

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

**GEORGIA ARAUJO DO CARMO
PALOMA DE BRITO**

**ELABORAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE POLPA PITAYA
(*Hylocereus Spp.*): AVALIAÇÃO DOS EFEITOS FÍSICO QUÍMICOS**

**PONTA GROSSA
2026**

**GEORGIA ARAUJO DO CARMO
PALOMA DE BRITO**

**ELABORAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE POLPA DE
PITAYA (*Hylocereus spp.*): AVALIAÇÃO DOS EFEITOS FÍSICO QUÍMICOS**

**Craft Beer Production with the Addition of Pitaya (*Hylocereus spp.*) Pulp:
Evaluation of Physicochemical Effects**

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

Orientador: Me. Luis Alberto Chavez Ayala
Coorientador: Dr. Thiago Peixoto de Araujo

PONTA GROSSA

2026



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

**GEORGIA ARAUJO DO CARMO
PALOMA DE BRITO**

**ELABORAÇÃO DE CERVEJA ARTESANAL COM ADIÇÃO DE POLPA DE
PITAYA (*Hylocereus spp.*): AVALIAÇÃO DOS EFEITOS FÍSICO QUÍMICOS**

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

Data de aprovação: 20 de Fevereiro de 2026

Luis Alberto Chavez Ayala
Mestre em Ciência e Tecnologia em Alimentos
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Erica Roberta Lovo da Rocha Watanabe
Doutora em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Jean Cesar Marinozi Vicentini
Doutor em Engenharia Química
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PONTA GROSSA

2026

Dedicamos este trabalho às nossas famílias, pela
compreensão, apoio e amor incondicional durante
toda essa jornada.

AGRADECIMENTOS

Nós, Georgia e Paloma, expressamos nossa mais profunda gratidão ao Dr. Thiago Peixoto de Araujo, nosso coorientador, por sua orientação segura, pela disponibilidade constante e apoio incondicional ao longo de todo o desenvolvimento deste trabalho. Sua dedicação, paciência e generosidade ao compartilhar conhecimentos foram decisivos para nossa formação e para a concretização desta pesquisa. Agradecemos também ao doutorando Douglas, pelos ensinamentos transmitidos no laboratório e pelo auxílio fundamental nas atividades práticas. Ao Professor Me. Luis Alberto Chavez Ayala, registramos nosso agradecimento pelo apoio e contribuição durante a realização deste estudo.

Eu, Georgia, dedico este trabalho àqueles que são a razão de todas as minhas conquistas. À minha mãe, Rosimere Cezar de Araújo do Carmo, minha maior inspiração, exemplo de força, fé e amor incondicional. Sua coragem diante das dificuldades e sua dedicação incansável moldaram quem eu sou. Ao meu pai, Josué Ferreira do Carmo, agradeço por cada esforço, por todo o suporte, cuidado, compreensão e incentivo ao longo dessa jornada. Enquanto vocês enfrentavam dias difíceis e silenciosas batalhas, eu pude sonhar. Se hoje colho essa conquista, é porque antes vocês semearam com trabalho e amor. Ao meu sobrinho, que com seu sorriso ilumina meus dias e me inspira a ser uma pessoa melhor, que minhas conquistas hoje possam ser exemplo para o seu amanhã. À minha dupla de TCC e companheira de apartamento, obrigada por dividir comigo essa jornada intensa, pelos aprendizados compartilhados e por tornar os desafios mais leves. Aos meus amigos da faculdade, que caminharam ao meu lado em cada etapa dessa trajetória, minha gratidão por todo apoio, incentivo e companheirismo.

Eu, Paloma de Brito, dedico este trabalho, primeiramente, à memória do meu pai, José Edmundo de Brito, que, mesmo em ausência física, permanece vivo em meu coração e em cada conquista da minha vida, sendo minha eterna inspiração e exemplo de força e dedicação; à minha mãe, Catarina Holowate de Brito, meu porto seguro, por todo amor, apoio, incentivo para que eu pudesse chegar até aqui; à minha irmã, Priscila de Brito Mikiewicz, e ao meu cunhado, Erick Mikiewicz, pelo carinho, pela presença constante e por acreditarem em mim; ao meu afilhado, Henry de Brito

Mikiewicz, que traz ainda mais luz, esperança e motivação para que eu continue buscando ser exemplo e orgulho para nossa família.

À minha dupla de TCC e de apartamento, Georgia Araujo do Carmo, por dividir comigo não apenas este trabalho, mas também desafios, aprendizados e conquistas; e aos meus amigos da faculdade, que tornaram essa jornada mais leve, especial e inesquecível. A todos vocês, que fazem parte da minha história e da minha força, dedico esta conquista com profunda gratidão e amor.

“A qualidade da cerveja depende não apenas de seus ingredientes, mas da precisão e do controle de cada etapa do processo produtivo.”
Wolfgang Kunze (2010)

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo o desenvolvimento de uma cerveja artesanal com adição de pitaya (*Hylocereus spp.*) e a avaliação dos efeitos desse adjunto nas características físico-químicas, antioxidantes e sensoriais da bebida. Foram elaboradas cinco formulações: controle (sem fruta) e cervejas com 7,5% e 15% de pitaya adicionadas antes e após a fermentação. As análises realizadas incluíram pH, acidez, amargor (IBU), turbidez, atividade antioxidante pelo método DPPH e degustação às cegas. Os resultados de pH indicaram que a adição de pitaya promoveu acidificação do meio, com valores de 5,04 para a amostra controle, 4,97 para 7,5% antes da fermentação e 4,27 para 15% antes da fermentação, e depois da fermentação 4,21 para 7,5% e 4,47 para 15%, evidenciando maior efeito acidificante com o aumento da concentração de fruta. A análise de turbidez demonstrou aumento significativo de turbidez nas amostras com 15% de pitaya, especialmente quando adicionada após a fermentação, indicando maior presença de sólidos em suspensão. O amargor apresentou variações entre as formulações, mantendo-se compatível com o estilo proposto, enquanto a adição de pitaya contribuiu para o aumento da intensidade de cor e para ajustes na acidez da bebida, especialmente nas amostras com maior concentração de fruta, sem comprometer o equilíbrio sensorial. A atividade antioxidante apresentou diferenças estatisticamente significativas ($F = 6,23$), sendo a maior capacidade antioxidante observada na amostra com 15% de pitaya adicionada antes da fermentação, com média de absorbância de 0,1263, enquanto o controle apresentou maior absorbância (0,1837), indicando menor atividade antioxidante. Na degustação informal, as cervejas com pitaya apresentaram aroma frutado, sabor suave e boa aceitação geral.

Palavras-chave: Cerveja artesanal; Pitaya; Fermentação; Atividade antioxidante.

ABSTRACT

This study aimed to develop a craft beer with the addition of pitaya (*Hylocereus* spp.) and to evaluate the effects of this adjunct on the physicochemical, antioxidant, and sensory characteristics of the beverage. Five formulations were prepared: a control (without fruit) and beers with 7.5% and 15% pitaya added before and after fermentation. The analyses performed included pH, acidity, bitterness (IBU), turbidity, antioxidant activity by the DPPH method, and blind tasting. The pH results indicated that the addition of pitaya promoted acidification of the medium, with values of 5.04 for the control sample, 4.97 for 7.5% before fermentation, and 4.27 for 15% before fermentation, and after fermentation, 4.21 for 7.5% and 4.47 for 15%, showing a greater acidifying effect with the increase in fruit concentration. The turbidity analysis demonstrated a significant increase in turbidity in the samples with 15% pitaya, especially when added after fermentation, indicating a higher presence of suspended solids. The bitterness showed variations among the formulations, remaining compatible with the proposed style, while the addition of pitaya contributed to an increase in color intensity and adjustments in the beverage's acidity, especially in samples with a higher concentration of fruit, without compromising the sensory balance. The antioxidant activity showed statistically significant differences ($F = 6.23$), with the highest antioxidant capacity observed in the sample with 15% pitaya added before fermentation, with a mean absorbance of 0.1263, while the control showed higher absorbance (0.1837), indicating lower antioxidant activity. In the informal tasting, the beers with pitaya exhibited a fruity aroma, smooth flavor, and good overall acceptance.

Keywords: Craft beer; Pitaya; Fermentation; Antioxidant activity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Fluxograma produção de cerveja	21
Figura 2 - Fluxograma adição de Pitaya na fermentação	34
Figura 3 - Fluxograma adição de Pitaya na maturação	35
Figura 4 - Fruta in natura	36
Figura 5 - Pitaya concentrada.....	36
Figura 6 - Moagem e controle de qualidade do malte	37
Figura 7 - Processo de mosturação.....	38
Figura 8 - Teste do iodo	38
Figura 9 - Processo de filtração do mosto	39
Figura 10 - Lúpulo Citra pellet T-90.....	39
Figura 11 - Tratamento do mosto (resfriamento)	40
Figura 12 - Galões antes da fermentação.....	40
Figura 13 - Galões pós fermentação	41
Figura 14 - Processo de envase	42
Figura 15 - Processo de decarbonatação	43
Figura 16 - pHmetro de bancada	44
Figura 17 - Sistema de filtração a vácuo.....	45
Figura 18 - Amostras de cerveja em tubos de ensaio com diferentes colorações	46
Figura 19 - Escala de tonalidade em EBC.....	47
Figura 20 - Agitador magnético com aquecimento e centrifuga.....	49
Figura 21 - Turbidímetro	50
Figura 22 - Amostras de cerveja utilizadas na análise de acidez	51
Figura 23 - Imagem ilustrativa do programa.....	52
Figura 24 - Solução de DPPH em tubo de ensaio	53
Figura 25 - Amostras das cervejas artesanais	55
Gráfico 1 - Concentração x Absorbância.....	62
Gráfico 2 - Distribuição da qualidade média do aroma	65
Gráfico 3 - Distribuição da aceitabilidade média das cervejas.....	65

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Valor nutricional	31
Tabela 2 - Representação das concentrações das cervejas artesanais	41
Tabela 3 - Resultado da análise do pH	56
Tabela 4 - Resultado da análise da cor.....	57
Tabela 5 - Resultado da análise de Amargor	58
Tabela 6 - Resultado da análise da Turbidez	60
Tabela 7 - Resultado da análise da Acidez.....	61
Tabela 8 - Resultado das análises do antioxidante em triplicata	64

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AGRÁRIA MALTE	Agrária Malte Ltda.
Ale	Cerveja de alta fermentação
ANOVA	Análise de Variância
CERVBRASIL	Associação Brasileira da Indústria da Cerveja
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico Tecnológico
CO ₂	Dióxido de carbono
DPPH	2,2-difenil-1-picril-hidrazil
EBC	European Brewery Convention
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
ESB	Extra Special Bitter
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBU	International Bitterness Units
IPA	India Pale Ale
KIRIN	Kirin Holdings Company
Lager	Cerveja de baixa fermentação
NBR	Norma Brasileira
O ₂	Oxigênio
ppm	Partes por milhão
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná

LISTA DE SÍMBOLOS

α	Alfa
β	Beta
$^{\circ}\text{C}$	Grau Celsius
%	Porcentagem
μm	Micrômetro
a.C.	Antes de Cristo
F	Estatística F (ANOVA)
g	Grama
h	Hora
L	Litro
mg	Miligrama
mg/L	Miligrama por litro
mm	Milímetro
mL	Mililitro
pH	Potencial hidrogeniônico
T	Temperatura
V	Volume

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
2	OBJETIVOS	15
2.1	Objeto Geral	15
2.2	Objeto Específico	15
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1	Matéria Prima	16
3.1.1	Água	16
3.1.2	Malte	17
3.1.3	Lúpulo	18
3.1.4	Levedura	19
3.2	Processo Produtivo	20
3.2.1	Malteação	21
3.2.2	Moagem	22
3.2.3	Mosturação	23
3.2.4	Filtração	24
3.2.5	Fervura	25
3.2.6	Resfriamento	26
3.2.7	Fermentação	27
3.2.8	Maturação	28
3.2.9	Envase	29
3.3	Adjunto Pitaya (<i>Hylocereus spp.</i>)	30
3.3.1	Origem e história	30
3.3.2	Valor Nutricional	31
3.3.3	Legislação	32
4	METODOLOGIAS	34
4.1	Metodologia de Produção	34
4.1.1	Materiais	34
4.2	Metodologia das Análises	42
4.2.1	Descarbonatação	42
4.2.2	Análise pH	43
4.2.3	Análise da Cor	45
4.2.4	Análise do amargor	47
4.2.5	Análise de turbidez	49

4.2.6	Análise de Acidez	50
4.2.7	Teor alcoólico	52
4.2.8	Análise Antioxidante	52
4.2.9	Degustação informal	54
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	56
5.1	Análise pH.....	56
5.2	Análise da Cor.....	57
5.3	Análise do amargor	58
5.4	Análise de turbidez.....	59
5.5	Análise de Acidez	60
5.6	Teor alcoólico	61
5.7	Análise Antioxidante	62
5.8	Degustação informal	64
6	CONCLUSÃO.....	67
	REFERÊNCIAS	68
	ANEXO A - Folha da degustação informal	74

1 INTRODUÇÃO

A cerveja, uma das bebidas mais antigas da humanidade, possui uma rica e milenar história, com suas origens remontando a civilizações antigas como a mesopotâmica, onde evidências arqueológicas sugerem a produção de uma bebida fermentada à base de cereais por volta de 4.000 a.C. (GARCIA; SANTOS, 2010). Ao longo dos séculos, a produção de cerveja evoluiu de um processo rudimentar para uma sofisticada arte e ciência, culminando na diversidade de estilos e técnicas observadas atualmente.

A diversidade da cerveja é fundamentalmente moldada pelos três principais tipos de fermentação: a alta fermentação (Ale), que ocorre em temperaturas mais elevadas e é característica de cervejas mais frutadas e complexas; a baixa fermentação (Lager), que se processa em temperaturas mais baixas e resulta em cervejas mais límpidas e leves; e a fermentação espontânea (Lambic), onde a levedura do ambiente é utilizada, conferindo características únicas e ácidas. Esses métodos, cada um com suas peculiaridades, são a base para a criação dos inúmeros estilos de cerveja.

No cenário cervejeiro global, o Brasil se destaca como o 3º maior produtor mundial, com 15,3 bilhões de litros em 2022 (CERVBRASIL, 2023), embora apresente consumo per capita (72 litros/ano) inferior a países como Alemanha (92 litros) e República Tcheca (138 litros)(KIRIN, 2023). O segmento artesanal, que representava 1,2% do mercado em 2022, tem crescido a taxas médias de 15% ao ano, impulsionado pela demanda por produtos diferenciados. Essa tendência alinha-se ao movimento global por cervejas premium, regulamentado no Brasil pelo Decreto nº 6.871/2009, que estabelece padrões para produção em pequena escala.

Nos últimos anos, o mercado de cervejas artesanais tem ganhado destaque significativo no Brasil, impulsionado pelo crescente interesse dos consumidores por produtos diferenciados, com identidade regional e ingredientes inovadores (CERVBRASIL, 2022). Nesse contexto, a utilização de frutas tropicais na fabricação de cervejas surge como uma alternativa promissora tanto para agregar valor ao produto quanto para explorar características sensoriais únicas. Dentre as frutas disponíveis, destaca-se a pitaya (*Hylocereus spp.*), conhecida por sua coloração vibrante, sabor suave e composição nutricional interessante, rica em compostos bioativos, como as betalaínas, que possuem propriedades antioxidante.

A inclusão de frutas na fabricação de cervejas artesanais, como a pitaya, envolve desafios técnicos relevantes, como a pitaya (*Hylocereus spp.*), apresenta considerável potencial para inovação no segmento de fruit beers, categoria que demanda cuidados específicos no processamento para preservação de compostos termossensíveis e voláteis durante as etapas críticas do processo. A etapa e metodologia de adição desta fruta tropical influenciam diretamente o perfil fermentativo e as características sensoriais da bebida final, aspectos fundamentais para a qualidade do produto (OLIVER, 2011).

Este trabalho tem como objetivo avaliar o impacto da adição de polpa de pitaya em duas etapas do processo cervejeiro (antes e depois da fermentação), analisando seus efeitos físico-químicos da bebida, com ênfase na preservação dos pigmentos naturais da fruta. Ao comparar os métodos de incorporação, busca-se oferecer bases técnicas para produtores, incentivando o uso sustentável de frutas regionais e preenchendo lacunas científicas sobre a aplicação de pitaya na cervejaria artesanal, alinhada às tendências de inovação e valorização da biodiversidade.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Elaboração e avaliação de uma cervejas artesanal com adição de polpa de pitaya (*Hylocereus spp.*)

2.2 Objetivo Específico

- Avaliar os efeitos da adição da polpa de pitaya em relação as seguintes características físico químicas: pH, acidez titulável, amargor, turbidez, teor alcoólico e compostos antioxidantes.
- Criação de 1 cerveja controle e 4 cervejas com adição de polpa de pitaya.
- Comparar os efeitos da adição da polpa de pitaya, durante a fermentação e maturação.
- Realizar uma degustação informal para avaliar (aroma, sabor e aceitação).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Matéria Prima

As principais matérias-primas utilizadas na elaboração de cerveja artesanal são apresentadas a seguir. Esses insumos são essenciais para a qualidade e as características finais da bebida.

3.1.1 Água

A água é o ingrediente mais importante na produção de cerveja, representando de 90% a 96% do peso total da bebida, mesmo as cervejas mais fortes são compostas por 90% de água. Embora todos os componentes influenciem o resultado final, é a água que determina características essenciais como a leveza, a qualidade e a consistência da cerveja (MORADO, 2011).

Os minerais e íons presentes na água exercem grande influência no estilo da cerveja que será produzida. No passado, o pH da água era um fator determinante para decidir onde instalar uma cervejaria, pois não havia como ajustá-la facilmente. Hoje, com o avanço das tecnologias, é possível modificar o pH de acordo com o tipo de cerveja que se deseja produzir, por exemplo, adicionando ácido cítrico ou carbonato de cálcio. As fábricas modernas, inclusive, dominam o processo de desmineralização da água e realizam a adição controlada de sais para obter a composição química mais adequada para cada estilo (BOULTON; QUAIN, 2008).

Os minerais presentes na água também desempenham papéis importantes durante a produção da cerveja. O magnésio, por exemplo, atua como cofator enzimático em diversas reações bioquímicas, especialmente durante a fermentação. O cálcio, por sua vez, interage com os polifosfatos, ajudando a reduzir o pH e ativando enzimas importantes, como a alfa-amilase e a protease. Além disso, quando presente em baixas concentrações, o cálcio inibe a extração excessiva de resinas do lúpulo, evitando que a cerveja fique amarga demais, e contribui para a extração de compostos adstringentes da casca do malte.

Além do pH, a presença de cloretos é outro fator crucial na água cervejeira. Concentrações acima de 600 ppm podem inibir a fermentação, enquanto teores abaixo de 400 ppm podem conferir um sutil sabor salgado à bebida. A acidez do mosto também é vital, pois um pH mais baixo otimiza a atividade de enzimas como alfa e beta-amilases, quebrando açúcares de forma mais eficiente (VENTURINI 1993;

BOULTON; QUAIN, 2008). A composição mineral da água é um dos pilares para a definição do estilo de cerveja. Em Pilsen, na República Tcheca, a baixa concentração de minerais na água favorece as cervejas Lager suaves. Já em Dublin, Irlanda, a água com altos níveis de bicarbonato de cálcio, que é alcalina, é compensada pela acidez dos maltes torrados, resultando nas características Stouts. De modo geral, águas com alta concentração de cálcio (aproximadamente 350 mg/L) são ideais para a produção de cervejas Ale, enquanto cervejas Lager se beneficiam de águas com menor teor de cálcio (cerca de 10 mg/L) (HUGHES, 2014; MORADO, 2011).

3.1.2 Malte

Diversos atributos fundamentais que caracterizam a cerveja, tais como cor, sabor, corpo e teor alcoólico, este último decorrente da fermentação, são majoritariamente fornecidos pelo malte. O malte é obtido a partir do processo denominado malteação, que consiste na germinação controlada dos grãos de cevada, realizada em ambientes artificiais especificamente preparados para induzir a síntese e a ativação de enzimas hidrolíticas essenciais para a subsequente etapa de produção cervejeira.

As enzimas oriundas da malteação possuem papel central na conversão de substratos em produtos de reação, atuando como catalisadores que direcionam e aceleram os processos bioquímicos envolvidos nos sistemas biológicos. Em conjunto com as leveduras, o malte viabiliza a realização dos processos fermentativos e metabólicos necessários à produção da cerveja, uma vez que é transformado em mosto fermentável, liberando carboidratos que, posteriormente, serão metabolizados pelas leveduras, resultando na formação de etanol e outros metabólitos secundários responsáveis por determinar as características sensoriais da cerveja, como aparência, aroma e sabor (MORADO, 2011; VENTURINI FILHO E CEREDA, 2001).

Os carboidratos são a fração mais abundante na cevada, essenciais para a eficiência da malteação e a qualidade final da cerveja. Funcionalmente, atuam como material estrutural e reserva energética das plantas, formando polissacarídeos complexos como amido, celulose, hemicelulose e açúcares solúveis, todos cruciais para o processo cervejeiro. Embora diversos cereais possam ser malteados, apenas a cevada maltada é chamada simplesmente de "malte". Para outros grãos, a nomenclatura exige a especificação do cereal, como "malte de milho", "malte de trigo" ou "malte de sorgo" (ARTEBREW, 2013).

3.1.3 Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus*) corresponde aos estróbilos, inflorescências femininas em forma de cone, produzidas pelas plantas bines. Trata-se de uma trepadeira dioica pertencente à família Cannabaceae, originária de regiões temperadas da América do Norte, Europa e Ásia. Apenas as plantas femininas geram os cones utilizados na fabricação de cerveja, e quando cultivadas em viveiros comerciais, podem atingir até nove metros de altura, desde que sustentadas por estruturas adequadas (ANDRADE, 2017).

O cultivo global de lúpulo está concentrado nos Estados Unidos e na Alemanha, enquanto a Argentina lidera na América do Sul. No Brasil, apesar de ser o terceiro maior produtor mundial de cerveja, quase todo o lúpulo é importado, devido às exigências agroclimáticas da cultura e à restrição de conhecimento técnico para seu cultivo (FAGHERAZZI; RUFATO, 2018; ARRUDA, 2019). A expansão recente no Sul do país, em regiões como Rio Grande do Sul, Santa Catarina e Paraná, tem sido limitada pela falta de informações agrônômicas específicas para o manejo dessas plantas (DAGOSTIM, 2019).

Para um desenvolvimento satisfatório, o lúpulo requer condições específicas de clima, fotoperíodo, altitude, regime hídrico, proteção contra ventos e granizo, bem como solos férteis, bem drenados e com pH próximo de 6,0–6,5 (ARRUDA, 2019). Essa combinação é essencial para garantir o vigor fisiológico das plantas e a qualidade dos estróbilos produzidos.

Na indústria cervejeira, o lúpulo é frequentemente comercializado em forma de pellets, cilindros de 6 a 8 mm de diâmetro e 10 a 14 mm de comprimento devido à maior homogeneidade, menor teor de umidade e vantagens logísticas para armazenamento e transporte (ANDRADE, 2017).

A produção global de lúpulo é direcionada principalmente para três categorias: amargor, aroma e dupla finalidade. A cultivar ‘Magnum’, por exemplo, destaca-se pelos altos níveis de alfa-ácidos (11–16 %), sendo amplamente empregada em estilos como Lager, Ale, Stout e Pilsner. Já a ‘Cascade’ é bastante utilizada em cervejas IPA devido ao seu perfil cítrico e aroma floral, representando cerca de 10 % da produção norte-americana. A variedade ‘Northern Brewer’ é reconhecida por seu equilíbrio entre amargor e aroma suave, sendo apreciada em estilos como ESB, English Pale Ale e Porter (SPÓSITO et al., 2019).

3.1.4 Levedura

As leveduras são fungos geralmente unicelulares, eucarióticos e de tamanho microscópico, variando de 1 a 5 μm de diâmetro e de 5 a 30 μm de comprimento (UFRGS, 2023). Por não realizarem fotossíntese, reproduzem-se rapidamente por via assexuada e realizam respiração de forma anaeróbica ou fermentativa, são amplamente utilizadas na produção de bebidas alcoólicas e produtos de panificação.

As leveduras destacam-se também por seu elevado valor nutricional, sendo ricas em proteínas, sais minerais, carboidratos e vitaminas do complexo B. Além disso, são responsáveis pela fermentação, processo no qual convertem açúcares, como glicose e maltose, em álcool e dióxido de carbono (CO_2).

Na indústria cervejeira, diferentes espécies de leveduras são empregadas conforme o tipo de fermentação. Para a fermentação do tipo baixa, utilizam-se *Saccharomyces uvarum* e *Saccharomyces pastorianus*, que atuam em temperaturas mais baixas (entre 7 °C e 15 °C), durante um período mais prolongado. Já a *Saccharomyces cerevisiae* é utilizada na fermentação do tipo alta, realizada em temperaturas de aproximadamente 15 °C a 25 °C e com tempo de fermentação mais curto (TSCHOPE, 2004).

É importante ressaltar que a diferença entre os tipos de fermentação também se reflete no comportamento das leveduras durante o processo. As cervejas do tipo Ale, de alta fermentação, possuem leveduras que se concentram na parte superior do tanque, enquanto as do tipo Lager, de baixa fermentação, apresentam leveduras que se depositam no fundo do recipiente.

As leveduras (*Saccharomyces cerevisiae*) são os microrganismos essenciais responsáveis pela bioconversão do mosto em cerveja, atuando como verdadeiras "fábricas biológicas" durante a fermentação. Após a fervura, o mosto resfriado é inoculado com essas leveduras, dando início à crucial fermentação alcoólica (FERREIRA, 2009). Nesta fase, ocorre inicialmente um consumo rápido de oxigênio para reprodução celular, seguido pela metabolização anaeróbica dos açúcares, convertendo-os principalmente em etanol e CO_2 (SIQUEIRA et al., 2008). O processo ainda gera importantes subprodutos como glicerol, ésteres aromáticos e ácidos orgânicos, que em conjunto definem as características sensoriais da bebida final.

Devido à sua relevância na produção de cerveja, especialmente pela geração de álcool, gás carbônico e compostos aromáticos, é imprescindível que as culturas de

leveduras utilizadas sejam puras, livres de microrganismos contaminantes, como bactérias ou leveduras selvagens (OLIVEIRA, 2011). Existe, contudo, um tipo de fermentação espontânea que ocorre com leveduras selvagens em temperatura ambiente. Esse processo, no entanto, é extremamente lento, podendo durar de um a dois anos, sendo ainda utilizado em algumas regiões da Bélgica.

Por se tratarem de microrganismos sensíveis, as leveduras demandam condições ideais para sua preservação e multiplicação. Para garantir sua viabilidade, é necessário que o meio de cultura seja nutritivo, contendo carboidratos, oxigênio, minerais e temperatura controlada (DELFINO, 2021).

3.2 Processo Produtivo

A produção de cerveja constitui um sistema integrado de operações técnicas, onde cada fase do processo exerce influência determinante nas características organolépticas do produto acabado. Esta cadeia produtiva engloba desde o tratamento inicial das matérias-primas até as operações finais de acondicionamento, com rigoroso controle de parâmetros em cada estágio. A primeira e crucial etapa é a malteação, onde grãos de cevada selecionados são submetidos a um processo controlado de germinação por 4 a 15 dias.

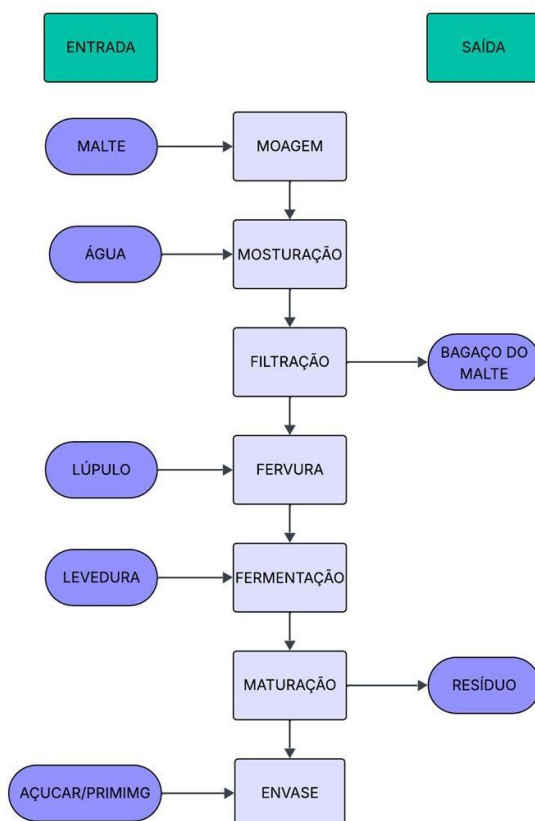
Durante este período, ocorre a ativação de enzimas essenciais como α -amilase e β -amilase, que serão fundamentais nas etapas posteriores. Após a germinação, os grãos passam por um processo de secagem em temperaturas específicas, que não apenas interrompe o crescimento, mas também desenvolve as características de cor, aroma e sabor que definirão o perfil do malte (TSCHOPE, 2004).

Após a malteação, o malte é moído para quebrar os grãos sem danificar as cascas, que ajudam na filtragem depois. Na sequência, vem a mostura, onde o malte moído é misturado com água em temperaturas específicas (entre 45°C e 78°C) para ativar as enzimas que transformam o amido em açúcares (KUNZE, 2019). Este gradiente térmico permite a ativação sequencial de diferentes sistemas enzimáticos, convertendo os amidos em açúcares fermentescíveis como maltose, e proteínas em aminoácidos livres. O resultado é um líquido açucarado chamado mosto, que contém todos os nutrientes necessários para a fermentação.

Após a filtração do mosto para remoção do bagaço, inicia-se a fermentação com leveduras (*Saccharomyces* spp.), convertendo açúcares em etanol, CO₂ e

compostos aromáticos (SIQUEIRA et al., 2008). Na maturação, ocorre a sedimentação de impurezas e harmonização de sabores. O envase final é realizado sob contrapressão, com opção de pasteurização para estabilização (SILVA, 2019). O fluxograma a seguir ilustra de forma esquemática essa sequência de etapas.

Figura 1: Fluxograma produção de cerveja



Fonte: Adaptado de SILVA et al. (2018).

3.2.1 Malteação

A malteação é um processo fundamental na transformação de cereais em malte, ingrediente essencial para a produção de cervejas e destilados. Consiste em ativar a germinação dos grãos de forma controlada para desenvolver enzimas que convertem amidos em açúcares fermentáveis, sendo posteriormente interrompida por meio de secagem. Embora a cevada seja o cereal mais tradicionalmente utilizado, especialmente na fabricação de cervejas, outros grãos como milho, trigo, centeio, aveia e sorgo também podem passar pelo processo, cada um conferindo características específicas ao produto final.

O processo começa com a maceração, onde os grãos são imersos em água em ciclos alternados por 24 a 48 horas para ativar seu metabolismo. Em seguida, na germinação, os grãos são mantidos em ambiente controlado por 4 a 6 dias, desenvolvendo enzimas como α -amilase e β -amilase que quebram o amido em açúcares como maltose (OLIVEIRA; FERREIRA, 2020, p. 12). A secagem vem depois, realizada em fornos com temperatura variável conforme o tipo de malte desejado - temperaturas mais baixas para maltes claros e mais altas para os escuros, que desenvolvem sabores caramelizados. Por fim, na crivagem, removem-se as raízes e brotos formados durante a germinação.

O malte resultante tem aplicações diversas: na cervejaria como principal fonte de açúcares fermentáveis, onde maltes base fornecem o extrato principal enquanto maltes especiais contribuem com cor e sabor; na produção de destilados como whiskys e vodkas; e até na indústria alimentícia em pães, cereais e bebidas maltadas. O processo pode variar desde métodos tradicionais como a malteação em piso, onde os grãos são virados manualmente, até processos industriais em tambor com controle preciso de variáveis, ou mesmo a produção de malte verde secado naturalmente para cervejas especiais. O método pode variar desde técnicas artesanais até processos industriais, influenciando diretamente o perfil sensorial das bebidas (Kunze, 2019; Briggs et al., 2004).

3.2.2 Moagem

A moagem do malte é uma etapa essencial na produção de cerveja, tendo como principal finalidade a quebra controlada da casca dos grãos e a liberação uniforme do endosperma. Esse processo visa aumentar a área de contato para favorecer a ação das enzimas durante a brassagem (VENTURINI FILHO, 1993). A moagem pode ser realizada a seco, por meio de moinhos de rolos, com configurações de rolos necessários para a quantidade de malte, ou através do condicionamento prévio do malte, que consiste na umidificação dos grãos por vaporização ou aspersão de água fria. Este último método possibilita o uso de moinhos cônicos com dois rolos ranhurados e proporciona maior uniformidade na granulometria (ALMEIDA E SILVA, 2005).

Quando inadequadamente conduzida, a moagem pode gerar dois resultados indesejados: partículas muito grossas, que reduzem o rendimento na extração e afetam negativamente a densidade do mosto, ou partículas excessivamente finas, que

aumentam a liberação de taninos, compostos que conferem adstringência, além de elevarem o risco de obstruções nos equipamentos. A eficiência desse processo impacta diretamente a velocidade e eficácia das reações físico-químicas durante a mostura, o rendimento de extração, a clarificação do mosto e as características sensoriais da cerveja final.

Por isso, a moagem é considerada uma etapa crítica para garantir a padronização e a qualidade do produto. Assim, o controle preciso dos parâmetros de moagem, incluindo a adoção do condicionamento prévio quando necessário, é fundamental para otimizar o processo produtivo (VENTURINI FILHO, 1993).

3.2.3 Mosturação

A mosturação representa etapa essencial na produção cervejeira, na qual ocorre a conversão dos grãos de malte em mosto fermentável. Durante esse processo, busca-se a solubilização dos compostos do malte, especialmente o amido, por meio da ação enzimática, gerando açúcares fermentescíveis e nutrientes vitais para a levedura (VENTURINI FILHO, 2000). A operação é realizada em mosturadores com rigoroso controle de temperatura, seguindo um perfil térmico que inclui rampas crescentes e repousos enzimáticos estrategicamente programados. Esse ajuste térmico é crucial para determinar a composição e qualidade do mosto e, por consequência, da cerveja final.

O processo de mosturação envolve o cozimento do malte moído em água, submetendo a mistura a diferentes temperaturas e tempos controlados para promover a hidrólise do amido (NASCIMENTO; LOPES, 2018). Durante esta fase, os cereais amiláceos são convertidos em açúcares fermentescíveis, aminoácidos e outros compostos solúveis, resultando no mosto - líquido doce que será fermentado. Existem três métodos principais de mosturação: infusão, decocção e infusão com temperaturas programadas, sendo a escolha dependente de fatores como tradição local, qualidade do malte, equipamentos disponíveis e estilo de cerveja desejado (HORNINK, 2022).

As características do mosto variam conforme o tipo de cerveja a ser produzida. Mosturas concentradas (proporção água:malte de 1:2,5 a 1:3,5) são ideais para cervejas escuras, promovendo melhor quebra protéica e atividade das beta-amilases. Já as mosturas mais diluídas (1:4 a 1:5) são preferíveis para cervejas claras, facilitando a hidrólise do amido e reduzindo a extração de polifenóis e cor. O pH da mostura também é crítico, com a faixa ideal entre 5,35 e 5,5, condições que favorecem

a atividade enzimática, reduzem a viscosidade e melhoram a formação do trub, resultando em cervejas mais claras e com perfil sensorial equilibrado.

O processo enzimático ocorre em três faixas térmicas principais: 40-55°C para quebra de gomas, fosfatos e proteínas; 60-65°C para formação de maltose e gelatinização do amido; e 70-75°C para uma sacarificação completa. Cada etapa requer tempos de repouso específicos, geralmente inferiores a 40 minutos, sendo que temperaturas mais baixas favorecem maior atividade enzimática, enquanto temperaturas mais altas aceleram o processo mas reduzem a eficiência enzimática (AGRÁRIA MALTE, 2023).

A composição do mosto ideal deve equilibrar açúcares fermentescíveis e não fermentescíveis para garantir tanto o teor alcoólico quanto o corpo da cerveja final. Os açúcares não fermentescíveis, como as dextrinas, correspondem a cerca de 20% a 35% do total de carboidratos do mosto, conferindo viscosidade e corpo à bebida. A proporção desses açúcares pode variar conforme o método de mosturação adotado, sendo que técnicas que envolvem temperaturas mais elevadas e tempos mais curtos tendem a aumentar a quantidade de dextrinas, enquanto repousos enzimáticos mais longos e em temperaturas controladas favorecem a produção de açúcares fermentescíveis, como maltose e maltotriose (KLEY, 2021).

3.2.4 Filtração

Após a conversão enzimática completa, quando as enzimas do malte já transformaram o amido em açúcares fermentescíveis, o mosto passa para a etapa de filtração, essencial para separar os resíduos sólidos do líquido que será fermentado. Independentemente da escala de produção, o processo busca purificar o mosto por meio de um meio filtrante adequado, que retenha partículas indesejáveis sem comprometer a recuperação do extrato (SANTOS E SILVA, 2017).

A eficiência da filtração é determinada por diversos fatores que incluem o tempo de processamento, os custos operacionais, o espaço físico disponível, a claridade exigida no produto final, a recuperação de extratos e a facilidade de limpeza dos equipamentos. A otimização desses parâmetros é crucial para a qualidade do mosto e para a sustentabilidade econômica do processo produtivo (OLIVEIRA, 2019).

O controle térmico rigoroso durante a filtração é fundamental, o ideal é que a temperatura deve ser mantida em torno de 75 °C, pois desvios podem aumentar a viscosidade do mosto, reduzindo a permeabilidade do meio filtrante e,

consequentemente, a eficiência do processo. Durante essa fase, é prática comum a recirculação do mosto para aumentar a transparência e o ajuste do pH para uma faixa ideal entre 3,8 e 4,2, favorecendo a precipitação de sólidos em suspensão (AGRÁRIA MALTE, 2023). A avaliação da qualidade da filtração envolve dois aspectos principais: a redução da turbidez residual e a maximização da recuperação do extrato fermentescível.

A diminuição da turbidez é essencial para evitar precipitações durante a fermentação, o que pode comprometer a estabilidade e o aspecto final da cerveja. Além disso, a recuperação eficaz do extrato permite o aproveitamento integral dos nutrientes, aumentando o rendimento e minimizando perdas. O controle rigoroso da filtração contribui diretamente para as propriedades sensoriais da cerveja, como corpo, sabor e limpidez, fatores determinantes para a aceitação do produto pelo consumidor (MOREIRA E LIMA, 2021). A filtração é uma etapa estratégica no processo cervejeiro, cujo domínio e otimização asseguram a obtenção de um mosto de alta qualidade, base para uma fermentação eficiente e uma cerveja final que atenda às exigências técnicas e de mercado.

3.2.5 Fervura

A fervura do mosto a 100°C, com a adição estratégica de lúpulo, constitui uma etapa crucial na produção de cerveja. Durante este processo, que dura entre 60 e 90 minutos, ocorre a inativação das enzimas amilases e proteases, prevenindo assim a coagulação indesejada de proteínas que se precipitam formando os característicos flocos conhecidos como "trubs". Além desta estabilização bioquímica, a fervura promove quatro benefícios essenciais: esterilização completa do mosto, concentração de sólidos dissolvidos, desenvolvimento de aromas e a caramelização parcial de açúcares.

Após a fervura, o mosto é resfriado à temperatura ideal para fermentação: 7-15°C para lagers e 18-22°C para ales. Em seguida, é aerado para fornecer oxigênio (O₂) às leveduras, essencial para seu crescimento antes da fermentação. Essa oxigenação favorece a multiplicação celular, garantindo uma fermentação eficiente (MORADO, 2011). A adição do lúpulo segue critérios precisos, podendo ser realizada em diferentes momentos da fervura - no início, no meio ou no final - ou mesmo fracionada durante o processo.

Esta variação temporal deve-se à volatilidade dos óleos essenciais responsáveis pelo aroma, que podem se perder se adicionados precocemente. A quantidade e forma de lúpulo utilizada (cones naturais, pastilhas ou extratos) variam conforme o tipo de cerveja desejado. Os cones naturais, embora tradicionais, exigem refrigeração constante devido à sua alta perecibilidade, enquanto as pastilhas oferecem maior praticidade de armazenamento. Os extratos, por sua vez, apresentam desafios adicionais por requererem solventes como cloreto de metileno ou etanol em seu processamento (ALMEIDA E SILVA, 2005; MORADO, 2011).

3.2.6 Resfriamento

Após a fervura, o mosto entra em uma fase crítica de resfriamento que vai muito além da simples redução de temperatura. Este processo, realizado em trocadores de calor especializados, marca a transição entre a etapa de fervura e o início da fermentação, representando um momento-chave onde se definem importantes características da cerveja final. À medida que a temperatura desce de aproximadamente 80°C para cerca de 10°C, ocorrem transformações físico-químicas fundamentais que demandam controle preciso e atenção constante.

O fenômeno denominado "Cold Break" (choque térmico) constitui um aspecto benéfico do processo de resfriamento, promovendo a decantação das proteínas para o fundo do recipiente. Essa separação facilita a obtenção de mosto límpido, pois resfriamentos prolongados podem ocasionar o "Chill Haze", precipitação proteica que aumenta a turbidez do produto, afetando apenas suas características visuais sem interferência sensorial.

No que concerne aos equipamentos utilizados neste processo, o chiller de imersão como um dispositivo constituído de cobre, aço inoxidável ou alumínio, com configuração em tubos espiralados compactos. Seu funcionamento baseia-se na circulação de água fria por uma extremidade, que absorve calor do mosto e é descarregada como água morna pela outra extremidade. Esse mecanismo de troca térmica permite o resfriamento do mosto até a temperatura ideal para inoculação das leveduras (AGRÁRIA MALTE, 2023).

3.2.7 Fermentação

A fermentação é uma etapa crucial no processo cervejeiro, na qual as leveduras convertem os açúcares do mosto em álcool e dióxido de carbono, influenciando diretamente as características sensoriais e a qualidade da cerveja final. Durante o início do processo, a aeração adequada do mosto é fundamental, pois o oxigênio favorece a multiplicação celular e a síntese de componentes essenciais da membrana das leveduras, como esteróis e ácidos graxos. A insuficiência de oxigênio pode acarretar fermentações lentas e a formação de compostos indesejáveis, afetando o perfil aromático da bebida (PICCINI, 2002).

A fermentação ocorre em três fases principais: adaptação, multiplicação e fermentação propriamente dita. Na fase de adaptação, as células ajustam-se às condições do meio, preparando-se para o crescimento ativo. A fase de multiplicação caracteriza-se pela divisão celular exponencial, onde a presença de oxigênio é crucial para garantir a saúde e a viabilidade das leveduras. Finalmente, na fase anaeróbica, ocorre a conversão dos açúcares fermentáveis em etanol e CO_2 , além da formação de compostos secundários que definem o aroma e sabor da cerveja (MENDES; BIASI, 2020).

A temperatura é outro fator determinante, com diferentes faixas sendo utilizadas para estilos distintos. Para cervejas do tipo Ale, a fermentação é realizada em temperaturas mais elevadas, entre 18 °C e 24 °C, proporcionando perfis mais frutados e complexos. Já para as Lagers, o processo ocorre em temperaturas mais baixas, entre 8 °C e 14 °C, resultando em bebidas com sabor mais limpo e suave. O controle rigoroso da temperatura é essencial para evitar o estresse das leveduras e a formação de sabores indesejáveis (EMBRAPA/CCT, 2020).

Além disso, a escolha do sistema de fermentação impacta na qualidade do produto. O método em batelada é amplamente utilizado, podendo ser realizado em tanques abertos ou fechados. Tanques fechados são preferidos pela indústria moderna por garantir maior controle sanitário e retenção dos compostos voláteis, enquanto tanques abertos exigem maior cuidado para evitar contaminações (PICCINI, 2002). Já o sistema contínuo, embora menos comum, possibilita maior produtividade e controle automatizado do processo, no qual o mosto é alimentado continuamente no fermentador ao mesmo tempo em que o produto fermentado é retirado. Esse

método exige um nível mais elevado de automação e um monitoramento rigoroso das variáveis operacionais envolvidas (STANIER et al., 2009).

O monitoramento constante da densidade e do pH durante a fermentação permite o acompanhamento da evolução do processo e a detecção precoce de problemas. A maturação posterior é importante para estabilizar os sabores e melhorar a clarificação da cerveja, garantindo um produto final de qualidade superior (MIRANDA, 2019).

3.2.8 Maturação

A maturação é a etapa final do processo cervejeiro antes do envase, na qual a cerveja já fermentada e livre de leveduras é armazenada sob condições controladas para aprimorar suas características. Este processo, também conhecido como fermentação secundária ou condicionamento a frio, ocorre normalmente em temperaturas entre 0°C e 3°C, cerca de 10°C abaixo da temperatura de fermentação primária. Durante esse período, ocorre a sedimentação de leveduras residuais, proteínas e sólidos solúveis, resultando na clarificação natural da cerveja (PiCCINI, 2002).

Existem dois métodos principais de maturação: em tanque fermentador ou diretamente na embalagem final. No primeiro caso, a cerveja permanece em contato com as leveduras por mais tempo, o que favorece uma clarificação mais eficiente antes do envase, mas exige a adição de açúcares para carbonatação. Já na maturação em garrafa, a presença residual de 0,5% a 1% de extrato fermentescível dispensa a necessidade de adição externa de açúcares (AGRÁRIA MALTE, 2023).

A duração e as condições da maturação variam conforme o estilo de cerveja. Cervejas do tipo lager geralmente requerem de 3 a 5 semanas a aproximadamente 0°C, enquanto as ales podem completar o processo em cerca de uma semana (BANDINELLI, 2015). Cervejas mais escuras, produzidas a partir de mostos mais concentrados, necessitam de períodos mais longos para a completa assimilação dos extratos. A temperatura é um fator crítico, pois condições muito frias prolongam o processo, enquanto temperaturas elevadas podem prejudicar a formação de espuma, o sabor e a estabilidade do produto (UFRGS, 2023).

A qualidade da maturação é avaliada por meio de parâmetros como a concentração de diacetil, cujo teor ideal deve ser inferior a 0,15 mg/L, sendo preferível abaixo de 0,05 mg/L (VENTURINI FILHO, 2016), e pelo grau de clarificação

alcançado. Ao final do processo, podem ser necessárias etapas adicionais, como clarificação artificial, ajuste da carbonatação, envase e, em alguns casos, pasteurização (MORADO, 2011). O condicionamento adequado é fundamental para o desenvolvimento das características sensoriais desejadas e para garantir a estabilidade e a qualidade da cerveja final.

3.2.9 Envase

O envase é a etapa final do processo de produção da cerveja e compreende o acondicionamento da bebida em recipientes como garrafas, latas ou barris. Esse processo tem como objetivo preservar as características organolépticas e microbiológicas do produto até o consumo. A operação é geralmente realizada por meio de enchedoras, para o envase em garrafas e latas, e por sistemas de embarrilamento, quando se trata de barris (VENTURINI FILHO, 2017).

A escolha do tipo de embalagem influencia diretamente na conservação do produto. As garrafas âmbar são preferidas na indústria cervejeira devido à sua capacidade de proteger a bebida da ação da luz, especialmente dos raios ultravioletas, que podem causar reações de oxidação nos compostos do lúpulo, alterando o aroma e sabor da cerveja. Produtos armazenados em garrafas transparentes ou claras estão mais suscetíveis à degradação, sendo necessário, em alguns casos, o uso de lúpulos especiais que minimizem os efeitos da luz (MORAES, 2021, p. 126).

Durante o processo de envase, realiza-se também a carbonatação da cerveja, ou seja, a incorporação de gás carbônico (CO_2), responsável por conferir efervescência, cremosidade e sensação de frescor. Essa etapa pode ocorrer de duas maneiras: por carbonatação forçada, onde o CO_2 é injetado diretamente na bebida sob pressão em tanques pressurizados, ou por refermentação na garrafa, método conhecido como priming (MATOS, 2011).

No priming, adiciona-se uma quantidade de açúcar ao líquido no momento do envase, e a fermentação residual que ocorre dentro da garrafa resulta na produção natural de gás carbônico. Essa técnica é muito utilizada por cervejeiros artesanais, pois, além de promover a carbonatação, ajuda a remover o oxigênio residual da embalagem, o que aumenta a estabilidade da bebida (FAVARIN; COSTA; COSTA, 2019).

É importante destacar que o envase deve ocorrer sob condições rigorosas de higiene e controle, para evitar contaminações microbiológicas e oxidação do produto. Práticas como o purgado com CO₂ antes do enchimento e o controle de temperatura são fundamentais para garantir a qualidade final da cerveja (VENTURINI FILHO, 2016).

3.3 Adjunto Pitaya (*Hylocereus spp.*)

3.3.1 Origem e história

A pitaya (também conhecida como fruta-do-dragão) é o fruto de plantas cactáceas dos gêneros *Hylocereus* e *Selenicereus*, pertencentes à família Cactaceae. Trata-se de uma planta originária das regiões semiáridas da América Central e América do Sul, em especial dos países localizados na faixa tropical do continente americano, como México, Colômbia e Nicarágua (LIMA et al., 2015).

Historicamente, há registros de que povos indígenas mesoamericanos já consumiam a pitaya há séculos, utilizando não apenas o fruto como alimento, mas também outras partes da planta para fins medicinais e ornamentais (SANTOS; PEREIRA; LEMOS, 2019). O nome "pitaya" tem origem indígena e significa "fruta escamosa", em referência à casca característica da fruta.

Com a chegada dos colonizadores europeus à América, a pitaya começou a ser difundida para outras partes do mundo. Ainda nos séculos XVI e XVII, exemplares da planta foram levados para a Ásia, onde se adaptaram bem, especialmente no Vietnã, país que hoje é um dos maiores produtores e exportadores da fruta (MOURA et al., 2020).

No Brasil, o cultivo comercial da pitaya é relativamente recente, com registros mais sistemáticos a partir da década de 1990, sobretudo no interior de São Paulo, com destaque para a região de Catanduva. A planta se adaptou bem às condições climáticas brasileiras, principalmente em regiões com clima tropical e subtropical, sendo hoje cultivada em estados como São Paulo, Minas Gerais, Paraná, Bahia e Ceará (FREITAS et al., 2017).

Os principais estados produtores de pitaya são Santa Catarina, São Paulo, Minas Gerais e Pará, responsáveis por cerca de 77% da produção nacional. A colheita ocorre entre dezembro e abril nas regiões Sul e Sudeste, enquanto nas regiões Norte e Nordeste a produção se estende ao longo de todo o ano (RIBEIRO, 2019). A

popularização da pitaya no Brasil está relacionada ao crescimento do consumo de alimentos considerados funcionais e saudáveis, visto que a fruta é rica em vitamina C, fibras, antioxidantes, compostos fenólicos e minerais, além de apresentar baixo valor calórico (SANTOS; PEREIRA; LEMOS, 2019). Além do consumo in natura, a pitaya é utilizada na elaboração de sucos, sorvetes, geleias, iogurtes e até em cosméticos. A pitaya tem se destacado como uma fruta promissora para o cultivo, graças à sua aparência exótica, sabor adocicado e suave, polpa firme, além de apresentar excelentes propriedades nutricionais e funcionais (MARQUES et al., 2011). Devido à sua exuberante aparência, que inclui casca colorida e polpa vibrante com sementes pretas, a fruta também passou a ser valorizada como produto gourmet, conquistando espaço em mercados consumidores exigentes, tanto no Brasil quanto no exterior.

3.3.2 Valor Nutricional

A pitaya é uma fruta de alto valor nutricional, conhecida por sua composição rica em vitaminas, minerais, fibras alimentares e compostos antioxidantes, sendo considerada uma fruta funcional. Suas propriedades nutricionais, variam ligeiramente conforme a espécie, sendo as mais comuns no Brasil a pitaya de polpa branca (*Hylocereus undatus*) e a pitaya de polpa vermelha (*Hylocereus costaricensis*). Em 100 gramas da fruta fresca, a pitaya apresenta, as quantidades de cada componente conforme descrito na tabela 1:

Tabela 1: Valores nutricionais

Componente	Quantidade aproximada
Água	90%
Valor energético	50 a 60 kcal
Carboidratos	11 a 13 g
Fibras alimentares	1,5 a 3 g
Proteínas	0,5 a 1,0 g
Gorduras totais	0,3 a 0,6 g
Vitamina C	3 a 25 mg
Cálcio	6 a 10 mg
Fósforo	16 a 36 mg
Potássio	200 a 300 mg

Fonte: Autoria própria (2026)

A presença de fibras alimentares é um dos destaques nutricionais da pitaya, auxiliando na regulação intestinal, na saciedade e no controle glicêmico. Além disso, suas sementes contêm ácidos graxos insaturados, como o ácido linoleico (ômega-6), que contribuem para a saúde cardiovascular (SANTOS; PEREIRA; LEMOS, 2019). Além dos açúcares típicos das frutas, a pitaya é rica em polissacarídeos, compostos fenólicos e pigmentos naturais como betacianinas, betalainas e betaxantinas — bioflavonoides de coloração avermelhada com reconhecida ação antioxidante (RUIZ, 2000).

Outro ponto importante é a presença de antocianinas e betalainas, pigmentos naturais com ação antioxidante, especialmente concentrados na variedade de polpa vermelha. Esses compostos ajudam na redução do estresse oxidativo, com efeitos benéficos à saúde, como a prevenção de doenças inflamatórias e crônicas, incluindo alguns tipos de câncer e enfermidades cardiovasculares (FREITAS et al., 2017).

Além disso, a vitamina C encontrada na pitaya contribui para o fortalecimento do sistema imunológico, enquanto o potássio atua na regulação da pressão arterial e na função muscular. Essas características nutricionais, aliadas ao sabor suave e refrescante, tornam a pitaya uma excelente opção para consumo in natura, em sucos, vitaminas, geleias e como ingrediente funcional na gastronomia e na indústria alimentícia (MOURA et al., 2020; LIMA et al., 2015).

3.3.3 Legislação

A produção de cerveja no Brasil é regulamentada pela Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019, do Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA), a qual estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. De acordo com essa normativa, cerveja é definida como a bebida resultante da fermentação do mosto de cevada malteada ou extrato de malte, previamente submetido à cocção com adição de lúpulo, podendo parte do malte ser substituída por adjuntos cervejeiros dentro dos limites estabelecidos (BRASIL, 2019).

A referida legislação também determina os ingredientes obrigatórios e opcionais, os parâmetros analíticos e os critérios de rotulagem. A utilização de ingredientes de origem vegetal, como a polpa de pitaya, é permitida como ingrediente opcional, desde que apto ao consumo humano e devidamente declarado na lista de ingredientes do rótulo, conforme disposto na Instrução Normativa nº 65/2019

(BRASIL, 2019). O atendimento a essas exigências assegura que o produto esteja em conformidade com os padrões legais de qualidade e segurança estabelecidos para bebidas no território nacional.

4 METODOLOGIAS

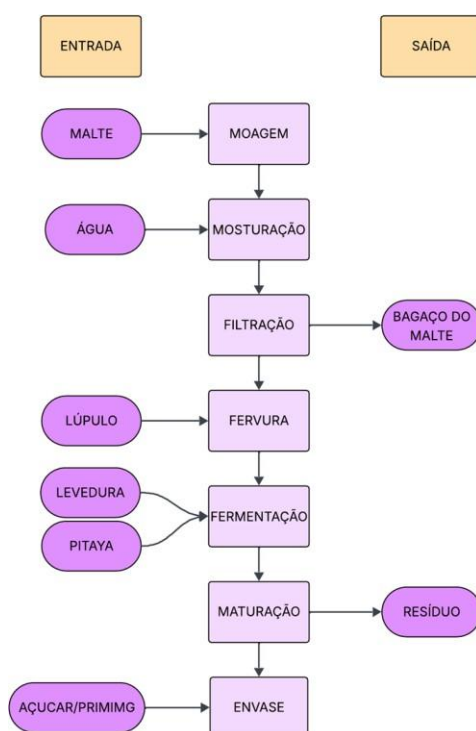
4.1 Metodologia de Produção

4.1.1 Materiais

Para a produção da cerveja, foram utilizados os seguintes materiais: uma panela para aquecimento da pitaya, um liquidificador industrial de 1 litro, uma peneira, um moedor manual, termômetro, duas panelas caldeirão de brassagem ou caldeirão cervejeiro, uma mangueira para resfriamento, solução de iodo 3,00%, 6 quilogramas de malte pilsen, 1 quilograma de malte Viena, 1405,40 mL de pitaya, 30 litros de água, 50 gramas de fermento Fermentis SafAle S-04, 50 gramas de lúpulo citra pellet T-90, cinco galões de 5 litros para armazenar a cerveja e cinco válvulas airlock.

Conforme ilustrado na figura 2 e figura 3, que representam os fluxogramas de adição de pitaya na fermentação e na maturação, respectivamente. Na Fermentação (Figura 2): Após a fervura e resfriamento, o mosto é transferido para os fermentadores, onde são inoculadas a levedura (SafAle S-04) e a pitaya. Neste momento, a fruta participa ativamente do processo fermentativo, interagindo com os microrganismos e contribuindo para o perfil sensorial desde as etapas iniciais de transformação dos açúcares.

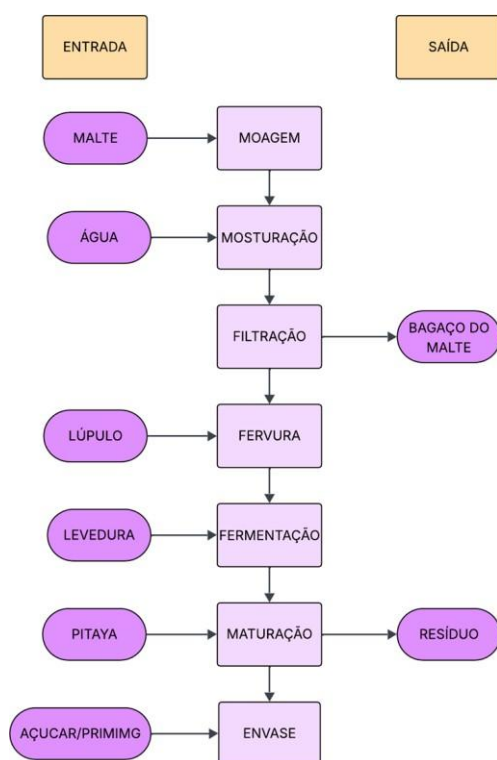
Figura 2: Fluxograma adição de Pitaya na fermentação



Fonte: Autoria própria (2026)

Na Figura 3 o mosto fermentado segue para a fermentação primária com a levedura. Após esta fase, durante a maturação, é realizada a adição da pitaya. Neste ponto, a fruta atua como um adjunto de pós-fermentação, agregando características sensoriais mais preservadas, como aroma frutado e cor, sem necessariamente interferir no processo fermentativo principal.

Figura 3: Fluxograma adição de Pitaya na maturação



Fonte: Autoria própria (2026)

Como pode ser observado na figura 4, as frutas utilizadas na produção da cerveja artesanal foram adquiridas in natura em uma feira local preservando suas características físico-químicas e sensoriais.

Figura 4: Fruta in natura

Fonte: Autoria própria (2026)

Na figura 5 apresenta o processamento de 1405,40 ml da fruta in natura em 100 ml de água filtrada. Em seguida, a mistura foi triturada em liquidificador de alta rotação e filtrada em peneira fina, obtendo-se 1576,40 ml de suco, o qual foi reservado para etapas posteriores. Durante a fase de fervura do mosto, o suco foi submetido a ebulição por 10 minutos, com o objetivo garantir uma baixa contaminação cruzada e promover melhor incorporação ao mosto.

Figura 5: Pitaya concentrada

Fonte: Autoria própria (2026)

O processo de produção da cerveja artesanal iniciou-se pela etapa de moagem dos grãos. Conforme apresentado na figura 6, nessa fase, foram processados 1.002,00 g de malte Viena e 6.000,00 g de malte Pilsen.

Figura 6: Moagem e controle de qualidade do malte



Fonte: Autoria própria (2026)

Para avaliação da qualidade da moagem, realizou-se previamente um teste utilizando 100,00 g de malte cru, o qual deveria resultar em um volume de 250,00 mL, medido por meio de bureta. Assegurando que os grãos estavam na granulometria ideal para uma mosturação eficiente.

Após a etapa de moagem, iniciou-se a mosturação, utilizando-se 30,00 litros de água aquecida entre 66 °C e 67 °C, na qual os grãos moídos foram cozidos por 50 minutos, com agitação contínua e circular da mistura. O controle térmico foi realizado com o auxílio de um termômetro digital tipo espeto e logo em seguida conforme apresentado na figura 7, foi realizado o processo de mosturação. Concluídos os 50 minutos iniciais, a temperatura foi elevada para 75 °C e mantida por 15 minutos. Em seguida, procedeu-se com um novo aumento da temperatura até 80 °C, permanecendo nessa condição por 10 minutos, finalizando assim a etapa de rampas térmicas da mosturação.

Figura 7: Processo de mosturação

Fonte: Autoria própria (2026)

Ao longo de todo o processo de mosturação, realizou-se o teste de iodo para controle de qualidade, conforme apresentado na figura 8. Segundo Bandinelli (2015), esse teste tem a função de confirmar se o amido disponível na mostura foi totalmente convertido em açúcares.

O procedimento consiste em adicionar uma ou duas gotas da solução de iodo a uma pequena amostra do mosto. A cor que surgir indicará a presença ou ausência de amido: a tonalidade amarela confirma a ausência de amido e, portanto, uma conversão completa; já a cor arroxeada revela que ainda há amido residual, indicando que a conversão não foi finalizada. Observa-se que, inicialmente, ainda havia amido a ser convertido em açúcar no mosto; porém, com o avanço do processo, esse amido foi totalmente transformado.

Figura 8: Teste do iodo

Fonte: Autoria própria (2026)

Após a conclusão de toda a etapa de mosturação, realizou-se a filtração, que consistiu na transferência do mosto de uma panela caldeirão para outra por meio do acionamento da válvula. Em seguida, efetuou-se a lavagem do bagaço com 25 litros de água a 77 °C, a fim de extrair os açúcares remanescentes, conforme ilustrado na figura 9.

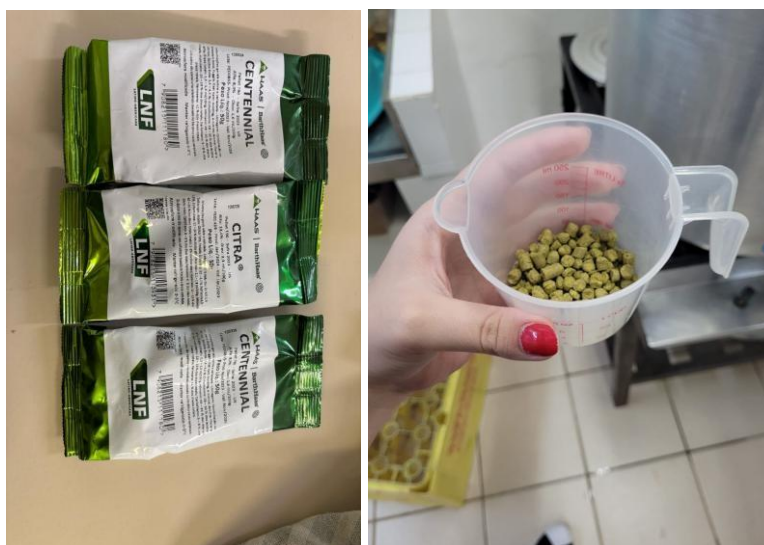
Figura 9: Processo de filtração do mosto



Fonte: Autoria própria (2026)

De acordo com o fluxograma, a etapa de fervura começou com a adição do mosto filtrado e de 25 gramas de lúpulo Citra, apresentado à figura 10, mantendo-se a mistura por 45 minutos a 100 °C. Depois, foram adicionados mais 25 gramas de lúpulo, que permaneceram na fervura por outros 15 minutos, na mesma temperatura. Nessa fase, também foram incorporadas três pastilhas coagulantes.

Figura 10: Lúpulo Citra pellet T-90



Fonte: Autoria própria (2026)

O tratamento do mosto iniciou-se com o processo de resfriamento por meio de uma serpentina, conforme mostrado na figura 11, permitindo a entrada e saída de água em temperatura ambiente até que o mosto atingisse equilíbrio térmico. Concluído esse passo, a etapa foi finalizada com a realização do whirlpool.

Figura 11: Tratamento do mosto (resfriamento)



Fonte: Autoria própria (2026)

Antes de iniciar a etapa de fermentação, adicionaram-se 50 gramas de fermento ao mosto, já em temperatura ambiente. Para conduzir a fermentação, foram utilizados galões de 5 litros, previamente higienizados com água quente e equipados com airlocks. Em cada um dos quatro galões, foram colocados 3000 mL de mosto, aos quais se acrescentaram, respectivamente, 263 mL e 525 mL de caldo de pitaya nesta primeira etapa e posteriormente adicionado nos outros dois galões na fase de mosturação. Assim, a figura 12 apresenta os grupos de estudo e suas respectivas concentrações em g/mL.

Figura 12: Galões antes da fermentação



Fonte: Autoria própria (2026)

Após sete dias de fermentação, os airlocks foram retirados, lavados e colocados nos galões. Em seguida, foi adicionado o caldo de pitaya aos dois galões que havia o mosto, as mesmas quantidades, 263 mL e 525 mL, os recipientes foram mantidos a 5 °C durante 20 dias para a etapa de maturação. A figura 13 ilustra o processo, mostrando à esquerda o início da fermentação e à direita a sua conclusão.

Figura 13: Galões pós fermentação



Fonte: Autoria própria (2026)

A tabela 2 apresenta a composição volumétrica das cervejas artesanais elaboradas, indicando o volume de mosto utilizado, o volume de caldo de pitaya adicionado e as respectivas concentrações empregadas em cada formulação.

As amostras foram produzidas com concentrações de 0%, 7,5% e 15% de pitaya, sendo a adição realizada antes e após o processo de fermentação, a fim de avaliar a influência da concentração e do momento de adição da fruta nas características sensoriais das cervejas.

Tabela 2: Representação das concentrações das cervejas artesanais

Nome (fermentação)	Volume do mosto (mL)	Volume de caldo de Pitaya (mL)	Concentração (mL)
Controle	3000	0	0%
7,5% antes	3000	263	7,5%
15% antes	3000	525	15%
7,5% depois	3000	263	7,5%
15% depois	3000	525	15%

Fonte: Autoria própria (2026)

Após os 20 dias de maturação, adicionou-se o primer (uma calda de açúcar e água) aos galões, e a cerveja foi então transferida para garrafas previamente esterilizadas em água fervente por cinco minutos. A partir desse momento, iniciou-se o processo de carbonatação, que deve durar pelo menos sete dias. O engarrafamento representa a etapa final do processo cervejeiro, na qual a cerveja, já fermentada e maturada, é acondicionada em garrafas sob condições controladas. O processo exige rigor higiênico, vedação adequada e armazenamento em ambiente escuro e com temperatura estável, garantindo assim a preservação das características sensoriais e a qualidade da cerveja artesanal. O processo de envase, etapa final da produção, é detalhado na figura 14.

Figura 14: Processo de envase



Fonte: Autoria própria (2026)

4.2 Metodologia das Análises

4.2.1 Descarbonatação

Para a realização das análises físico-químicas subsequentes, foi necessário submeter a amostra de cerveja a um processo prévio de decarbonatação, visando à remoção do gás carbônico (CO_2) dissolvido. Esta etapa é essencial, uma vez que a presença de CO_2 pode causar interferência em diversos procedimentos analíticos. De acordo com o Instituto Adolfo Lutz (2008), bebidas com elevado teor de CO_2 , como as cervejas, devem ser previamente decarbonatadas para assegurar maior precisão e confiabilidade nas determinações laboratoriais. Procedimentos semelhantes são

descritos no Manual de Métodos Analíticos Oficiais para Bebidas, que recomenda a remoção do gás antes da realização das análises físico-químicas (BRASIL, 2005).

A amostra foi submetida ao ultrassom em um ciclo de 30 minutos, com a temperatura do banho mantida na faixa de 35,5 a 42 °C. A ação de descarbonatação ocorreu mediante a frequência ultrassônica de 40 kHz, conforme ilustrado na figura 15, que promoveu a ruptura das bolhas de gás carbônico, facilitando sua liberação do meio líquido. O procedimento foi conduzido utilizando um equipamento de Banho Ultrassônico Conjugado da marca SolidSteel e após este tratamento, a amostra encontrava-se apta para as demais determinações analíticas.

Figura 15: Processo de descarbonatação



Fonte: Autoria própria (2026)

4.2.2 Análise pH

A determinação do pH da amostra foi realizada conforme o procedimento descrito por Zenebon, Pascuet e Tiglea (2008) em sua obra Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos, especificamente na seção 201/IV, que prescreve o método eletrométrico direto. O pHmetro utilizado foi o de bancada, mostrada da figura 16, onde o procedimento experimental seguiu três etapas principais: preparação do sistema, calibração e medição propriamente dita.

Inicialmente, procedeu-se à preparação do eletrodo de vidro. Este foi cuidadosamente lavado com água destilada para a remoção de quaisquer resíduos de medições anteriores. Em seguida, a membrana do eletrodo foi seca de forma delicada com papel absorvente de baixo teor de partículas, evitando-se fricção excessiva que pudesse danificar o componente sensível.

Posteriormente, executou-se a calibração do pHmetro, etapa fundamental para garantir a confiabilidade das medições. Para tal, utilizaram-se soluções tampão comerciais de pH 4 e pH 7 estáveis. O equipamento foi calibrado seguindo as instruções do fabricante, e os valores de pH obtidos para cada tampão foram confrontados com seus respectivos valores de referência.

Concluída a calibração, o eletrodo foi novamente lavado e seco conforme o protocolo inicial. Para a análise, uma proporção de aproximadamente 50 mL da amostra foi transferida para um recipiente de vidro (béquer) de 100 mL. O eletrodo devidamente preparado foi então imerso na amostra. A leitura final do pH foi registrada apenas após a completa estabilização do valor numérico no display do aparelho, garantindo que a medição refletisse a condição de equilíbrio da solução.

Figura 16: pHmetro de bancada



Fonte: Autoria própria (2026)

4.2.3 Análise da Cor

A cor da cerveja foi determinada de acordo com o método padrão estabelecido pela Analytica – European Brewery Convention (EBC) para medição de cor em cervejas (EBC, 2022). Esta análise tem como objetivo quantificar objetivamente a intensidade da coloração da bebida, um parâmetro crítico para a classificação e padronização sensorial do produto.

A filtração foi realizada com auxílio de um sistema a vácuo, conforme ilustrado na figura 17. O procedimento experimental iniciou-se com a preparação da amostra. Porções representativas da cerveja foram submetidas a filtração qualitativa, utilizando papel-filtro de porosidade média, para a remoção completa de partículas em suspensão e leveduras residuais que pudessem interferir na leitura espectrofotométrica.

Figura 17: Sistema de filtração a vácuo



Fonte: Autoria própria (2026)

Após a clarificação, a absorbância das amostras foi mensurada em espectrofotômetro UV-Vis, previamente calibrado com água destilada como branco de referência. A leitura foi realizada a um comprimento de onda de 430 nm, utilizando cubetas de quartzo ou vidro óptico com caminho óptico de 10 mm, conforme especificação do método.

O valor de cor em unidades EBC foi calculado a partir da absorbância medida (A_{430}), conforme a equação padrão estabelecida:

$$A_{430nm} \times 25 = EBC$$

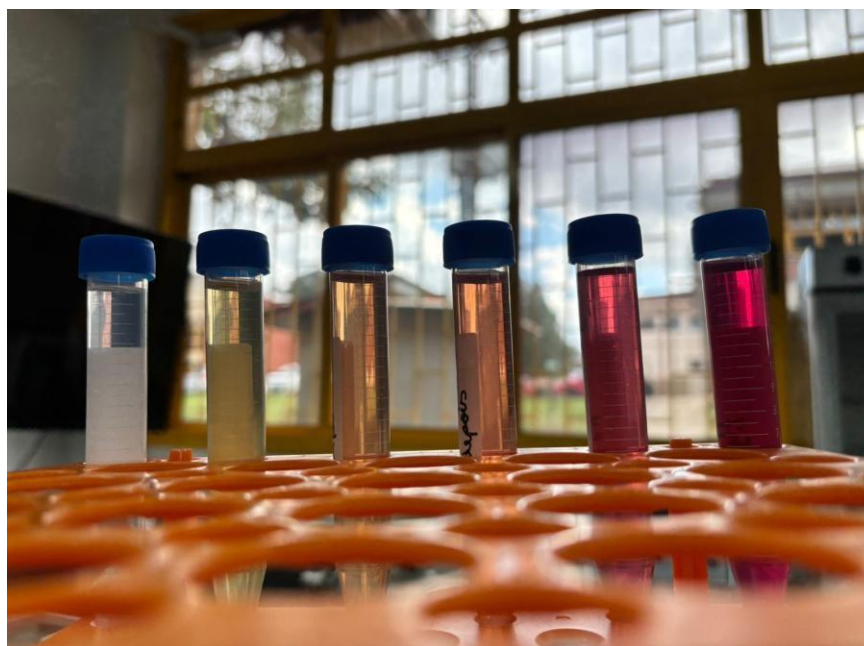
Onde:

A_{430nm} = Absorbância em a 430 nm em cubeta de 10 mm

EBC= medida da cor segundo o parâmetro estabelecido pela European Brewery Convention

Este procedimento permitiu uma avaliação precisa e quantitativa da cor, correlacionando-a diretamente com o perfil do malte utilizado e, no caso das formulações experimentais, com a contribuição cromática da pitaya adicionada, apresentada na figura 18 a seguir os diferentes tons obtidos para cada amostra, evidenciando a influência da pitaya na coloração da cerveja.

Figura 18: Amostras de cerveja em tubos de ensaio com diferentes colorações



Fonte: Autoria própria (2026)

A Escala EBC serve como referência objetiva e padronizada para a análise cromática da cerveja. Através de suas unidades numéricas, que variam do amarelo-pálido ao marrom-escuro, ela quantifica a intensidade da cor proveniente principalmente dos maltes, permitindo classificar estilos, verificar a consistência da produção e inferir, de forma técnica, o perfil sensorial esperado da bebida antes mesmo da degustação. A figura 19 ilustra o padrão visual da escala EBC de referência.

Figura 19: Escala de tonalidade em EBC



Fonte: Fábrica do Cervejeiro (2002)

4.2.4 Análise do amargor

O amargor da cerveja, expresso em Unidades Internacionais de Amargor (International Bitterness Units – IBU), foi determinado conforme o método 8.8 padronizado pela European Brewery Convention (Analytica-EBC), conforme descrito por Brunelli, Mansano e Venturini Filho (2014). Este método quantifica os iso- α -ácidos, principais compostos responsáveis pelo amargor, originados da isomerização dos α -ácidos do lúpulo durante a fervura do mosto.

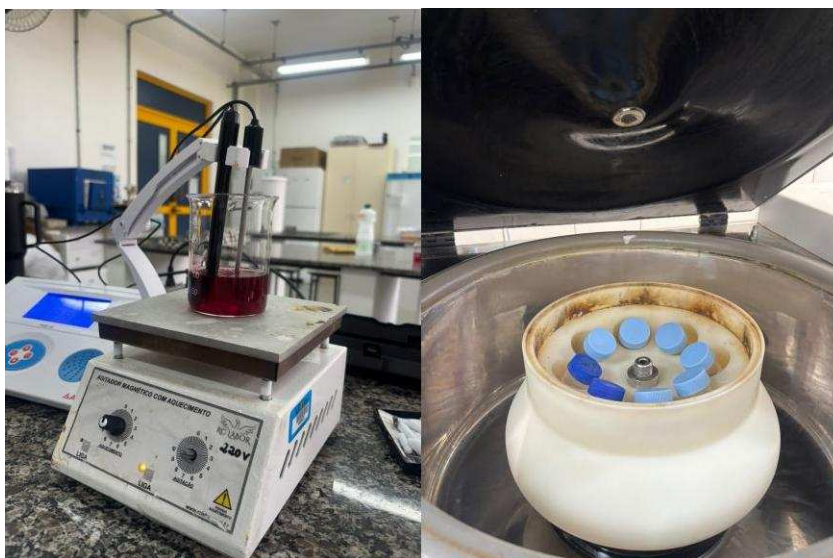
O procedimento analítico seguiu o protocolo operacional padronizado (POP) adaptado de Martins (2022). Inicialmente, uma amostra de 10,0 mL de cerveja previamente descarbonatada foi filtrada em papel de filtro qualitativo para um

erlenmeyer de 125 mL, visando a remoção de partículas que poderiam interferir na análise. Em seguida, adicionou-se 0,5 mL de ácido clorídrico (HCl) 6,0 mol/L à amostra filtrada para protonar os iso- α -ácidos e favorecer sua partição para a fase orgânica. Posteriormente, adicionou-se 20,0 mL de isooctano (2,2,4-trimetilpentano) como solvente ao erlenmeyer. A mistura foi submetida a agitação vigorosa com um agitador magnético, apresentado na figura 20, a 3000 rpm por exatos 3 minutos, garantindo a completa extração dos compostos amargos.

Após a agitação, a mistura foi transferida para um funil de separação, onde foi deixada em repouso para a completa separação das fases aquosa e orgânica. A fase orgânica (superior), contendo os iso- α -ácidos extraídos, foi recolhida. A absorbância da fase orgânica foi medida a 275 nm em espectrofotômetro UV-Vis, utilizando cubetas de quartzo de 10 mm e isooctano puro como branco. O valor de IBU foi obtido multiplicando-se a absorbância pelo fator de correção 50 (KUNZE, 2017; HARDWICK, 2001).

O procedimento foi realizado em triplicata para cada uma das 5 amostras experimentais (branco, 7,5% antes, 15% antes, 7,5% depois, 15% depois), e o resultado final expresso como a média dos valores obtidos. Este método, amplamente reconhecido na indústria cervejeira, permite uma avaliação objetiva e reprodutível do amargor, parâmetro fundamental para o equilíbrio sensorial e a caracterização do estilo da cerveja produzida.

Figura 20: Agitador magnético com aquecimento e centrífuga



Fonte: Autoria própria (2026)

4.2.5 Análise de turbidez

A turbidez é um parâmetro físico relevante no controle do processo cervejeiro, especialmente na produção de cerveja de pitaya, devido à presença de partículas em suspensão como leveduras, proteínas, polifenóis e sólidos provenientes da fruta. O monitoramento da turbidez permite avaliar etapas como fermentação, maturação e clarificação, além de contribuir para a padronização e estabilidade do produto final. Valores elevados de turbidez podem indicar falhas no processo ou necessidade de ajustes operacionais (VENTURINI FILHO, 2010).

O turbidímetro, conforme a figura 21 a seguir, é o equipamento utilizado para a determinação da turbidez, operando com base no princípio da dispersão da luz. Um feixe luminoso atravessa a amostra e a luz espalhada pelas partículas é detectada, geralmente a 90° em relação ao feixe incidente, nos equipamentos do tipo nefelométrico. A intensidade da luz dispersa é convertida em valores expressos em Unidades Nefelométricas de Turbidez (NTU), sendo necessária a calibração prévia com padrões certificados para garantir a confiabilidade dos resultados (APHA, 2017; ISO, 2019).

Figura 21: Turbidímetro

Fonte: Autoria própria (2026)

4.2.6 Análise de Acidez

A acidez total titulável das amostras de cerveja foi determinada conforme o princípio da titulação ácido-base, utilizando-se uma adaptação do método descrito na seção 221/IV da obra Métodos Físico-Químicos para Análise de Alimentos (Zenebon, Pascuet e Tiglea, 2008). A metodologia original, que preconiza o uso da fenolftaleína como indicador, foi ajustada para empregar o azul de bromotimol, indicador mais adequado à faixa de pH das cervejas analisadas e aos dados experimentais obtidos.

Para a execução da análise, uma amostra de 50 mL de cada cerveja, previamente descarbonatada, foi transferida para um erlenmeyer de 125 mL. Em seguida, adicionaram-se oito gotas de solução alcoólica de azul de bromotimol a 0,2%, que atuou como indicador visual do ponto final da reação. A mistura foi submetida à titulação com solução aquosa padronizada de hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 mol/L, sob agitação manual.

O volume de solução de NaOH consumido em cada titulação foi registrado. A mudança de cor no ponto final da titulação, visível nas amostras representadas na figura 22, permitiu calcular a concentração de ácidos totais expressa em ácido acético.

Figura 22: Amostras de cerveja utilizadas na análise de acidez



Fonte: Autoria própria (2026)

A acidez total da amostra, expressa em gramas de ácido acético por 100 mL de cerveja, foi calculada conforme a Equação:

$$\frac{n \times M \times f \times PM}{V \times 10} = \text{Ácidos Totais}$$

n = volume gasto na titulação da solução de hidróxido de sódio, em mL;

M = molaridade da solução de hidróxido de sódio;

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

PM = peso molecular do ácido acético (60g);

V = volume tomado da amostra, em mL;

ácidos totais = ácidos totais em g de ácido acético por 100 mL de amostra.

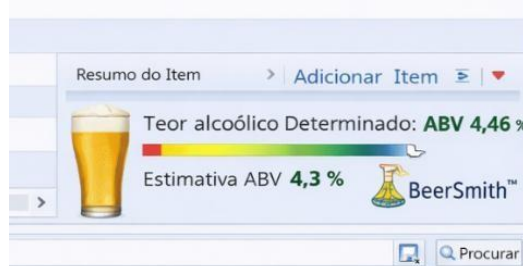
Este procedimento analítico foi realizado em triplicata para cada uma das formulações experimentais: cerveja controle (sem aditivo) e cervejas com adição de pitaya nas concentrações de 7,5% e 15%, incorporadas em dois momentos distintos do processo (antes e após a fermentação). Os resultados finais para cada formulação foram expressos como a média aritmética das triplicatas, acompanhada dos respectivos desvios padrão, permitindo uma avaliação estatística da influência da fruta sobre a acidez da bebida final.

4.2.7 Teor alcoólico

A determinação do teor alcoólico (ABV – Alcohol by Volume) foi realizada de maneira indireta por meio de cálculos teóricos baseados nas densidades do mosto, utilizando o software BeerSmith™, ferramenta especializada em modelagem e previsão de parâmetros cervejeiros.

O software estimou a densidade original (OG) do mosto, considerando uma eficiência de brassagem padrão de 70%. A densidade final (FG) foi estimada com base na atenuação típica da levedura Fermentis SafAle S-04 (aproximadamente 75%). O teor alcoólico (% ABV) foi calculado automaticamente pelo programa, ilustrado na figura 23. Os valores obtidos foram utilizados como referência teórica para comparação com os resultados analíticos das cervejas produzidas, permitindo avaliar a influência da adição de pitaya em diferentes etapas do processo sobre o teor alcoólico final.

Figura 23: imagem ilustrativa do programa.



Fonte: Autoria própria (2026)

4.2.8 Análise Antioxidante

O método do DPPH (2,2-difenil-1-picril-hidrazil) é uma técnica espectrofotométrica amplamente utilizada para avaliar a capacidade antioxidante de extratos e substâncias.

Baseia-se na redução do radical livre estável DPPH, que possui coloração violeta intensa, por compostos antioxidantes, resultando em uma solução descolorada (amarelada ou violeta claro). A diminuição da absorbância é medida em comprimento de onda específico, geralmente entre 515 e 517 nm, permitindo quantificar a atividade antioxidante. Nesta adaptação metodológica, proposta com base em protocolo da Embrapa, buscou-se otimizar o tempo de reação. Para isso, preparou-se uma solução estoque de DPPH dissolvendo 24 mg do reagente em 100 mL de etanol absoluto.

A solução de trabalho foi obtida pela diluição de 10 mL da solução estoque para 100 mL com etanol. Como padrão antioxidante, utilizou-se Trolox (análogo hidrossolúvel da vitamina E), preparando-se uma solução de 2 mM (0,250 g em 50 mL de etanol) e diluições subsequentes na faixa de 50 a 1000 μ M. A análise consistiu em adicionar 150 μ L de cada concentração de Trolox ou da amostra a 5,850 mL da solução de DPPH. As misturas foram homogeneizadas, mantidas em repouso no escuro, e a absorbância foi lida a 515–517 nm. A porcentagem de inibição do radical DPPH foi calculada pela fórmula:

$$\% \text{ Inibição} = \frac{Abs_{controle} - Abs_{amostra}}{Abs_{controle}} \times 100$$

Baseado no protocolo desenvolvido pela Embrapa, a metodologia adaptada apresentou como principais vantagens a redução do tempo de reação, essa metodologia destaca-se por ser de baixo custo, rápida, reprodutível e por utilizar solventes de baixa toxicidade, como etanol, além de permitir a análise de extratos brutos sem necessidade de fracionamento ou diluições prévias. A figura 24 a seguir ilustra a aparência da solução de DPPH antes da reação com os antioxidantes da pitaya.

Figura 24: Solução de DPPH em tubo de ensaio



Fonte: Autoria própria (2026)

A Análise de Variância (ANOVA) compara as médias de três ou mais grupos independentes, decompondo a variabilidade total dos dados em: variação entre grupos (devida ao tratamento) e variação dentro dos grupos (erro aleatório). A lógica central do teste é calcular a razão F entre essas duas variâncias. Se essa razão for suficientemente grande, resultando em um valor- $p < 0,05$, rejeita-se a hipótese nula de que todas as médias são iguais. Conclui-se, portanto, que há pelo menos uma diferença significativa entre os grupos.

4.2.9 Degustação informal

A avaliação sensorial das cervejas foi realizada por meio de uma degustação informal e dirigida, utilizando ficha estruturada de análise sensorial elaborada para este estudo. O objetivo foi descrever as características sensoriais das amostras e avaliar a aceitabilidade das cervejas produzidas com adição de pitaya.

As avaliações foram conduzidas de forma individual, considerando as etapas de avaliação visual, olfativa, gustativa, retrogosto e impressão geral. Durante a análise visual, foram observados os atributos de cor, intensidade da cor, aspecto (limpidez ou turbidez) e características da espuma, incluindo formação, persistência e coloração.

A avaliação olfativa contemplou a intensidade aromática e a identificação de descritores sensoriais relacionados à pitaya e aos compostos da cerveja base, bem como a qualidade global do aroma, avaliada por meio de escala hedônica de cinco pontos. Na avaliação degustativa, foram analisados o ataque inicial, os sabores percebidos, o equilíbrio geral e o retrogosto, considerando sua duração e qualidade. A sensação na boca foi avaliada quanto ao corpo e à textura da bebida. As amostras analisadas, incluindo a cerveja controle e as variações com pitaya, são apresentadas na figura 25.

Figura 25: Amostras das cervejas artesanais



Fonte: Autoria própria (2026)

Por fim, a impressão geral foi determinada a partir da avaliação da harmonia sensorial e da aceitabilidade global das amostras, também utilizando escala hedônica de cinco pontos. A degustação foi realizada com um grupo de 6 pessoas, com faixa etária entre 20 e 50 anos, não treinados e sem conhecimento prévio sobre o tipo de pitaya utilizado em cada amostra. Todas as amostras, incluindo a amostra controle, foram avaliadas sob as mesmas condições e o questionário aplicado na avaliação de degustação informal encontra-se disponível no Anexo 1.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos nas análises físico-químicas, antioxidantes e sensoriais das cervejas elaboradas com adição de polpa de pitaya são apresentados a seguir, organizados na mesma sequência metodológica descrita anteriormente, permitindo a avaliação sistemática da influência da concentração da fruta e do momento de sua adição sobre os parâmetros analisados.

5.1 Análise pH

Os resultados expressos na tabela 3 de pH obtidos demonstram que a adição de pitaya, bem como o processo fermentativo, exerceram influência direta sobre a acidez das amostras analisadas. O controle (branco) apresentou pH de 5,04, valor semelhante ao observado nas amostras antes da fermentação com adição de 7,5% de pitaya (pH 4,97), indicando discreta acidificação inicial. Contudo, com o aumento da concentração de pitaya para 15%, verificou-se uma redução mais expressiva do pH (4,27), evidenciando maior contribuição de compostos ácidos provenientes da fruta.

Tabela 3: Resultado da análise do pH

Condição	Concentração de pitaya (%)	pH	Temperatura (°C)
Controle (branco)	0	5,04	19,5
Antes da fermentação	7,5	4,97	19,1
Antes da fermentação	15	4,27	19,6
Depois da fermentação	7,5	4,21	19,4
Depois da fermentação	15	4,47	19,9

Fonte: Autoria própria (2026)

Após a fermentação, a amostra contendo 7,5% de pitaya apresentou pH ainda mais reduzido (4,21), a intensificação da acidez observada após a fermentação pode ser atribuída à atividade metabólica dos microrganismos fermentadores, conforme discutido por Coelho Neto et al. (2022), que identificaram a presença de ácidos orgânicos em cervejas como subprodutos do metabolismo das leveduras durante o processo fermentativo. De modo geral, os resultados indicam que tanto a concentração de pitaya quanto a fermentação influenciaram significativamente no pH das amostras.

5.2 Análise da Cor

Os resultados obtidos para a cor da cerveja, expressos em unidades EBC na tabela 4, demonstram que a adição de pitaya promoveu aumento significativo da intensidade de cor em relação à amostra controle (10,5 EBC). Observa-se que, antes da fermentação, as amostras contendo 7,5% e 15% de pitaya apresentaram valores de 15,225 e 16,175 EBC, respectivamente, evidenciando uma relação direta entre o aumento da concentração da fruta e o incremento da coloração da bebida. Este aumento quantitativo indica a eficiente extração e solubilização dos pigmentos betalânicos da pitaya no mosto cervejeiro, compostos responsáveis pela coloração vermelho-púrpura característica da fruta (HERBACH; STINTZING; CARLE, 2006).

Tabela 4: Resultado da análise da cor

Condição	Concentração de pitaya (%)	Absorvância (nm)	EBC
Controle (branco)	0	0,42	10,5
Antes da fermentação	7,5	0,609	15,225
Antes da fermentação	15	0,647	16,175
Depois da fermentação	7,5	0,488	12,2
Depois da fermentação	15	0,514	12,85

Fonte: Autoria própria (2026)

É importante contextualizar, no entanto, que a escala EBC convencional foi desenvolvida para quantificar a intensidade de cor em uma faixa que abrange desde o amarelo até o marrom, típica das cervejas tradicionais. Consequentemente, ela é limitada para descrever qualitativamente a tonalidade única conferida pela pitaya, que se apresenta como um rosa vibrante. Portanto, o aumento nos valores de EBC indica que a cerveja ficou mais escura, mas essa métrica não descreve a mudança em sua tonalidade, que se tornou rosada, este é um fenômeno conhecido ao se utilizar frutas com pigmentos atípicos, como as betalaínas, que conferem cores fora do espectro padrão da maltação (VECERI et al., 2021).

Após a fermentação, houve redução nos valores de EBC para 12,2 (7,5%) e 12,85 (15%), indicando perda parcial de cor. Essa diminuição pode ser devida à degradação ou adsorção dos pigmentos da pitaya pelas leveduras (DRUNKLER et al.,

2020). Contudo, os valores permaneceram acima do controle (10,5 EBC), confirmando a contribuição permanente da fruta para a coloração da cerveja.

5.3 Análise do amargor

Os resultados de amargor, expressos em Unidades Internacionais de Amargor (IBU), evidenciaram que tanto a adição de pitaya quanto a etapa do processo de produção exerceram influência direta e quantificável sobre a intensidade do amargor da cerveja. Conforme os dados apresentados na tabela 5, observou-se uma redução progressiva e significativa dos valores de IBU antes da fermentação com o incremento da concentração de pitaya. A amostra controle apresentou 18,25 IBU, enquanto as amostras com 7,5% e 15% de polpa registraram 10,8 IBU e 7,6 IBU, respectivamente.

Este decréscimo linear pode ser atribuído principalmente a dois fatores: i) o efeito de diluição da matriz cervejeira, que reduz a concentração relativa dos iso- α -ácidos provenientes do lúpulo; e ii) a possível interação física ou química desses compostos amargos com constituintes da pitaya, como polifenóis, proteínas e fibras, que podem mascarar ou reduzir a percepção e a extração analítica do amargor (BRUNELLI; MANSANO; VENTURINI FILHO, 2014).

Tabela 5: Resultado da análise de amargor

Condição	Concentração de pitaya (%)	Absorvância	IBU
Controle (branco)	0	0,365	18,25
Antes da fermentação	7,5	0,216	10,8
Antes da fermentação	15	0,152	7,6
Depois da fermentação	7,5	0,129	6,45
Depois da fermentação	15	0,273	13,65

Fonte: Autoria própria (2026)

Quando comparados aos valores de amargor típicos de estilos cervejeiros comerciais, os resultados obtidos enquadram todas as amostras desenvolvidas, inclusive o controle, em uma faixa de baixo a moderado amargor. Estilos como Pale Lager e Blonde Ale geralmente variam entre 20 e 30 IBU, enquanto cervejas intencionalmente mais amargas, como as Indian Pale Ales (IPAs), podem ultrapassar 50 IBU. Nesse contexto, as cervejas com pitaya apresentaram um perfil sensorial

distinto, alinhado ao conceito de fruit beers ou cervejas de fruta, que priorizam o equilíbrio entre o dulçor, a acidez e os aromas frutais em detrimento do amargor lupulado pronunciado (HARDWICK, 2001).

Dessa forma, os valores de IBU obtidos mostram-se coerentes com a proposta do produto, indicando que a adição de pitaya contribui para a modulação e redução do amargor, resultando em um perfil sensorial diferenciado, sem comprometer as características fundamentais da bebida cervejeira.

5.4 Análise de turbidez

Os resultados de turbidez, apresentados na tabela 6, demonstraram influência marcante tanto da concentração de pitaya quanto da etapa do processo. Na etapa pré-fermentação, observou-se que a amostra com 15% de fruta atingiu a maior turbidez média, superando o controle e a amostra com 7,5%. Este aumento é atribuído à introdução de sólidos insolúveis, fibras e compostos coloidais da polpa de pitaya, conforme descrito para bebidas fermentadas com frutas (AQUARONE et al., 2001). Após o processo fermentativo, observou-se comportamento distinto entre as formulações avaliadas.

A amostra contendo 7,5% de pitaya apresentou diminuição da turbidez, sugerindo adequada floculação e sedimentação das leveduras e de outras partículas em suspensão. Por outro lado, a formulação com 15% de pitaya manteve valores elevados de turbidez, possivelmente associados à intensificação de interações coloidais entre proteínas e compostos fenólicos, além da maior contribuição de sólidos oriundos da fruta. Esse resultado indica a necessidade de estratégias adicionais de clarificação para assegurar a estabilidade físico-química do produto final, conforme descrito para bebidas fermentadas com adição de frutas (VENTURINI FILHO, 2010; FARIA et al., 2012).

Tabela 6: Resultado da análise da turbidez

Condição	Concentração de pitaya (%)	Medição I (NTU)	Medição II (NTU)	Turbidez Média (NTU)
Controle (branco)	0	142	18,2	80,1
Antes da fermentação	7,5	121	27	74
Antes da fermentação	15	153	32	92,5
Depois da fermentação	7,5	58,1	10,8	34,45
Depois da fermentação	15	400	26,3	213,15

Fonte: Autoria própria (2026)

5.5 Análise de Acidez

A avaliação da acidez por meio da resposta cromática do azul de bromotimol, apresentado na tabela 7, demonstrou que a adição de pitaya promoveu a redução da acidez inicial do meio antes da fermentação, efeito que se intensificou com o aumento da concentração da fruta. Entretanto, após o processo fermentativo, observou-se aumento significativo da acidez, especialmente na amostra contendo 15% de pitaya, indicando maior formação de ácidos orgânicos decorrente do metabolismo microbiano.

De acordo com Venturini Filho (2010), meios com maior disponibilidade de açúcares tendem a apresentar aumento da formação de ácidos orgânicos ao longo do processo fermentativo, o que corrobora os resultados observados neste estudo. Os valores de desvio padrão obtidos foram baixos, indicando boa repetibilidade entre as análises realizadas. O erro padrão reduzido evidencia adequada precisão das médias calculadas, conferindo maior confiabilidade às tendências observadas na avaliação da acidez entre as diferentes condições estudadas.

Tabela 7: Resultado da análise de acidez

Condição	Concentração de Pitaya (%)	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Média	Desvio Padrão	Erro Padrão
Controle (Branco)	0	6,5	5,5	6	6	0,500000	0,288675
Antes da Fermentação	7,5	8,1	7,5	7	7,5	0,550757	0,317980
Antes da Fermentação	15	17	16	15,5	16	0,763763	0,440959
Depois da Fermentação	7,5	13	11,5	11,5	11,5	0,866025	0,500000
Depois da Fermentação	15	6,5	5,9	5,5	5,9	0,503322	0,290593

Fonte: Autoria própria (2026)

5.6 Teor alcoólico

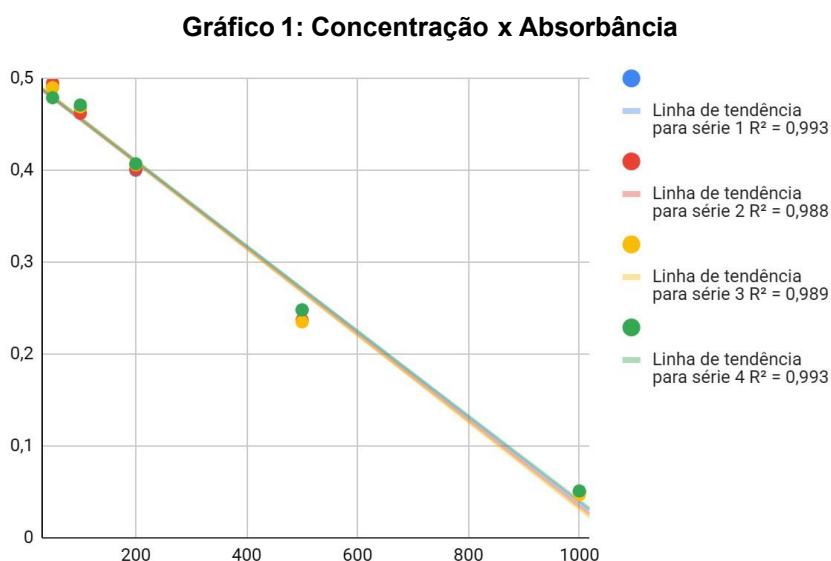
O teor alcoólico da cerveja controle produzida (ABV – *Alcohol by Volume*) foi determinado por meio do software BeerSmith™, obtendo-se o valor de 4,46 % v/v, estando em conformidade com a legislação brasileira vigente, conforme estabelecido pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, que define cerveja como bebida alcoólica fermentada com graduação superior a 0,5% (v/v). Considerando a utilização de *Saccharomyces cerevisiae*, a bebida enquadra-se como cerveja do tipo Ale, apresentando teor alcoólico dentro da faixa típica para esse estilo (4,0 a 6,5% v/v). O resultado indica adequada eficiência fermentativa, demonstrando que a adição de polpa de pitaya não comprometeu o processo.

Resultados semelhantes foram relatados na literatura, como nos estudos de BRUNELLI et al. (2014), que observaram teores entre 4,11% e 5,54% v/v em cervejas artesanais elaboradas com mel, e de MARTINS; FERREIRA (2013), que obtiveram 4,64% v/v em cerveja artesanal com adição de gengibre.

Tais dados corroboram a adequação do processo produtivo adotado e a conformidade do produto final ao perfil alcoólico esperado para o estilo. Entretanto, ressalta-se a necessidade de utilizar equipamento com maior sensibilidade para a medição do teor alcoólico, uma vez que os valores obtidos apresentaram pouca variabilidade, embora tenham sido adicionadas diferentes concentrações de pitaya.

5.7 Análise Antioxidante

A atividade antioxidante em função da concentração dos extratos é apresentada no Gráfico 1. O gráfico de absorbância em função da concentração demonstra uma tendência de diminuição nos valores de absorbância à medida que a concentração do extrato de pitaya aumenta, o que é característico de uma resposta dose-dependente no ensaio DPPH. Essa relação inversa corrobora que os compostos presentes no extrato são efetivos na redução do radical DPPH, e a curva gerada permite inferir o potencial antioxidante da amostra em estudo.



Fonte: Autoria própria (2026)

Os valores de inibição do radical DPPH, próximos de 100%, confirmam a alta potência antioxidante dos extratos, com o tratamento "15% antes" apresentando a média de menor absorbância (0,1263) e, portanto, a maior atividade. Todas as amostras processadas tiveram absorbância inferior ao controle "Branco" (0,1837), demonstrando uma tendência clara de aumento na capacidade de inibição do radical após o processamento.

Os resultados comprovam que o tratamento foi eficaz em alterar o perfil antioxidante da pitaya, com uma eficiência excepcional na neutralização do DPPH. Com base no teste estatístico ANOVA aplicado às leituras de absorbância no ensaio DPPH, constatou-se que os diferentes tratamentos aplicados às amostras de pitaya exerceram um efeito estatisticamente significativo.

O cálculo da ANOVA começa determinando a soma dos quadrados total, que mede a variação de todos os dados em torno da média geral de todas as amostras. Em seguida, calcula-se a soma dos quadrados entre os grupos, que quantifica o quanto as médias de cada tratamento se desviam da média geral, e a soma dos quadrados dentro dos grupos, que mede a variação das três repetições dentro de cada tratamento. Os quadrados médios são obtidos dividindo cada soma de quadrados pelos seus respectivos graus de liberdade, resultando no quadrado médio entre grupos e no quadrado médio dentro dos grupos. Por fim, o valor F é calculado pela divisão do quadrado médio entre grupos pelo quadrado médio dentro dos grupos, e o valor p é obtido comparando esse F com a tabela da distribuição F de Snedecor, indicando a probabilidade de as diferenças observadas terem ocorrido ao acaso. No seu caso, o $F = 6,23$ e o $p = 0,0062$ confirmam que os tratamentos com pitaya realmente alteraram a atividade antioxidante de forma estatisticamente significativa.

Este valor de p, significativamente inferior ao nível crítico de 0,05, nos permite rejeitar a hipótese nula com 99,38% de confiança, concluindo que as médias de absorbância dos cinco grupos experimentais não são iguais.

Conforme detalhado na tabela 8, que apresenta os dados originais em triplicata, o grupo "15% antes" registrou as menores leituras individuais, resultando na média geral mais baixa do experimento (0,1263). No ensaio DPPH, uma absorbância menor indica uma maior capacidade de inibição do radical livre, portanto, este grupo demonstrou a maior atividade antioxidante. Em oposição direta, às triplicatas do grupo "Branco" (controle) apresentaram as maiores absorbâncias, confirmando sua menor atividade, enquanto os grupos restantes exibiram valores intermediários.

A razão F de 6,23 mostra que o efeito dos tratamentos foi 6 vezes maior que o erro experimental, confirmando que a diferença entre os grupos é real e robusta. Portanto, o processamento da pitaya alterou de forma decisiva seu potencial antioxidante.

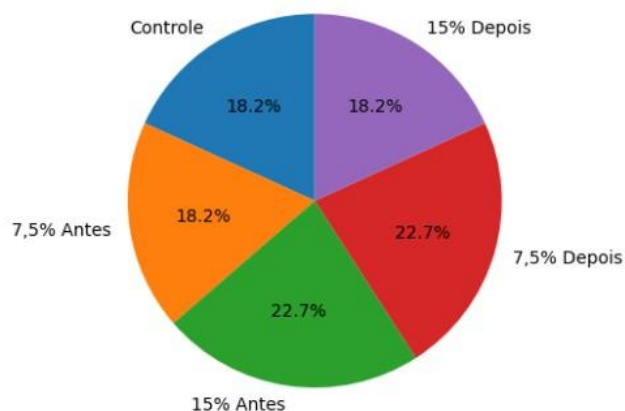
Tabela 8: Resultado das análises do antioxidante em triplicata

Amostra	Identificação	Resultado
Branco	C 1.1	0,211
Branco	C 1.2	0,185
Branco	C 1.3	0,155
7,5% depois	C 2.1	0,14
7,5% depois	C 2.2	0,16
7,5% depois	C 2.3	0,168
7,5% antes	C 3.1	0,145
7,5% antes	C 3.2	0,148
7,5% antes	C 3.3	0,165
15% depois	C 4.1	0,171
15% depois	C 4.2	0,154
15% depois	C 4.3	0,14
15% antes	C 5.1	0,136
15% antes	C 5.2	0,122
15% antes	C 5.3	0,121

Fonte: Autoria própria (2026)

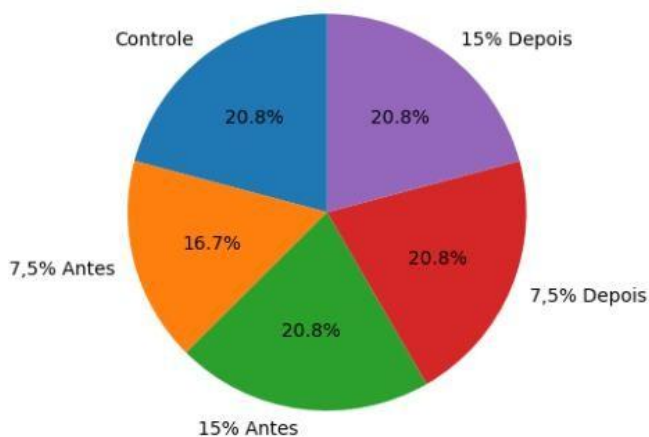
5.8 Degustação informal

O gráfico 2 da qualidade média do aroma indica que as amostras 15% antes da fermentação e 7,5% após a fermentação apresentaram as maiores avaliações, evidenciando maior percepção aromática, especialmente em função da concentração de pitaya e do processo fermentativo. As demais amostras, embora bem avaliadas, apresentaram médias ligeiramente inferiores, sugerindo menor intensidade ou complexidade aromática em comparação às amostras de melhor desempenho.

Gráfico 2: Distribuição da qualidade média do aroma

Fonte: Autoria própria (2026)

O gráfico 3 da aceitabilidade global mostra elevada aceitação para a maioria das amostras, com médias máximas atribuídas às cervejas controle, 15% antes da fermentação e às amostras após a fermentação. A cerveja 7,5% antes da fermentação apresentou menor aceitabilidade, possivelmente em função do menor equilíbrio sensorial observado antes do processo fermentativo.

Gráfico 3: Distribuição da aceitabilidade média das cervejas

Fonte: Autoria própria (2026)

A partir dos resultados apresentados nos gráficos, observa-se que a adição de pitaya influenciou diretamente o perfil sensorial das cervejas avaliadas. A amostra controle apresentou qualidade aromática média igual a 4 e equilíbrio gustativo máximo (5), servindo como referência para comparação.

As cervejas com adição de pitaya destacaram-se pela maior intensidade de cor e melhor desempenho aromático, especialmente a cerveja 15% antes da fermentação e a cerveja 7,5% após a fermentação, ambas com média 5 para qualidade do aroma.

Em relação à aceitabilidade global, a cerveja 7,5% antes da fermentação apresentou a menor média (4), enquanto todas as amostras fermentadas alcançaram aceitabilidade máxima (5). Esses resultados indicam que o processo fermentativo favoreceu a integração sensorial entre a cerveja base e a pitaya, resultando em bebidas mais equilibradas e bem aceitas pelos avaliadores.

6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste trabalho demonstram que a adição de pitaya (*Hylocereus spp.*) na produção de cerveja artesanal influenciou de forma significativa as características físico-químicas, antioxidantes e sensoriais da bebida, sem comprometer o desempenho fermentativo nem a qualidade final do produto. A incorporação da fruta promoveu redução do pH e aumento da acidez, mantendo-se dentro dos limites adequados para cervejas artesanais, além de alterações na turbidez compatíveis com o estilo proposto.

Observou-se também redução do amargor (IBU) e aumento expressivo da coloração, evidenciado por valores mais elevados de EBC e pela tonalidade rosada característica, atribuída aos pigmentos naturais da pitaya. O teor alcoólico final permaneceu dentro da faixa esperada para o estilo, confirmando a compatibilidade da fruta com o processo fermentativo. Em relação ao momento de adição, os resultados indicaram que a inclusão da pitaya durante a maturação foi mais eficaz na preservação da cor, do aroma frutado e dos compostos bioativos, quando comparada à adição na fervura do mosto, enquanto a adição antes da fermentação favoreceu maior atividade antioxidante.

A degustação sensorial informal revelou boa aceitação das cervejas com pitaya, destacando-se o aroma frutado e o sabor suave. Ressalta-se que algumas limitações foram enfrentadas ao longo do estudo, principalmente relacionadas à disponibilidade de equipamentos de maior precisão no ambiente universitário. Dessa forma, conclui-se que a pitaya é um adjunto promissor para o desenvolvimento de cervejas artesanais diferenciadas, demonstrando potencial para aplicação tecnológica e ampliando as possibilidades de inovação no setor cervejeiro.

REFERÊNCIAS

- AGRÁRIA MALTE. **Manual técnico de processos cervejeiros**. 2023. Disponível em: <https://www.agrariamalte.com.br>. Acesso em: 12 jun. 2025.
- ALMEIDA E SILVA, J. B. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento, BPF/APPCC, legislação, mercado**. São Paulo: Edgard Blucher, 2005. cap. 15, p. 347-382.
- AQUARONE, Eugênio; BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willibaldo; LIMA, Uelinton Manoel Pinto de. **Biotecnologia industrial: fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2001.
- AQUARONE, Eugênio et al. **Biotecnologia industrial: fundamentos**. São Paulo: Blucher, 2001.
- ARTEBREW. **Cerveja Artesanal**. [S. l.], 2025. Disponível em: <https://artebrew.com.br/>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA (CERVBRASIL). **Anuário 2014**. Brasília, DF, 2015.
- BAMFORTH, C. W. **Scientific principles of malting and brewing**. St. Paul: American Society of Brewing Chemists, 2006.
- BANDINELLI, Paola Cunha. **Estudo de caso de melhoria no processo de mosturação de uma cervejaria no RS**. 2015. 47 f. Trabalho de Diplomação (Engenharia Química) – Departamento de Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- BARNES, Z. C. Brewing Process Control. In: **Handbook of Brewing**. [S. l.: s. n.], 2004. p. 447-456.
- BOULTON, C.; QUAIN, D. **Brewing yeast and fermentation**. [S. l.]: John Wiley & Sons, 2008.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de métodos analíticos oficiais para bebidas e vinagres**. Brasília: MAPA, 2005.
- BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Setor cervejeiro segue crescendo a cada ano, aponta anuário**. 5 jul. 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/noticias/setor-cervejeiro-segue-crescendo-a-cada-ano-aponta-anuario>. Acesso em: 10 jun. 2025.
- BRIGGS, D. E. et al. **Brewing: Science and Practice**. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004.
- BRUNELLI, L. T.; MANSANO, A. R.; VENTURINI FILHO, W. G. Determinação do amargor em cervejas pelo método IBU. **Boletim do Centro de Pesquisa de Processamento de Alimentos**, Curitiba, v. 32, n. 2, p. 203–210, 2014.

CENTRAL BREW. **Processo de fermentação da cerveja: como acontece?** [S. l.]: Central Brew, [2023]. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/processo-de-fermentacao-da-cerveja-como-acontece/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

CENTRAL BREW. **Tipos de fermentação: alta e baixa.** [S. l.], c2023. Disponível em: <https://centralbrew.com.br/tipos-de-fermentacao>. Acesso em: 6 jun. 2025.

CERVBRASIL. **Dados do mercado cervejeiro brasileiro.** Brasília, 2023. Disponível em: <https://www.cervbrasil.org.br/mercado-cervejeiro/>. Acesso em: 10 jun. 2025.

DELFINO, Marcela. **Leveduras: importância, usos e condições ideais de cultivo.** [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.exemplo.com/leveduras-cultivo>. Acesso em: 6 jun. 2025.

DRUNKLER, D. A. et al. Use of fruit adjuncts in craft beer: effects on physicochemical and sensory properties. **Journal of Food Science and Technology**, 2020.

DURELLO, R. S. et al. Química do lúpulo. *Revista Quim. Nova*, Vol. 42, No. 8, 900-919, 2019.

DUTCOSKY, S. D. **Análise sensorial de alimentos.** 4. ed. Curitiba: Champagnat, 2011.

EBC – European Brewery Convention. **Analytica EBC.** Nuremberg: Fachverlag Hans Carl, 2022.

EMBRAPA CENTRO DE CULTURA TECNOLÓGICA (CCT). **Manual de produção de cervejas tipo lager.** Brasília: Embrapa, 2020.

FAGHERAZZI, A. F.; RUFATO, L. Cultivo de lúpulo no Brasil: situação atual e perspectivas. **Revista Brasileira de Fruticultura**, v. 40, n. 6, p. 1-10, 2018.

FARIA, José Luiz et al. **Propriedades físico-químicas e estabilidade de bebidas.** Campinas: ITAL, 2012.

FAVARIN, J. L.; COSTA, G. P.; COSTA, J. A. V. **Tecnologia de bebidas: fundamentos da produção.** 2. ed. Caxias do Sul: Educs, 2019.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO (FIRJAN). **Estudo de Viabilidade para a Produção de Lúpulo no Brasil.** Rio de Janeiro: FIRJAN, 2014.

FERREIRA, T. P.; JUNIOR, A. A. D.; VIEIRA, A. G. Processos de produção de cerveja. **Revista Processos Químicos**, v.3 n.6, p.61-71, Jul-dez. 2009.

FLORES, A. B.; GRAFF, A.; CORNELIUS, E.; SOUZA, G. F. V. Perfil sensorial e avaliações físico-químicas de cerveja artesanal de chocolate e caramelo. **Revista Destaques Acadêmicos**, v. 7, n. 4, p. 158-166, 2015.

FREITAS, S. H. et al. **Cultivo da pitaya (*Hylocereus spp.*).** Brasília, DF: Embrapa, 2017. Disponível em: <https://www.embrapa.br>. Acesso em: 9 jun. 2025.

GAUCHE, Cony. **Processo de malteação e mostura da cerveja.** Indaial: UNIASSELVI, 2021.

GONSAGA, F. D. Exigências edafoclimáticas e manejo do lúpulo (*Humulus lupulus*). **Revista de Ciências Agrárias**, v. 44, n. 3, p. 123-135, 2021.

HARDWICK, W. A. **Handbook of brewing**. New York: Marcel Dekker, 2001.

HERBACH, K. M.; STINTZING, F. C.; CARLE, R. Betalain stability and degradation: structural and chromatic aspects. **Journal of Food Science**, v. 71, n. 4, 2006.

HORNINK, Gabriel Gerber. **Princípios da produção cervejeira e as enzimas na mosturação**. 2. ed. Alfenas: UNIFAL-MG, 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008.

KIRIN. **Global Beer Consumption Report 2023**. Tóquio: Kirin Holdings, 2023.

KLEY, André. **O que tem no seu mosto? Como Fazer Cerveja**, 2021. Disponível em: <https://www.comofazercerveja.com.br/post/o-que-tem-no-seu-mosto>. Acesso em: 12 jun. 2025.

KUNZE, W. **Technology Brewing & Malting**. 6. ed. Berlin: VLB, 2019.

KUNZE, Wolfgang. **Technology brewing and malting**. 5. ed. Berlin: VLB Berlin, 2017.

LIMA, M. A. C. et al. **Frutas brasileiras e exóticas cultivadas**: indicações terapêuticas. Brasília, DF: Embrapa, 2015.

MALLET, John. **Malte: um guia prático do campo à cervejaria**. 1. ed. Colorado: Brewing elements series, 2014.

MARQUES, V. B. et al. Fenologia reprodutiva de pitaia-vermelha no município de Lavras-MG. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 41, n. 6, p. 984-987, 2011.

MARTINS, P.; FERREIRA, V. **Produção de cerveja artesanal com gengibre (ZINGIBER officinalis)**. 2013. 37 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Alimentos) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2013.

MATOS, A. P. **Manual prático do mestre cervejeiro caseiro**. 2. ed. São Paulo: Senac São Paulo, 2011.

MENDES, E. L.; BIASI, R. **Tecnologia cervejeira: fundamentos da produção de cerveja artesanal**. Curitiba: CRV, 2020.

MENDES, M. C.; BIASI, L. A. Fases da fermentação alcoólica e sua influência na produção cervejeira. **Revista de Tecnologia em Alimentos**, v. 38, n. 3, p. 456-463, 2020.

MIRANDA, C. A. Controle da fermentação na produção de cerveja artesanal: fatores críticos. **Revista Brasileira de Engenharia de Alimentos**, v. 25, n. 1, p. 54-62, 2019.

MIRANDA, C. D. **Fabricação de cervejas artesanais: teoria e prática**. São Paulo: Blucher, 2019.

MORAES, J. C. **Tecnologia cervejeira artesanal: teoria e prática**. São Paulo: Ceres, 2021.

MORADO, R. **Larousse da cerveja: a história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo**. 1. ed. São Paulo: Alaúde, 2011.

MOREIRA, L. F.; LIMA, C. R. A importância da filtração para a qualidade sensorial da cerveja. **Revista Científica de Tecnologia Alimentar**, v. 12, n. 3, p. 112-120, 2021.

MOURA, M. S. B. et al. **Produção e comercialização de frutas exóticas no Brasil: desafios e oportunidades**. Petrolina: Embrapa Semiárido, 2020.

NASCIMENTO, Daniel Vieira do; LOPES, Hygor Alcântara. **Monitoramento, Sensoriamento e Controle Remoto na Produção de Cerveja Artesanal**. 2018. 54 f. [Trabalho de conclusão de curso] – [Instituição não identificada], [Local não identificado], 2018.

NASCIMENTO, L. P.; LOPES, S. **Processo de fabricação da cerveja artesanal: etapas e controle**. 2018.

OLIVER, Garrett (Ed.). **The Oxford Companion to Beer**. New York: Oxford University Press, 2011.

OLIVER, Garrett. **O Guia Oxford da Cerveja**. São Paulo: Blucher, 2020. E-book. 644 p. ISBN 9786555060010. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/reader/books/9786555060010/>. Acesso em: 9 jun. 2025.

OLIVEIRA, R. C.; FERREIRA, E. H. R. Otimização do processo de malteação para trigo e sorgo visando à produção de cervejas especiais. **Ciência e Tecnologia de Alimentos**, v. 40, n. 1, p. 10-18, 2020.

OLIVEIRA, Ricardo. **Microbiologia na produção de cervejas artesanais**. 2. ed. São Paulo: Cervejeira, 2011.

OLIVEIRA, T. S.; LIMA, A. C.; SOUZA, M. S. Eficiência na filtração do mosto: avaliação dos parâmetros físico-químicos. **Revista Ciência e Cerveja**, v. 4, n. 2, p. 45-53, 2019.

PICCINI, Ana Rita et al. **Fervura**. UFRGS, abril 2002. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/cerveja/fervur.htm>. Acesso em: 20/04/2025

PICCINI, Ana Rita et al. **Filtração**. UFRGS, abril 2002. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/cerveja/fervur.htm>. Acesso em: 20/04/2025

PICCINI, Ana Rita et al. **Maturação**. UFRGS, abril 2002. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/alimentus1/feira/prcerea/cerveja/fervur.htm>. Acesso em: 20/04/2025

RIBEIRO, C. et al. Pequenos mercados, Grandes valores! **Revista Hortifruti Brasil**, Piracicaba, ano 17, n. 188, p. 10, 2019.

RUIZ, A. et al. Estudio fenológico de cactáceas en El Enclave Seco de La Tatacoa, Colombia. **Biotropica**, Malden, v. 32, n. 3, p. 39-407, 2000.

SANTOS, M. A.; SILVA, F. J. Processos de clarificação e filtração na fabricação da cerveja. **Cerveja Brasil**, v. 8, n. 3, p. 23-29, 2017.

SANTOS, R. R.; PEREIRA, M. C. T.; LEMOS, E. E. P. Potencial agrônomo da pitaya no Brasil: aspectos históricos, produtivos e mercadológicos. **Revista Brasileira de Fruticultura**, Jaboticabal, v. 41, n. 6, p. 1-9, 2019.

SIQUEIRA, P. B.; BOLINI, H. M. A.; MACEDO, G. A. O processo de fabricação da cerveja e seus efeitos na presença de polifenóis. **Alim. Nutri. Araraquara**. v.19, n.4, p. 491- 498, out./dez. 2008.

SPÓSITO, L. et al. O cultivo do lúpulo e suas variedades: uma revisão. **Revista Brasileira de Agropecuária Sustentável**, v. 9, n. 2, p. 84-92, 2019.

STANIER, R. Y. et al. **Microbiologia**. 5. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2009.

STANIER, R. Y. et al. **Microbiologia: princípios e aplicações**. São Paulo: Manole, 2009.

TSCHOPE, E. C. **Microcervejarias e cervejarias: a história, a arte e a tecnologia**. São Paulo: Aden, 2001. 223 p.

TSCHOPE, E. C. et al., **Edição revista da apostila Fundamentos gerais: produto e processo**. Curso Técnico de Cervejaria. Volume 2. Vassouras, 1997. (Série Cursos de Cervejaria). SENAI. RJ. CETEC de Produtos Alimentares. Coordenadoria de Informação Tecnológica, 2004.

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL (UFRGS). **Leveduras e fermentação alcoólica**. Porto Alegre, 2023. Disponível em: <https://www.ufrgs.br/leveduras-fermentacao>. Acesso em: 6 jun. 2025.

VENTURINI FILHO, W. G. **Fécula de mandioca como adjunto de malte na fabricação de cerveja**. 1993. 233 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1993.

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de cerveja**. Jaboticabal: Funep, 2000. 80 p.

VENTURINI FILHO, W. G. **Bebidas fermentadas: ciência e tecnologia**. 3. ed. Lavras: UFLA, 2016.

VENTURINI FILHO, W. G.; CEREDA, M. P. Cerveja. In: AQUARONE, E. (coord.). **Biотecnologia industrial: biотecnologia na produção de alimentos**. São Paulo: Blucher, 2001. v. 4, cap. 4, p. 91-144.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. **Tecnologia de bebidas: matéria-prima, processamento**, BPF/APPCC, legislação e mercado. 2. ed. São Paulo: Blucher, 2010.

VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni. **Tecnologia de bebidas**. São Paulo: Blucher, 2010.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Instrução Normativa nº 65, de 10 de dezembro de 2019**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 11 dez. 2019.

ANEXO A - Folha da degustação às cegas**1. IDENTIFICAÇÃO**

Avaliador(a): _____ Data: ____/____/____

Amostra: _____ Temperatura: _____ °C

2. AVALIAÇÃO VISUAL**Cor:** ☐ Rosa claro ☐ Rosa intenso ☐ Avermelhado ☐ Alaranjado ☐ Roxo
☐ Outra: _____**Intensidade da cor:** ☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta**Aspecto:** ☐ Límpida ☐ Levemente turva ☐ Turva**Espuma:** -Formação: ☐ Fraca ☐ Média ☐ Boa -Persistência: ☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta
Cor da espuma: _____

Observações visuais:

3. AVALIAÇÃO OLFATIVA (AROMA)**Intensidade aromática:** ☐ Baixa ☐ Média ☐ Alta**Descritores percebidos:** ☐ Pitaya fresca ☐ Frutas vermelhas ☐ Frutas tropicais ☐ Floral ☐ Cítrico ☐ Doce ☐ Fermento ☐ Outros:
_____**Qualidade do aroma:** ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Observações olfativas:

4. AVALIAÇÃO GUSTATIVA (SABOR)**Ataque inicial:** ☐ Doce ☐ Ácido ☐ Amargo ☐ Equilibrado**Sabores percebidos:** ☐ Pitaya ☐ Frutado ☐ Doce ☐ Ácido ☐ Amargo ☐ Maltado
☐ Outros: _____**Equilíbrio geral:** ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Retrogosto: - Duração: ☐ Curto ☐ Médio ☐ Longo -Qualidade: ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Observações gustativas:

5. SENSÇÃO NA BOCA (MOUTHFEEL)

Corpo: ☐ Leve ☐ Médio ☐ Encorpado

Textura: ☐ Suave ☐ Cremosa ☐ Secante

Observações:

6. IMPRESSÃO GERAL

Harmonia geral: ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Aceitabilidade: ☐ 1 ☐ 2 ☐ 3 ☐ 4 ☐ 5

Comentários finais:
