relação a cerveja de batata-doce.

Os compostos fenólicos influenciam significativamente no sabor das cervejas e contribuem para sua estabilidade química e durabilidade (Silva *et al.*, 2021). Além disso, a presença dos compostos fenólicos, derivados naturalmente de maltes e lúpulos, está intimamente ligada à atividade antioxidante nas cervejas. Esta atividade antioxidante exerce influência direta sobre a qualidade sensorial da cerveja, retardando as mudanças indesejadas de sabor e aroma durante o armazenamento na garrafa. Consequentemente, esses compostos fenólicos desempenham um papel crucial ao prevenir ou retardar reações de oxidação, determinando assim a vida útil da cerveja (Wannenmacher *et al.*, 2019).

Humia *et al.* (2019) e Panda *et al.* (2015) observaram que a adição de flocos de batata-doce laranja e roxa nas cervejas teve um efeito positivo na atividade antioxidante, o que pode estar relacionado ao teor de  $\beta$ -caroteno para as batatas-doces laranja e ao teor de antocianina para as batatas-doces roxas e seu sinergismo com compostos fenólicos. Gasiński *et al.* (2023) também observaram um aumento na atividade antioxidante usando batatas (*Ipomea batatas*) de

cor roxa em cervejas. Os autores obtiveram valores de atividade antioxidante por ABTS de 2,01 e 2,38 mM TE/dm<sup>3</sup> em cervejas com a adição de 30 e 50% de batatas-doces, respectivamente, enquanto a cerveja controle apresentou 1,88 mM TE/dm<sup>3</sup>. Rosales *et al.* (2021) relataram que cervejas artesanais apresentaram maior atividade antioxidante quando comparadas às cervejas convencionais.

A Figura 17 apresenta o aspecto visual das cervejas de mandioca e batata-doce. É interessante notar que os estudos na literatura utilizaram flocos secos de batata-doce ou batata ou mandioca para produção das cervejas (a polpa de batata-doce ou batata ou mandioca foi cortada em fatias finas e seca para produzir flocos) (Akpoghelie *et al.*, 2021; Gasiński *et al.*, 2023; Humia *et al.*, 2020; Panda *et al.*, 2015), enquanto este estudo utilizou polpa úmida, cozida e amassada de mandioca e batata-doce, e se mostrou uma metodologia adequada para a produção das cervejas, eliminando a etapa de secagem e conseqüentemente diminuindo o custo da produção.

**Figura 17.** Aspecto das cervejas de mandioca e batata-doce



Fonte: Autoria própria, 2024.

As cervejas de mandioca e de batata-doce representam uma inovação, pois o uso de ingredientes como mandioca e batata-doce agrega valor aos insumos, proporciona um custo de produção acessível e um elevado valor nutricional as cervejas. Além disso, sua alta atividade antioxidante adiciona uma dimensão de saúde ao seu consumo, potencialmente oferecendo benefícios para o bem-estar dos consumidores. Essa combinação de novidade, diversidade de sabores e propriedades promotoras de saúde pode contribuir para a popularidade e comercialização dessas cervejas inovadoras.

## 5 CONCLUSÃO

A produção das aguardentes a partir da mandioca e da batata-doce demonstrou ser viável em escala laboratorial. Os resultados obtidos evidenciaram também a eficiência do processo de hidrólise dos amidos em açúcares fermentáveis, garantindo um alto rendimento alcoólico. A bidestilação se tornou eficaz na redução do teor de metanol, garantindo a qualidade dessas bebidas. As bebidas destiladas feitas a partir de ingredientes de origem local como a mandioca e a batata-doce podem proporcionar benefícios significativos aos produtores rurais e às economias locais, representando uma oportunidade para um desenvolvimento sustentável.

Assim, obteve-se uma produção eficiente de aguardentes e cervejas de mandioca e batata-doce, demonstrando um potencial para a produção comercial dessas bebidas. O conhecimento gerado por este estudo pode servir como base para futuras pesquisas e para o desenvolvimento de produtos que atendam às necessidades e preferências dos consumidores, promovendo assim a inovação e a sustentabilidade na indústria de bebidas alcoólicas.



## REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, J. A. S. *et al.* Fungos de interesse: Aplicações Biotecnológicas. **Revista UNINGÁ Review**, v. 21, n. 1, p. 55-59, 2015.
- AKPOGHELIE, P. O. *et al.* Proximate and nutritional composition of beer produced from malted sorghum blended with yellow cassava. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 45, p. 102535, 2022.
- AKPOGHELIE, P. O. *et al.* Blend of sorghum and yellow cassava as a substrate for beer production using *Saccharomyces cerevisiae*. **Nigerian Journal of Microbiology**, v. 35, n. 2, p. 5844-5868, 2021.
- ALAM, M.K. A comprehensive review of sweet potato (*Ipomoea batatas* [L.] Lam): Revisiting the associated health benefits. **Trends in Food Science and Technology**, v. 115, p. 512-529, 2021.
- ALCARDE, A. R.; BORTOLETTO, A. M. Aguardente de cana bidestilada. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1, cap. 16, p. 349-358.
- ALMEIDA, V. S. B. *et al.* Avaliação físico-química em cerveja artesanal elaborada com café. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 6, p. 1-7, 2023.
- ALONSO, E.; TORRADO, A.; GUERRA, N.P. Major volatile composition of four distilled alcoholic beverages obtained from fruits of the forest. **Chemical Engineering Transactions**, v. 44, p. 253-258, 2015.
- AOAC - Official methods of analysis, Washington, 2019.
- ÁVILA, R. A. *et al.* Influência da composição mineral da água na qualidade da cerveja. In: CORDEIRO, C. A. M. *et al.* **Ciência e Tecnologia de Alimentos: O avanço da ciência no Brasil**. 1. ed. Guarujá - SP: Científica Digital, 2022. v. 1, cap. 9, p. 121-131.
- AYETIGBO, O. *et al.* Comparing characteristics of root, flour, and starch of biofortified yellow-flesh and white-flesh cassava variants, and sustainability considerations: a review. **Sustainability**, v. 10, n. 3089, ed. 9, p. 1-32, 2018.
- BALCEREK, M. *et al.* The effect of distillation conditions and alcohol content in 'heart' fractions on the concentration of aroma volatiles and undesirable compounds in plum brandies. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, p. 452– 463, 2017.
- BACH, D. *et al.* Sweet Potato (*Ipomoea batatas* L.): a versatile raw material for the food industry. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 64, 2021.
- BASTOS, F. A. **Otimização do processo de produção de Tiquira empregando enzimas comerciais e fungos isolados a partir dos beijos utilizados no método tradicional**. 2013. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Curso de Química, Departamento de Química, Universidade Federal do Maranhão, São Luís, 2013.

BLUMENTHAL, P. *et al.* Methanol mitigation during manufacturing of fruit spirits with special consideration of novel coffee cherry spirits. **Molecules**, v. 26, p. 2-16, 2021.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Assessment of chemical quality of Brazilian sugar cane spirits and cachaças. **Food Control**, v. 54, p. 1-6, 2015.

BORTOLETTO, A. M.; ALCARDE, A. R. Congeners in sugar cane spirits aged in casks of different woods. **Food Chemistry**, v.139, p.695-701, 2013.

BORTOLI, D. A. S *et al.* Leveduras e produção de cervejas - Revisão. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, n. 1, p. 45-58, 2013.

BOTELHO, G.; ANJOS, O.; ESTEVINHO, L.M.; CALDEIRA, I. Methanol in grape derived, fruit and honey spirits: A critical review on source, quality control, and legal limits. **Processes**, v. 8, p. 2-21, 2020.

BRASIL. (2022). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Portaria nº 539, de 26 de dezembro de 2022. Estabelece os padrões de identidade e qualidade da aguardente de cana e da cachaça.

BRASIL. (2019a). Decreto nº 9.902, de 8 de julho de 2019. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas.

BRASIL (2019b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. D.O.U. Publicado em dezembro de 2019, ed 239, p.31. Brasília. 2019.

BRASIL (2011a). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA). Instrução Normativa nº 15, de 31 de março de 2011. Instrução Normativa e Anexo que aprovam os regulamentos técnicos para fixação dos padrões de identidade e qualidade para as bebidas alcoólicas destiladas: aguardente de melão, cereal, vegetal, rapadura, melado, fruta, arac, rum, sochu, tequila, tiquira e uísque.

BRASIL. (2011b). Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução Normativa nº 15 de 31/03/2011. Complementação dos Padrões de Identidade e Qualidade para Bebidas Alcoólicas Destiladas, Comercializadas em todo o Território Nacional.

CAON, G. *et al.* Moderate beer consumption promotes silymarin-like redox status without affecting the liver integrity *in vivo*. **Food Bioscience**, v. 43, p. 101307, 2021.

CAPOBIANGO, M.; OLIVEIRA, E.D.; CARDEAL, Z.D. Evaluation of methods used for the analysis of volatile organic compounds of sugarcane (cachaça) and fruit spirits. **Food Analytical Methods**, v. 6, p. 978-988, 2013.

CARVALHO, N.B. *et al.* Characterization of the consumer market and motivations for the consumption of craft beer. **British Food Journal**, v. 120, p. 378-391, 2018.

CECCATO-ANTONINI, S.R. Conventional and nonconventional strategies for controlling bacterial contamination in fuel ethanol fermentations. **World Journal of Microbiology and Biotechnology**, v. 34, 2018.

CEREDA, M. P, BRITO, V. H. S. Tiquira. *In*: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1, cap. 24, p. 469-488.

CHIDI, B.S.; BAUER, F.F. and ROSSOUW, D. Organic acid metabolism and the impact of fermentation practices on wine acidity: a review. **South African Journal of Enology and Viticulture**, v. 39, n. 2, p. 1-15, 2018.

CIOCH-SKONECZNY, M. *et al.* Physicochemical characteristics of beer with grape must addition produced using non-*Saccharomyces* yeasts. **European Food Research and Technology**, v. 249, p. 903–912, 2023.

CIONT, C. *et al.* Beer Safety: new challenges and future trends within craft and large-scale production. **Foods**, v. 11, n. 17, p. 2693, 2022.

CONAB (2023). Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB). Análise mensal: mandioca dezembro/2023. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/info-agro/analises-do-mercado-agropecuário-e-extrativista/analises-do-mercado/historico-mensal-de-mandioca>>. Acesso em: 05 fev 2024.

COSTA JARDIM, C. *et al.* Sensory profile, consumer preference and chemical composition of craft beers from Brazil. **Beverages**, v. 4, p. 106, 2018.

DRAGONE, G. *et al.* *In*: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1, cap. 3, p. 51-84.

DRAPAL, M. *et al.* Capturing biochemical diversity in cassava (*Manihot esculenta* Crantz) through the application of metabolite profiling. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 67, p. 986-993, 2019a.

DRAPAL, M.; ROSSEL, G.; HEIDER, B.; FRASER, P. D. Metabolic diversity in sweet potato (*Ipomoea batatas*, Lam.) leaves and storage roots. **Horticulture Research**, v. 6, n. 1, 2019b.

EL SHEIKHA, A. F.; RAY, R. C. Potential impacts of bioprocessing of sweet potato: Review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 3, p. 455-471, 2017.

EMBRAPA. 2022a. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *In*: Embrapa desenvolve sua primeira mandioca de mesa para o estado de São Paulo. 7 jun. 2022. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/71255757/embrapa-desenvolve-sua-primeira-mandioca-de-mesa-para-o-estado-de-sao-paulo>>. Acesso em: 6 fev. 2024.

EMBRAPA. 2022b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *In*: Cultivares de batata-doce da Embrapa. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/cultivar/batata-doce>>. Acesso em: 6 fev. 2024.

EMBRAPA. 2021a. Sistema de produção de Batata-doce. Embrapa Hortaliças, v. 9, 2021.

EMBRAPA. 2021b. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *In*: Cevada. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/agencia-de-informacao-tecnologica/cultivos/cevada#:~:text=Cevada%2C%20Hordeum%20vulgare%2C%20sp.,total%20de%20gr%C3%A3os%20produzidos%20mundialmente.>>. Acesso em: 20 fev. 2024.

EMBRAPA. 2012. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária. *In*: Aspectos econômicos e conjunturais da cultura da cevada. Outubro, 2012. ISSN 1518-6512. Disponível em: <<https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/969146/1/2012documentosonline139.pdf>>. Acesso em: 19 fev 2024.

FAOSTAT. 2020. Countries by commodity: sweet potatoes. Disponível em: <[http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries\\_by\\_commodity](http://www.fao.org/faostat/en/#rankings/countries_by_commodity)>. Acesso em: 09 fev. 2024.

FAOSTAT. 2021. Food and Agriculture Organization of the United Nations (2021): <<http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC/visualize>>. Acesso em: 21 fev 2024.

FERNÁNDEZ-SOLÀ, J. Cardiovascular risks and benefits of moderate and heavy alcohol consumption. **Nature Reviews Cardiology**, v. 12, p. 576-587, 2015.

FERREIRA, J. P. B. *et al.* Analysis of quality control in tiquira cachaça sold at Ver-o-Peso in Belém-PA. **Research, Society and Development**, v. 12, n. 12, 2023.

FLORES, A. B. *et al.* Perfil sensorial e avaliações físico-químicas de cerveja artesanal de chocolate e caramelo. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 7, n. 4, p. 158-166, 2015.

FOLIN, O.; DENIS, W. On phosphotungstic-phosphomolybdic compounds as color reagents. **The Journal of Biological Chemistry**, v. XII, p. 239-243, 1912.

FONSECA, A. A. O. *et al.* Produção, caracterização e avaliação sensorial de fermentado alcoólico de manga (*Mangifera indica* L.) variedade “Carlota”. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 7, p. 46176-46192, 2020.

GALVÃO, A. C.; NICOLETTO, C.; ZANIN, G.; VARGAS, P. F.; SAMBO, P. Nutraceutical content and daily value contribution of sweet potato accessions for the European market. **Horticulturae**, v. 7, n. 2, p. 23, 2021.

GASIŃSKI, A.; KAWA-RYGIELSKA, J.; KITA, A.; KUCHARSKA, A. Physicochemical parameters, sensory profile and concentration of volatile compounds and anthocyanins in beers brewed using potato variety with purple flesh. **Science Report**, v. 13, p. 10094, 2023.

GASIŃSKI, A. *et al.* Analysis of physicochemical parameters of congress worts prepared from special legume seed malts, acquired with and without use of enzyme preparations. **Foods**, v. 10, n. 2, p. 304, 2021.

GOMES, F. O. Atividade enzimática da beta-amilase em cerveja utilizando diferentes períodos de repouso. *In*: EVANGELISTA-BARRETO, N. S.; CORDEIRO, C. A. M. **Ciência e Tecnologia de Alimentos: O avanço da ciência no Brasil**. 1. ed. Guarujá - SP: Científica Digital, 2023. v. 3, cap. 6.

GONÇALVES, J. N. *et al.* Elaboração de cerveja artesanal do estilo Caxiri beer com adição de camu-camu (*Myrciaria dubia*). **Brazilian Journal of Science**, v. 1, n. 4, p. 101-108, 2022.

GONZÁLEZ-MENDOZA, D.; TZINTZUN-CAMACHO, O.; MENDEZ-TRUJILLO, V. Determination of antioxidant activity and phenolic compounds in different Mexican craft beers. **Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales**, v. 9, n. 1, p. 46–54, 2022.

GUGINO, I. M. *et al.* Maiorca wheat malt: a comprehensive analysis of physicochemical properties, volatile compounds, and sensory evaluation in brewing process and final product quality. **Food Chemistry**, v. 435, p. 137517, 2024.

GUIMARÃES, B. P. *et al.* Prospecção tecnológica do lúpulo (*Humulus lupulus* L.) e suas aplicações com ênfase no mercado cervejeiro brasileiro. **Cadernos de Prospecção**, v. 14, n. 3, p. 858-872, 2021.

HINOJOSA-AVILA, C. R. *et al.* Exploring the potential of probiotic-enriched beer: Microorganisms, fermentation strategies, sensory attributes, and health implications. **Food Research International**, v. 175, p. 113717, 2024.

HUMIA, B.V. *et al.* Physicochemical and sensory profile of *Beauregard* sweet potato beer. **Food Chemistry**, v. 312, p. 126087, 2020.

IAL - Instituto Adolfo Lutz (São Paulo). **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. coordenadores Odair Zenebon, Neus Sadocco Pascuet e Paulo Tiglea - São Paulo: Instituto Adolfo Lutz, 2008.

IBGE. 2020. Produção Agrícola Municipal. Sistema IBGE de Recuperação Automática - SIDRA. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/explica/producao-agropecuaria/batata-doce/br>> Acesso em: 09 fev. 2024.

JARAMILLO, P. M. D. *et al.* The characterization of a pectin-degrading enzyme from *Aspergillus oryzae* grown on passion fruit peel as the carbon source and the evaluation of its potential for industrial applications. **Biocatalysis and Biotransformation**, v. 33, n. 5-6, p. 310-322, 2015.

JESUS, M. L. C. *et al.* Qualidade físico-química de cachaças artesanais e tiquira comercializadas em São Luís-MA. In: VOIGT, C. M. **Atividades de Ensino e de Pesquisa em Química 2**. 1. ed. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020. v. 2, cap. 26, p. 278-288.

KAWA-RYGIELSKA, J. Physicochemical and antioxidative properties of Cornelian cherry beer. **Food Chemistry**, v. 281, p. 147-153, 2019.

KOSTIK, V.; GJORGESKA, B.; ANGELOVSKA, B.; KOVACEVSKA, I. Determination of some volatile compounds in fruit spirits produced from grapes (*Vitis vinifera* L.) and plums (*Prunus domestica* L.) cultivars. **Science Journal of Analytical Chemistry**, v. 2, 41-46, 2014.

KRONENBERGER, G. *et al.* Cervejas especiais: um levantamento bibliográfico sobre alterações físico-químicas, presença de compostos bioativos e grau de aceitação do produto. **Alimentos: Ciência, Tecnologia e Meio Ambiente**, v. 2, n. 12, p. 55-80, 2023.

KUMAR, D. *et al.* Improving fermentation rate during use of corn grits in beverage alcohol production. **Beverages**, v. 5, p. 5, 2019.

KUNIGK, L. *et al.* Remoção de íons de cobre de aguardente utilizando carvão ativo e resinas de troca iônica. **Acta Scientiarum Technology**, v. 33, n. 1, p. 101-106, 2011.

LAGOS, F. S. *et al.* Vegetative propagation of hops (*Humulus lupulus* L.): Historical approach and perspectives. **Semina: Ciências Agrárias**, v. 43, n. 3, p. 1373-1394, 2022.

LIMA, T. T. M. *et al.* Traditional Brazilian fermented foods: cultural and technological aspects. **Journal of Ethnic Foods**, v. 9, n. 1, p. 15, 2022.

LIMA, U. A. Álcool de matérias primas amiláceas. *In*: LIMA, U. A. *et al.* **Biotecnologia industrial: Processos fermentativos e enzimáticos**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2019. v. 3, cap. 2, p. 71-106.

MAPA: Ministério da Agricultura e Pecuária. *In*: Anuário da Cerveja 2022. 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/inspecao/produtos-vegetal/publicacoes/anuario-da-cerveja-2022/view>>. Acesso em: 16 fev. 2024.

MARTINEZ-GOMEZ, A. *et al.* Phenols and melanoidins as natural antioxidants in beer. structure, reactivity and antioxidant activity. **Biomolecules**, v. 10, p. 1-18, 2020.

MARTINS, T. G.T. *et al.* Produção e físico-química de aguardente de mandioca (tiquira) por via enzimática. *In*: SILVA, J. N. *et al.* **Ciências tecnológicas, exatas e da terra e seu alto grau de aplicabilidade 2**. 2020. ed. Belo Horizonte - MG: Atena, 2020. v. 1, cap. 4, p. 39-45.

MESQUITA, J. S. *et al.* Produção e avaliação físico-química de uma cerveja artesanal puro malte com adição de extratos de *Syzygium aromaticum* e *Cinnamomum zeylanicum*. *In*: ANDRADE, D. F. *et al.* **Ciência e Tecnologia dos Alimentos**. 1. ed. Belo Horizonte - MG: Poisson, 2020. v. 8, cap. 3, p. 18-33.

MILLER, G. L. Use of dinitrosalicylic acid reagent for determination of reducing sugar. **Analytical Chemistry**, Washington, v. 31, n. 4, p. 426, 1959.

MOHIDIN, S. R. N. S. P. *et al.* Cassava (*Manihot esculenta* Crantz): a systematic review for the pharmacological activities, traditional uses, nutritional values, and phytochemistry. **Journal of Evidence-Based Integrative Medicine**, v. 28, p. 1-26, 2023.

MOJSOV, D. Chapter 16 - **Aspergillus enzymes for food industries**, Editor(s): Vijai Kumar Gupta, New and Future Developments in Microbial Biotechnology and Bioengineering, Elsevier, 2016, p. 215-222.

MULLER, C. V. *et al.* O controle oficial de uso de adjuntos em cerveja no Brasil. **Revista Processos Químicos**, v. 15, n. 29, p. 69-81, 2021.

MUTTON, M. J. R.; MUTTON, M. A. Aguardente de cana. *In*: VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia**. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1, cap. 15, p. 307-348. ISBN 978-85-212-0955-3.

MUZZOLON, E. *et al.* Processamento da cevada para produção de malte: parâmetros de qualidade. *In: VERRUCK, S. Avanços em Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 1. ed. Guarujá - SP: Científica Digital, 2021. v. 3, cap. 15, p. 204-225.

NARDINI, M.; FODDAI, M. S. Phenolics profile and antioxidant activity of special beers. *Molecules*, v. 25, ed. 11, p. 1-15, 2020.

OKUTSU, K. *et al.* Effects of the cultivation period of sweet potato on the sensory quality of imo-shochu, a Japanese traditional spirit. *Journal of the Institute of Brewing*, v. p. 122, 168–174, 2016.

OLIVEIRA, M. S. R. *et al.* Elaboração de cervejas artesanais com o uso de adjuntos cervejeiros regionais e flores comestíveis. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 12, p. 121412–121432, 2022.

OLIVEIRA, R. W. S. *et al.* Determinação espectrofotométrica de Cobre (II) em aguardente de mandioca (Tiquira). *Revista Colombiana de Ciências Químico-Farmacêuticas*, v. 49, n. 2, p. 355–373, 2020a.

OLIVEIRA, P. D. *et al.* Produção de cervejaria artesanal com adição de produtos da colmeia de *Apis mellifera*: Revisão. *In: PIOVESAN, N. et al. Prática e Pesquisa em Ciência e Tecnologia de Alimentos 3*. Ponta Grossa, PR: Atena, 2020b. v. 3, cap. 14, p. 166-177.

OLIVEIRA, P. N. *et al.* Production and characterization of a new mango distilled beverage. *Scientia Agricola*, v. 79, n. 1, ed. 20200149, p. 1-7, 2022.

ONOFRE, S. B. *et al.* Characterization of  $\alpha$ -amylase produced by the endophytic strain of *Penicillium digitatum* in solid state fermentation (SSF) and submerged fermentation (SMF). *African Journal of Biotechnology*, v. 15, n. 28, p. 1511-1519, 2016.

PANDA, S.K. *et al.* Anthocyanin-rich sweet potato (*Ipomoea batatas* L.) beer: technology, biochemical and sensory evaluation. *Journal of Food Processing and Preservation*, v. 39960, p. 3040-3049, 2015.

PANG, X. *et al.* A Comprehensive review of spirit drink safety standards and regulations from an international perspective. *Journal of Food Protection*, v. 80, n. 3, p. 431-442, 2017.

PARAZZI, C. *et al.* Hidrólise enzimática do amido do caldo da cana-de-açúcar na fermentação etanólica. *Ciência, Tecnologia & Ambiente*, v. 5, n. 1, p. 15-22, 2017.

PATIDAR, M. K. *et al.* Pectinolytic enzymes-solid state fermentation, assay methods and applications in fruit juice industries: a review. *3 Biotech*, v. 8, n. 4, p. 199, 2018.

PEREIRA, A. B. B. *et al.* Estudo da fermentação do mosto de batata-doce para a produção de vodka saborizada com umbu-cajá. *Brazilian Journal of Development*, v. 7, n. 9, p. 87074-87086, 2021.

QUESADA-MOLINA, M. *et al.* A new perspective on the health benefits of moderate beer consumption: involvement of the gut microbiota. *Metabolites*, v. 9, n. 11, p. 272, 2019.

RATKOVICH, N. *et al.* The spirit of cachaça production: an umbrella review of processes, flavour, contaminants, and quality improvement. **Foods**, v. 12, n. 17, p. 3325, 2023.

RIBEIRO, D. M. L. *et al.* Identification and saccharifying activity of wild microbial flora used in the manufacturing of Tiquira. **Revista Virtual de Química**, v. 11, n. 6, p. 1949–1960, 2019.

ROSALES, A. *et al.* Craft beer vs industrial beer: chemical and sensory differences. **British Food Journal**, v. 123, n. 12, p. 4332-4346, 2021.

ROSALIN, J. P. A trajetória da cerveja no Brasil: uma proposta de aproximação com a teoria da sucessão dos meios geográficos. **Geografia**, v. 27, n. 1, p. 149-165, 2021.

RUFINO, M. do S. M. *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre DPPH.** Comunicado Técnico, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007a.

RUFINO, M. do S. M. *et al.* **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS.** Comunicado Técnico, Fortaleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007b.

SAARNI, A., MILLER, K. V., BLOCK, D. E. A multi-parameter, predictive model of starch hydrolysis in barley beer mashes. **Beverages**, v. 6, n. 4, 2020.

SANTOS, F. M. **Aplicação de enzimas amilolíticas para a produção de aguardente de mandioca.** 2019. 55 f. TCC (Graduação) – Curso de Farmácia, Universidade de Brasília, Brasília, 2019.

SCHWAN, R. F. *et al.* Bebidas indígenas alcoólicas. *In:* VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas Alcoólicas: Ciência e Tecnologia.** 2. ed. São Paulo: Blucher, 2016. v. 1, cap. 1, p. 25-38. ISBN 978-85-212-0955-3.

SENA, H. C. *et al.* Fermentado de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz): características físico-químicas e sensoriais dos processos de desenvolvimento de bebida alcoólica tipicamente brasileira. **Revista Ciência Geográfica: JC na Escola Ciência, Tecnologia e Sociedade: Mobilizar o Conhecimento para Alimentar o Brasil**, ed. 2, p. 338-351, 2017.

ŚLIWIŃSKA, M. *et al.* The flavour of fruit spirits and fruit liqueurs: a review. **Flavour and Fragrance Journal**, v. 30, p. 197–207, 2015.

SNEŽANA, S. *et al.* Phenolic profiles and total antioxidant capacity of marketed beers in Serbia. **International Journal of Food Properties**, v. 17, n. 4, p. 908-922, 2014.

SILVA, A. P. *et al.* Composição química de aguardente de cana obtida por diferentes métodos de destilação. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 23, p. 1–10, 2020.

SILVA, L. H.; PINHEIRO, B. C. S. Produções científicas do antigo Egito: um diálogo sobre química, cerveja, negritude e outras coisas mais. **Revista Debates em Ensino de Química**, v. 4, n. 1, p. 5-28, 2018.



SILVA, R. M. F.; CHALEGRE, T. S.; CARVALHO, G. B. M. **Estudo do uso do tamarindo como adjunto do malte para produção de cervejas ale e lager**, p. 564-571. *In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Engenharia Química*, São Paulo: Blucher, 2015.

SILVA, R. N. P.; DIAS, J. F.; KOBLITZ, M. G. B. Cervejas: relação entre estilos; compostos fenólicos e capacidade antioxidante. **Pesquisa, Sociedade e Desenvolvimento**, v. 10, n. 3, p. e42210313471, 2021.

SINDCERV (2023). Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja. O setor em números. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em: 16 fev. 2024.

SOUSA, S. K. A *et al.* Characterization of cassava production in the Igarapé-Açu community, Capitão Poço, Pará, Brazil. **Communications in Plant Sciences**, v. 10, p. 32-36, 2020.

SOUSA, V. M.; FOGAÇA, L. C. S. Perfil físico-químico de cervejas artesanais e industriais e adequação dos rótulos quanto à sua graduação alcoólica. **Revista Multidisciplinar e de Psicologia**, v. 13, n. 43, p. 440-447, 2019.

SOUZA, I. A. *et al.* Cassava biomass transformation by *Aspergillus oryzae*. **Journal of Agricultural Science**, v. 8, p. 37-43, 2016.

SOUZA, L. M.; ALCARDE, A. R.; LIMA, F. V.; BORTOLETTO, A. M. **Produção de cachaça de qualidade**, Piracicaba: ESALQ, 2013, 72 p. Disponível em: <http://www.esalq.usp.br/cprural/publicacoes/mostra/67>.

SPAHO, N. **Distillation Techniques in the Fruit Spirits Production**. *In: MENDES, M. Destillation: IntechOpen*, 2017. cap. 6, p. 129-152.

TORRES, L. M. *et al.* Concentração de enzimas amilolíticas na hidrólise do amido de gengibre. **Ciência Rural**, v. 42, n. 7, p. 1327-1332, 2012.

TULASHIE, S. K. *et al.* Determination of methanol and ethanol concentrations in local and foreign alcoholic drinks and food products (Banku, Ga kenkey, Fante kenkey and Hausa koko) in Ghana. **International Journal of Food Contamination**, v. 4, n. 14, p. 1-5, 2017.

WANNENMACHER, J. *et al.* Technological influence on sensory stability and antioxidant activity of beers measured by ORAC and FRAP. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 99, p. 6628-6637, 2019.

WEBER, C. T. *et al.* Alternative process for production of sweet potato distilled beverage. **Brazilian Archives of Biology and Technology**, v. 63, p. e20190181, 2020.

YE, M.; YUE, T.; YUAN, Y. Evolution of polyphenols and organic acids during the fermentation of apple cider. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 94, n. 14, p. 2951–2957, 2014.

VILHALVA, D. A. A. *et al.* Produção de aguardente a partir de resíduo de fecularia de mandioca. **Interciencia**, v. 38, n. 808-813, 2013.

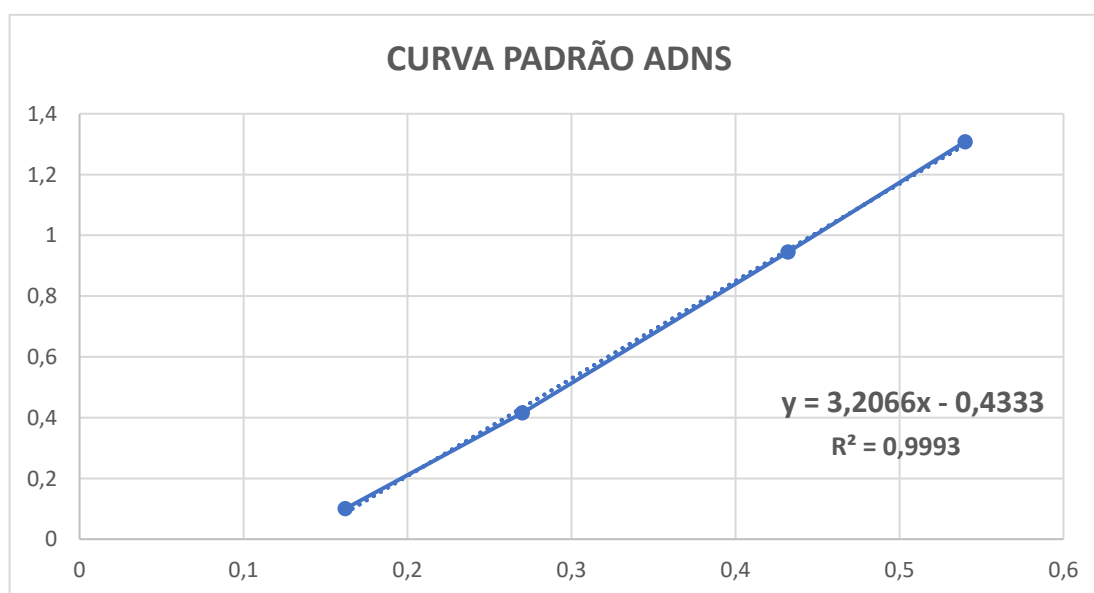
ZAGO, B. W.; HOOGERHEIDE, E. S. S.; SILVA, B. R.; BARELLI, M. A. A. **Avaliação de acessos de mandioca quanto ao teor de ácido cianídrico em raízes frescas.** *In:* Congresso Brasileiro de Recursos Genéticos, 2016.

ZAIDEL, D. N. A. *et al.* Extraction and characterization of pectin from sweet potato (*Ipomoea batatas*) pulp. **Journal of Engineering Science and Technology**, v. 10, p. 22-29, 2015.

## ANEXOS

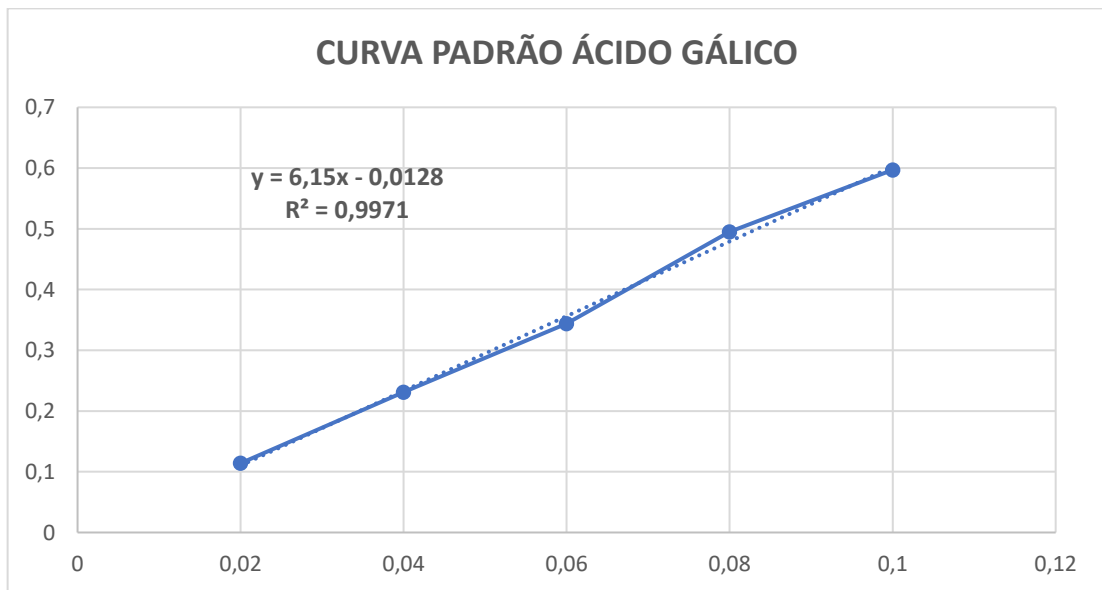
## ANEXO 1. CURVA PADRÃO DE GLICOSE (ADNS)

| Água (mL) | Glicose (mL) | ADNS (mL) | Glicose (mg) | Absorbância (540 nm) |
|-----------|--------------|-----------|--------------|----------------------|
| 0,8       | 0,2          | 2         | 0,162        | 0,100                |
| 0,6       | 0,4          | 2         | 0,270        | 0,416                |
| 0,4       | 0,6          | 2         | 0,432        | 0,945                |
| 0,2       | 0,8          | 2         | 0,540        | 1,308                |



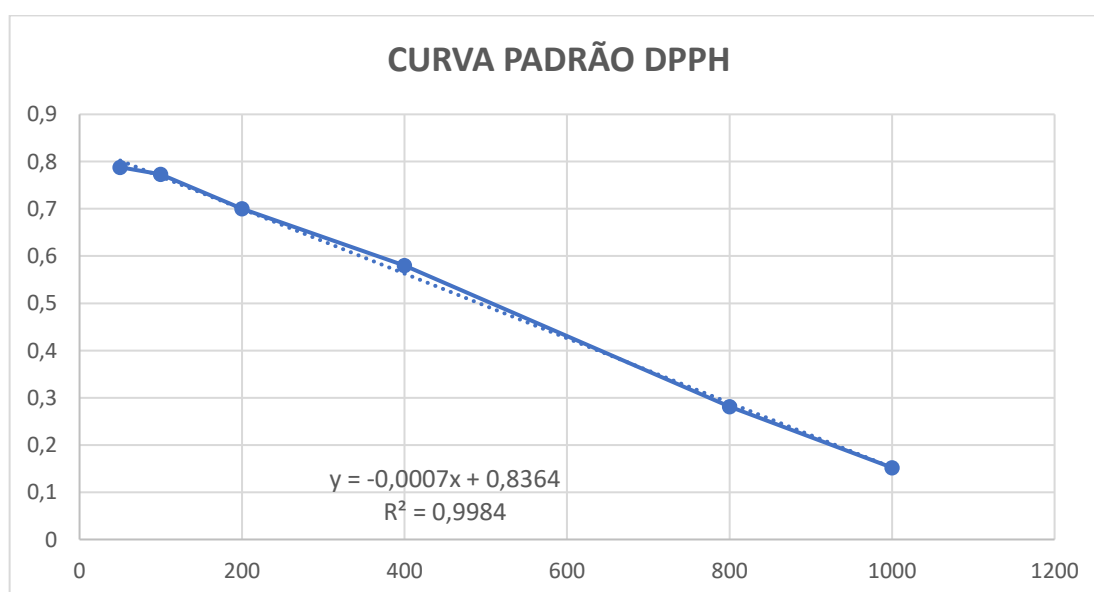
**ANEXO 2. CURVA PADRÃO DE ÁCIDO GÁLICO (COMPOSTOS FENÓLICOS)**

| <b>Concentração Final (mL)</b> | <b>Absorbância (760 nm)</b> |
|--------------------------------|-----------------------------|
| 0,02                           | 0,114                       |
| 0,04                           | 0,231                       |
| 0,06                           | 0,344                       |
| 0,08                           | 0,495                       |
| 0,10                           | 0,597                       |



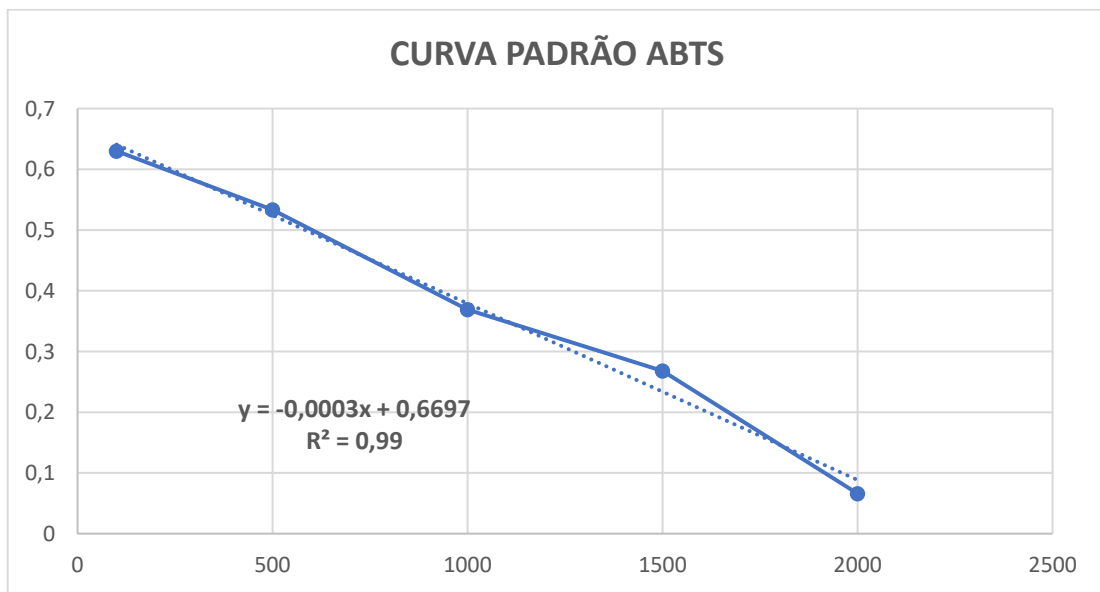
**ANEXO 3. CURVA PADRÃO DE TROLOX (DPPH)**

| <b>Solução Trolox 2<br/>nM (µL)</b> | <b>Álcool Etilíco (µL)</b> | <b>Concentração Final<br/>(µM)</b> | <b>Absorbância (517<br/>nm)</b> |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 25                                  | 975                        | 50                                 | 0,788                           |
| 100                                 | 900                        | 100                                | 0,773                           |
| 200                                 | 800                        | 200                                | 0,700                           |
| 300                                 | 700                        | 400                                | 0,580                           |
| 400                                 | 600                        | 800                                | 0,281                           |
| 500                                 | 500                        | 1000                               | 0,152                           |



**ANEXO 4. CURVA PADRÃO DE TROLOX (ABTS)**

| <b>Solução Trolox 2<br/>nM (µL)</b> | <b>Álcool Etilico (µL)</b> | <b>Concentração Final<br/>(µM)</b> | <b>Absorbância (734<br/>nm)</b> |
|-------------------------------------|----------------------------|------------------------------------|---------------------------------|
| 0,5                                 | 9,5                        | 100                                | 0,630                           |
| 2,5                                 | 7,5                        | 500                                | 0,533                           |
| 5                                   | 5                          | 1000                               | 0,369                           |
| 7,5                                 | 2,5                        | 1500                               | 0,268                           |
| 10                                  | 0                          | 2000                               | 0,066                           |



**ANEXO 5. FORMULAÇÃO DAS AGUARDENTES DE MANDIOCA E BATATA-DOCE****Aguardente de Mandioca**

| <b>Ingredientes</b>                      | <b>Quantidade</b> |
|--|-------------------|
| Mandioca                                 | 3,5 kg            |
| Água                                     | 3,5 Litros        |
| $\alpha$ -amilase (Sigma®)               | 1,5 mL            |
| Amiloglucosidase (Sigma®)                | 1,0 mL            |
| Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 1 g/L             |

**Aguardente de Batata-Doce**

| <b>Ingredientes</b>                      | <b>Quantidade</b> |
|--|-------------------|
| Batata-doce                              | 4,3 kg            |
| Água                                     | 4,3 Litros        |
| $\alpha$ -amilase (Sigma®)               | 1,5 mL            |
| Amiloglucosidase (Sigma®)                | 1,0 mL            |
| Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> | 1 g/L             |

## ANEXO 6. FORMULAÇÃO DAS CERVEJAS DE MANDIOCA E BATATA-DOCE

### Cerveja de Mandioca

| <b>Ingredientes</b>  | <b>Quantidade</b> |
|--|-------------------|
| Mandioca   | 3,0 kg            |
| Malte Pale Ale Agrária   | 1,0 kg            |
| Malte Gold Castle  | 1,0 kg            |
| Água   | 12 Litros         |
| Lúpulo tipo Citra  | 10 g              |
| Lúpulo tipo Saaz   | 10 g              |
| Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Ale US 05<br>Fermentis® | 0,7 g/L           |

### Cerveja de Batata-Doce

| <b>Ingredientes</b>  | <b>Quantidade</b> |
|--|-------------------|
| Batata-doce  | 2,8 kg            |
| Malte Pale Ale Agrária   | 2,0 kg            |
| Malte Munich Castle  | 0,5 kg            |
| Água   | 12 Litros         |
| Lúpulo tipo Citra  | 10 g              |
| Lúpulo tipo Saaz   | 10 g              |
| Levedura <i>Saccharomyces cerevisiae</i> Ale US 05<br>Fermentis® | 0,7 g/L           |