INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TRIÂNGULO MINEIRO – *CAMPUS* UBERABA MESTRADO PROFISSIONAL EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA EM ALIMENTOS

ANA JÚLIA GANDRA ROCHA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM CERVEJA TIPO PILSEN AROMATIZADA COM ÓLEO ESSENCIAL DE CASCA DE LARANJA-PÊRA "*CITRUS SINENSIS L. OSBECK*"

Uberaba- MG

2025

ANA JÚLIA GANDRA ROCHA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM CERVEJA TIPO PILSEN AROMATIZADA COM ÓLEO ESSENCIAL DE CASCA DE LARANJA-PÊRA "*CITRUS SINENSIS L. OSBECK"*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Linha de Pesquisa: Tecnologia de Processos e Novos Produtos Alimentícios

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Ferreira Tomé

Uberaba- MG
2025

Ficha Catalográfica elaborada pelo Setor de Referência do IFTM – *Campus* Uberaba-MG

Rocha, Ana Júlia Gandra
R582a Avaliação da qualidade em cerveja tipo pilsen aromatizada com óleo de cascas de laranja-pêra " *Citrus sinensis l. osbeck"* Ana Júlia Gandra Rocha – 2025.
58 f.: il.

Orientador: Prof. Dr. Pedro Henrique Ferreira Tomé.
Dissertação (Mestrado Profissional em Ciência e Tecnologia de Alimentos) - Instituto Federal do Triângulo Mineiro- *Campus* Uberaba- MG, 2025.

1. Cerveja artesanal. 2. Óleo essencial. 3. Análises físico-químicas. I. Tomé, Pedro Henrique Ferreira. II. Título.

CDD 663.1

ANA JÚLIA GANDRA ROCHA

AVALIAÇÃO DA QUALIDADE EM CERVEJA TIPO PILSEN AROMATIZADA COM ÓLEO ESSENCIAL DE CASCA DE LARANJA-PÊRA "*CITRUS SINENSIS L. OSBECK"*

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia de Alimentos, do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro - Campus Uberaba, como requisito para a obtenção do Título de Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos.

Uberaba, 21 de agosto de 2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Pedro Henrique Ferreira Tomé

(IFTM- Orientador)

Profa. Dra. Elaine Alves dos Santos

(IFTM – Membro Interno)

Prof. Dr. Marcos Antônio Lopes

(IFTM – Membro Externo)

MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
SECRETARIA DE EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA
INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TRIÂNGULO MINEIRO

ANA JÚLIA GANDRA ROCHA

"Desenvolvimento e avaliação de cerveja tipo Ale aromatizada com óleo essencial de "Casca de Laranja-Pêra" *Citrus sinensis L. Osbeck*"

FOLHA DE APROVAÇÃO – DEFESA DE DISSERTAÇÃO

Data da aprovação: 21/08/2025

MEMBROS COMPONENTES DA BANCA EXAMINADORA:

Presidente e Orientador(a):	**Prof. Dr. Pedro Henrique Ferreira Tomé** IFTM - Campus Uberlândia
Membro Titular	**Profª. Drª. Elaine Alves dos Santos** IFTM - Campus Uberlândia
Membro Titular	**Prof. Dr. Marcos Antônio Lopes** IFTM - Campus Uberlândia

Local: Google Meet

PEDRO HENRIQUE FERREIRA TOMÉ
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO

Documento assinado eletronicamente por PEDRO HENRIQUE FERREIRA TOMÉ, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 21/08/2025, às 22:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

ELAINE ALVES DOS SANTOS
DOCENTE PERMANENTE - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

Documento assinado eletronicamente por ELAINE ALVES DOS SANTOS, DOCENTE PERMANENTE - PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS, em 21/08/2025, às 22:04, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

MARCOS ANTONIO LOPES
PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO

Documento assinado eletronicamente por MARCOS ANTONIO LOPES, PROFESSOR DO ENSINO BÁSICO, TÉCNICO E TECNOLÓGICO, em 21/08/2025, às 22:05, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 4º, § 3º, do Decreto nº 10.543, de 13 de novembro de 2020.

A autenticidade deste documento pode ser conferida no site https://iftm.edu.br/autenticacao/ informando o código verificador **C38A7B7** e o código CRC **A3C810B8**.

Referência: NUP: 23200.010513/2025-34 DOCS nº 0000751810

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de agradecer a Deus e a Nossa Senhora Aparecida por terem me guiado até aqui. Sem essa força divina, nada disso seria possível.

Ao meu orientador, Dr. Pedro, que sempre esteve solícito para ajudar, solucionar e compreender. Nunca conheci um ser humano com tamanha competência e inteligência. Você é brilhante, e é um privilégio assistir às suas aulas. Muito obrigada pela orientação e inspiração.

Ao IFTM – Campus Uberaba e Campus Uberlândia, minha eterna gratidão por toda a estrutura e suporte que possibilitaram a realização deste trabalho.

À minha companheira de mestrado, Karla, que desde as aulas teóricas nunca soltou minha mão, nem nos momentos mais difíceis. Obrigada também à sua família, que me acolheu tão bem.

Aos meus amigos, que sempre perguntavam quando poderiam degustar a cerveja, me dando ânimo e incentivo para seguir firme até o fim.

A todos que, de forma direta ou indireta, desacreditaram de mim ou questionaram a importância deste mestrado: a resposta está aqui. Parte da minha força e motivação veio também de vocês. Hoje sou Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos, e posso dizer que valeu muito a pena.

Aos meus pais, José Valter e Edlene, que nunca desanimaram e sempre me motivaram a continuar. Essa conquista é por vocês.

Ao meu irmão, que sempre esteve ao meu lado, mesmo com seu jeito reservado, mas sempre apoiando e me aconselhando, minha gratidão irmão .

E, por fim, a todos que não mencionei nominalmente, saibam que cada gesto de apoio e incentivo contribuiu para que este trabalho se concretizasse.

Os meus sinceros agradecimentos

RESUMO

A cerveja Pilsen, também conhecida como Pilsner, foi um estilo de cerveja lager originado na cidade de Plzeň, na República Tcheca, em 1842. Caracterizou-se por sua coloração dourada a amarela pálida, clareza cristalina e perfil de sabor equilibrado entre o malte e o lúpulo. A Pilsen era tradicionalmente produzida com ingredientes de alta qualidade, como a água da região de Plzeň, malte de cevada, lúpulo Saaz e levedura lager. Seu aroma era suave e maltado, com amargor refrescante e final seco. Tornou-se um estilo amplamente consumido em todo o mundo, sendo apreciado por sua refrescância e facilidade de consumo. Foi considerada uma opção popular entre iniciantes no universo das cervejas artesanais devido à sua acessibilidade e sabor equilibrado. A cerveja artesanal com óleo essencial representou uma inovação na indústria cervejeira, ao combinar a tradição da fabricação com o uso de óleos essenciais naturais para criar sabores e aromas diferenciados. Esse processo envolveu a adição controlada de óleos essenciais provenientes de plantas, flores, frutas ou ervas durante a produção, resultando em uma ampla variedade de perfis sensoriais. Este estudo foi conduzido no Instituto Federal do Triângulo Mineiro – Campus Uberlândia. A produção da cerveja foi realizada nas etapas de moagem do malte, mosturação, filtração/clarificação, fervura, fermentação, envase e carbonatação. Foram realizadas análises físico-químicas de acidez, pH, ºBrix, cor e densidade, seguindo, em sua maioria, os métodos descritos pelo Instituto Adolfo Lutz. Posteriormente, os dados foram submetidos ao teste de Tukey para análise estatística. Com base nos resultados obtidos, este trabalho contribuiu para o avanço do conhecimento sobre a produção de cervejas artesanais aromatizadas com óleo essencial, fornecendo subsídios tanto práticos quanto teóricos. A pesquisa evidenciou a viabilidade do uso de óleos essenciais como aditivos sensoriais na cerveja, embora tenha ressaltado a necessidade de ajustes nas concentrações utilizadas para alcançar maior equilíbrio entre aroma, sabor e aceitabilidade sensorial. Além disso, considerando a escassez de estudos voltados a essa temática, este trabalho serviu de base para investigações futuras que busquem aprofundar a análise dos efeitos físico-químicos e sensoriais da incorporação de óleos essenciais na produção cervejeira Concluiu-se, portanto, que a integração de óleos essenciais na formulação de cervejas artesanais é uma alternativa promissora para a diversificação de produtos e ampliação de perfis sensoriais, desde que haja controle rigoroso de dosagens e avaliação detalhada de seu impacto sensorial e físico-químico.

Palavras-chave: cerveja artesanal; óleo essencial; análises físico-químicas.

ABSTRACT

Pilsen beer, also known as Pilsner, is a lager-style beer that originated in the city of Plzeň, Czech Republic, in 1842. It is characterized by its golden to pale-yellow color, crystal-clear appearance, and a balanced flavor profile between malt and hops. Traditionally, Pilsen beer was produced with high-quality ingredients such as the water from the Plzeň region, barley malt, Saaz hops, and lager yeast. Its aroma is soft and malty, with a refreshing bitterness and a dry finish. It has become a globally consumed style, appreciated for its refreshing qualities and ease of drinking, and is often considered a popular choice among beginners in the craft beer world due to its accessibility and balanced flavor.Craft beer brewed with essential oils represents an innovation in the brewing industry, combining traditional production methods with the use of natural essential oils to create distinctive flavors and aromas. This process involves the controlled addition of essential oils derived from plants, flowers, fruits, or herbs during production, resulting in a wide range of sensory profiles. This study was conducted at the Federal Institute of the Triângulo Mineiro – Uberlândia Campus. The beer production process included malt milling, mashing, filtration/clarification, boiling, fermentation, bottling, and carbonation. Physicochemical analyses were performed to determine acidity, pH, °Brix, color, and density, following, for the most part, the methods described by the Adolfo Lutz Institute. The data were subsequently subjected to Tukey's test for statistical analysis. Based on the results obtained, this work contributed to the advancement of knowledge regarding the production of craft beers flavored with essential oils, providing both practical and theoretical insights. The research demonstrated the feasibility of using essential oils as sensory additives in beer, while emphasizing the need to adjust concentrations to achieve better balance among aroma, flavor, and sensory acceptability. Furthermore, given the scarcity of studies focused on this topic, this research serves as a foundation for future investigations aiming to deepen the understanding of the physicochemical and sensory effects of essential oil incorporation in beer production. It is therefore concluded that the integration of essential oils into the formulation of craft beers is a promising alternative for product diversification and enhancement of sensory profiles, provided that dosage control and detailed evaluation of sensory and physicochemical impacts are rigorously applied.

Keywords: craft beer; essential oil; physicochemical analyses.

LISTA DE FIGURA

Figura 1- Fluxograma da produção da cerveja..... 29

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Teores médios de extrato secos em cerveja tipo pilsen aromatizada com óleo essencial de casca de laranja-pêra “*Citrus sinensis l. osbeck*"..... 40
Tabela 2- Média do teor alcoólico 41
Tabela 3- Média do grau sacarométrico..... 43
Tabela 4- Grau de fermentação 44
Tabela 5- Teores médios de acidez total, volátil e fixa em cerveja tipo pilsen aromatizada com óleo essencial de casca de laranja-pêra “*Citrus sinensis l. osbeck*"..... 45
Tabela 6- Médias do ph..... 47
Tabela 7- Médias de índice de cor 48
Tabela 8- Médias de compostos fenólicos 50

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ALES	Alta Fermentação
AOAC	Association of Official Analytical Chemists
ASBC	American Society of Brewing Chemists)
CF	Compostos fenólicos
EAT	Equivalentes De Ácido Tânico
EBC	European Brewing Convention
IAL	Instituto Adolfo Lutz
IFTM	Instituto Federal do Triângulo Mineiro
IPAs	Índia Pale Ales
LAGERS	Baixa Fermentação
SRM	Standard Reference Method

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
2 REVISÃO DE LITERATURA 18
2.1 Origem 18
2.2 Matéria-prima 18
2.2.1 Malte de cevada 19
2.2.3 Maltagem 19
2.2.3 Água 20
2.2.4 Lúpulo 21
2.2.5 Levedo 21
2.2.6 Óleo essencial de casca de laranja 22
2.3 Operações básicas para a produção de cerveja 23
2.3.1 Moagem do malte 23
2.3.2 Mosturação 24
2.3.3 Filtração- clarificação 25
2.3.4 Fevura e adiação do lúpulo 26
2.3.5 Resfriamento do mosto 26
2.3.6 Fermentação 26
2.3.7 Maturação 26
2.3.8 Carbonatação e envase 27
3 METODOLOGIA 28
3.1 Materiais 28
3.2 Métodos 28
3.3 Descrição das etapas do processo 29
3.3.1 Moagem do malte 29
3.3.2 Mosturação 29
3.3.3 Filtração 29
3.3.4 Fervura 30
3.3.5 Resfriamento 30
3.3.6 Fermentação 30
3.3.7 Fermentação secundária ou maturação 31
3.3.8 Adição do óleo essencial da casca da laranja-pêra 31

3.3.9 Envase 31
4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS 32
4.1 Determinação do ph 32
4.2 Determinção de "Brix 32
4.3 Determinção de cor 32
4.4 Teor de ácool 32
4.5 Determinação extrato seco 33
4.6 Determinção índice de cor 34
4.7 Determinção de compostos fenólicos 34
4.8 Determinação grau sacaromético 35
4.9 Análise de coloração 35
4.10 Determinação acidez total 35
4.11 Acidez volátil 36
4.12 Acidez fixa 36
4.13 Cor 36
4.14 DPPH 37
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO 38
5.1 Extrato seco 38
5.2 Teor alcoólico 40
5.3 Grau sacarométrico 42
5.4 Grau de fermentação 43
5.5 Acidez total, volátil e fixa 44
5.6 ph 46
5.7 índice de cor, cor EBC e SRM 47
5.8 Compostos fenólicos 48
6 CONCLUSÃO 51
7 CONSIDERAÇÕES FINAIS 52
REFERÊNCIAS 53
APÊNDICE A- ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA) 57
APÊNDICE B- ANOVA, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) E MÉDIA GERAL ... 58

1 INTRODUÇÃO

A cerveja tem sido a bebida mais consumida no mundo todo desde os tempos mais remotos. Data de 4 a 8 mil anos antes de Cristo o surgimento das primeiras cervejas. Apesar de a cerveja ser a bebida alcoólica mais consumida no país, pouco se conhece sobre seus benefícios dos seus componentes. Essas propriedades são devido ao elevado teor de compostos antioxidantes, fibras, minerais e vitaminas (Bamforth, 2009). Segundo Morado (2009) até os períodos das navegações, antes do século XIX, a bebida fermentada a partir de cereais era fonte básica da dieta da humanidade, assim como o pão e o leite. Há evidências de que a prática da cervejaria se originou na região da Mesopotâmia onde a cevada cresce em estado selvagem.

Os primeiros registros de fabricação de cerveja têm aproximadamente 6 mil anos e remetem aos Sumérios, povo mesopotâmico. A primeira cerveja produzida foi, provavelmente, um acidente. Documentos históricos mostram que em 2100 a.C. os sumérios alegravam-se com uma bebida fermentada, obtida de cereais. Muitas cervejas foram feitas em mosteiros, demonstrando uma forte ligação da bebida com a religião; os monges a consumiam durante os períodos de jejum religioso na crença de que a cerveja não quebrava o jejum, apenas o vinho, o qual era considerado sagrado e não podia ser consumido (Santos; Dinham, 2006).

Os egípcios pagavam aos trabalhadores que construíram as grandes pirâmides com doses diárias de cerveja, porém, as cervejas eram feitas de uma forma diferente, tendo seu teor alcoólico mais brando do que as produzidas atualmente. Naquela época, a cerveja era vista como algo místico. A fermentação era espontânea, e os mesmos não possuíam conhecimentos microbiológicos sobre a ação dos microrganismos e leveduras. Por esse motivo, os pães e as cervejas eram vistos como algo mágico, gerado pelos deuses.

A história da cerveja é relativamente recente se for levado em consideração que o processo de produção da bebida depende de processos mecanizados. Surgiu de fato na Revolução Industrial, por volta do ano de 1760. Mas a fermentação de cereais como malte, lúpulo, é muito mais antiga que os primórdios da humanidade

A crescente diversificação no mundo das cervejas vem se destacando dia após dia. O número de cervejarias artesanais tem mostrado relativa aparição no mercado de bebidas. Variam desde o sabor, do mais tradicional ao mais exótico. Além disso,

as cervejas artesanais possuem maior valor agregado, fazendo com que se tornem ainda mais valorizadas e de uma qualidade superior, uma vez que se produzidas em pequenas escalas, possibilita-se a maior diversificação e oferta ao consumidor, onde pode-se observar a qualidade da matéria-prima com maior destreza. No século XXI, a cultura cervejeira apresentou um grande crescimento e desenvolvimento tecnológico, o renascimento da produção caseira de cerveja e a nova geração de microcervejarias por todo o mundo, trazendo inovações aos consumidores por meio da oferta de produtos de qualidade e diversificados (Morado, 2009).

A cerveja é uma das bebidas mais antigas e apreciadas em todo o mundo, com uma rica diversidade de sabores, estilos e tradições de produção. No entanto, a busca por inovação e a criação de experiências sensoriais únicas levaram os cervejeiros a explorar novas abordagens na fabricação de cerveja. Uma dessas abordagens é a incorporação de óleos essenciais naturais à cerveja, o que tem gerado crescente interesse na comunidade cervejeira.

A cerveja é uma das bebidas mais antigas e populares da humanidade, ficando atrás apenas do café, chá e leite em consumo. Ela é produzida a partir da fermentação do mosto, utilizando a levedura Saccharomyces, e recebe a adição de lúpulo para conferir sabor e aroma. O processo de fabricação envolve várias etapas fundamentais, como a sanitização dos materiais, a moagem do malte, a mosturação, a filtração, a fervura e o tratamento do mosto, seguidos pela fermentação, maturação, carbonatação e envase. A execução adequada de cada uma dessas etapas é essencial para garantir uma cerveja de qualidade (Silva, 2005).

O surgimento da cerveja remonta às antigas civilizações, sendo uma das bebidas mais antigas produzidas pela humanidade. Evidências arqueológicas indicam que a cerveja já era consumida por volta de 4.000 a.C., na Mesopotâmia, onde os sumérios a produziam a partir da fermentação de cereais. Essa tradição foi registrada em escritos como o Hino a Ninkasi, a deusa suméria da cerveja, que detalha o processo de produção.

Com o passar dos séculos, o conhecimento sobre a fabricação de cerveja se espalhou por diversas culturas, sendo aprimorado na Europa durante a Idade Média, especialmente com a introdução do lúpulo como ingrediente. Esse avanço foi essencial para a preservação e padronização do sabor da bebida (Garshol, 2020).

A disseminação da cerveja no Brasil começou no século XIX, impulsionada pela chegada de imigrantes europeus, especialmente alemães, que trouxeram consigo a

tradição cervejeira. A primeira cervejaria registrada no país foi a Cervejaria Bohemia, fundada em 1853 na cidade de Petrópolis, Rio de Janeiro. Durante esse período, a bebida ganhou popularidade entre as elites urbanas, sendo consumida inicialmente em bares e estabelecimentos especializados. No início do século XX, o crescimento industrial e a urbanização do Brasil contribuíram para a expansão do mercado cervejeiro. Grandes cervejarias foram fundadas, como a Brahma e a Antarctica, que consolidaram a bebida como um elemento cultural e social do país. Atualmente, além das grandes indústrias, o Brasil conta com um movimento expressivo de cervejarias artesanais, que reforçam a diversidade e a qualidade do produto (Silva; Loyola Júnior, 2022).

O processo de produção da cerveja é uma combinação de arte e ciência, que transforma ingredientes básicos em uma das bebidas mais apreciadas mundialmente. A fabricação envolve etapas meticulosamente planejadas, como a moagem do malte, a mosturação, a filtração do mosto, a fervura com lúpulo, a fermentação, a maturação, a carbonatação e o envase. Cada fase desempenha um papel crucial na definição do sabor, aroma e qualidade final da cerveja.

Essa produção utiliza principalmente quatro ingredientes: água, malte, lúpulo e levedura. A levedura é responsável pela fermentação, convertendo os açúcares do malte em álcool e dióxido de carbono. O lúpulo, por sua vez, agrega amargor, aroma e atua como conservante natural (Briggs *et al*., 2004).

As análises realizadas durante a fabricação da cerveja são essenciais tanto para o controle do processo quanto para a avaliação do produto final. Durante a produção, o teste do iodo é indispensável para verificar a conversão completa do amido em açúcares fermentáveis. Nesse teste, a presença de maltose resulta em uma coloração azul-escura. Após a etapa de maturação, a determinação do teor alcoólico é crucial para medir com precisão a porcentagem de álcool na amostra.

Outro ponto relevante é o monitoramento do diacetil, um subproduto gerado pelas leveduras que pode causar um sabor indesejado de manteiga, conhecido como off- flavor, comprometendo a qualidade sensorial da cerveja. Além disso, análises de densidade, pH, cor, turbidez e a contagem de células de levedura são fundamentais para assegurar a qualidade do produto e verificar a viabilidade do fermento para reutilização em lotes futuros Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008).

Os óleos essenciais são extratos altamente concentrados de compostos aromáticos extraídos de plantas, frutas, ervas e especiarias. Eles têm sido usados por

séculos na culinária e na medicina tradicional devido aos seus aromas intensos e propriedades terapêuticas. Recentemente, os cervejeiros têm aproveitado esses óleos para adicionar novos sabores e aromas às suas cervejas, criando uma categoria emocionante e dinâmica de cervejas com óleo essencial.

Nesta exploração, investigaremos os benefícios, técnicas e desafios envolvidos na produção de cerveja com óleo essencial. Veremos como os óleos essenciais podem ser usados para ampliar a paleta de sabores da cerveja, bem como os cuidados necessários para garantir a qualidade e a segurança do produto final. Além disso, discutiremos a crescente popularidade dessas cervejas entre os consumidores que buscam experiências gustativas únicas e autênticas.

Portanto a presente pesuisa elencou como objetivo geral a produção e caracterização de cerveja artesanal tipo Pilsen com adição de óleo essencial de casca de laranja-pêra. Sendo os objetivos específicos: avaliar as caracteristicas química e fisico quimicas nas cervejas com adição de oleo essencial, avaliar o teor alcoólico.

.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Origem

Acredita-se que a produção e consumo dessa bebida tenham surgido de forma acidental, a partir da fermentação natural de grãos armazenados em condições úmidas por volta de 4.000 a.C., na região da Mesopotâmia (Hornsey, 2003).

Os sumérios são frequentemente mencionados como os primeiros produtores conhecidos de cerveja, sendo o "Hino a Ninkasi" uma das evidências mais significativas desse conhecimento, detalhando o processo de fabricação e destacando a importância simbólica e social da bebida. Além disso, registros babilônicos e egípcios mostram que a cerveja era amplamente consumida e integrada em práticas religiosas e alimentares (Arnold, 2005).

No entanto, persistem debates sobre a verdadeira origem da cerveja, considerando que processos semelhantes ocorreram em diferentes regiões do mundo, como na China, onde resquícios de bebidas fermentadas datam de 7.000 a.C. (McGovern, 2009). Isso sugere que o desenvolvimento da cerveja pode ter ocorrido de forma independente em várias culturas, ligando sua origem às práticas agrícolas iniciais.

A literatura moderna também explora como a cerveja evoluiu de um produto artesanal e local para um item industrializado e globalizado, destacando sua importância histórica e sociocultural em diferentes contextos.

2.2 Matéria-prima

Morado (2009) explica que, para uma bebida ser considerada cerveja, ela deve conter pelo menos 20% de malte de cevada, mesmo que todas sejam feitas pela fermentação de açúcares, grãos ou cereais. Por exemplo, o mel fermentado é chamado de hidromel; O suco de maçã ou pêra fermentado é conhecido como sidra; o suco de uva fermentado dá origem ao vinho; e a fermentação do arroz resulta no saquê japonês e no jiu chinês.

2.2.1 Malte de cevada

O malte de cevada é obtido a partir da germinação controlada dos grãos de cevada, processo que ativa enzimas responsáveis pela conversão de amido em açúcares fermentáveis, essenciais para a fermentação (Briggs *et al*., 2004).

A escolha da cevada como matéria-prima é atribuída à sua composição química favorável, que inclui altos níveis de amido, um balanço adequado de proteínas e uma casca resistente, que facilita a filtração durante a produção da cerveja. Além disso, o processo de malteação permite a formação de compostos que influenciam diretamente o sabor, aroma, cor e estabilidade da bebida (Kunze, 2004).

Estudos também ressaltam a importância do terroir na qualidade do malte de cevada, indicando que fatores como clima, tipo de solo e métodos de cultivo impactam diretamente o perfil do grão. Esse aspecto tem sido amplamente explorado na indústria cervejeira para criar produtos com características regionais distintas (EBC, 2010).

Por outro lado, alternativas ao malte de cevada têm sido objeto de pesquisa, como o uso de outros cereais maltados (trigo, milho e sorgo) para atender demandas específicas, como cervejas sem glúten. No entanto, essas alternativas enfrentam desafios relacionados à eficiência de fermentação e ao perfil sensorial em comparação com o malte de cevada (Stewart, 2016).

2.2.3 Maltagem

Trata-se de uma técnica que transforma os grãos de cevada (ou outros cereais) em malte por meio de um processo controlado que envolve três etapas principais: imersão, germinação e secagem.

Durante a imersão, os grãos absorvem água, iniciando o processo de germinação. Na etapa de germinação, enzimas são ativadas para converter os amidos do grão em açúcares fermentáveis e modificar a matriz proteica, tornando o amido acessível para fermentação. Por fim, na secagem (ou torrefação), o processo de germinação é interrompido, e o perfil final do malte é definido, incluindo características como cor e aroma (Briggs *et a*l., 2004).

A literatura destaca a influência do controle das condições de maltagem, como temperatura, umidade e tempo, na qualidade do malte produzido. Variações nesses

parâmetros podem resultar em diferentes perfis sensoriais, atendendo às demandas específicas de estilos de cerveja e destilados (Kunze, 2004).

Além disso, o processo de torrefação pode ser ajustado para produzir maltes especiais, como malte caramelizado ou torrado, que contribuem para sabores e aromas únicos. Pesquisas recentes exploram também a utilização de cereais alternativos, como sorgo e trigo, para a produção de maltes sem glúten, atendendo a consumidores com restrições alimentares (Stewart, 2016).

Outra linha de discussão aborda a sustentabilidade no processo de maltagem, com foco em práticas que reduzam o consumo de água e energia, bem como a reutilização de subprodutos, como resíduos de grãos, na alimentação animal ou na geração de energia (EBC, 2010).

2.2.3 Água

Historicamente, a qualidade da água foi um fator determinante para o surgimento de estilos clássicos de cerveja. Por exemplo, as águas ricas em sulfatos de Burton-on-Trent contribuíram para o desenvolvimento das India Pale Ales (IPAs), enquanto as águas mais macias de Pilsen, com baixo teor de minerais, favoreceram a produção das Pilsners (Briggs *et al*., 2004).

A literatura destaca que parâmetros como dureza, pH, teor de cálcio, magnésio, bicarbonato e sulfatos são críticos para o sucesso da produção. Esses componentes não apenas influenciam a eficiência enzimática durante a mosturação, mas também afetam características sensoriais, como o amargor e o corpo da cerveja (Kunze, 2004).

Nos dias atuais, muitas cervejarias utilizam técnicas de tratamento de água, como osmose reversa, adição de sais minerais e ajuste de pH, para criar perfis de água específicos que atendam aos estilos desejados. Essas práticas permitem maior flexibilidade e controle, independentemente da fonte de água local (Bamforth, 2009).

Além disso, a sustentabilidade no uso da água tem ganhado destaque, considerando que a indústria cervejeira é uma das maiores consumidoras de água. Estudos recentes apontam a necessidade de reduzir o consumo e otimizar os processos de reaproveitamento, tanto para fins econômicos quanto ambientais (EBC, 2018).

2.2.4 Lúpulo

As resinas presentes no lúpulo, especialmente os alfa-ácidos, são os compostos responsáveis pelo amargor da cerveja. Durante o processo de fervura do mosto, os alfa-ácidos sofrem isomerização, formando iso-alfa-ácidos que determinam o nível de amargor da bebida. Além disso, os óleos essenciais, como mirceno, humuleno e cariofileno, são os principais responsáveis pelos aromas florais, cítricos, herbais ou resinosos característicos de determinados estilos de cerveja (Briggs *et al*., 2004).

A quantidade e o momento da adição do lúpulo no processo de fabricação afetam diretamente o equilíbrio entre amargor e aroma. Adições iniciais durante a fervura tendem a intensificar o amargor, enquanto adições tardias ou em técnicas como dry hopping priorizam os aromas voláteis, criando perfis complexos e intensos (Kunze, 2004).

O lúpulo também possui propriedades antimicrobianas, ajudando a inibir o crescimento de bactérias indesejadas, o que contribui para a preservação da cerveja. Essa propriedade foi uma das razões históricas para sua introdução no processo de fabricação durante a Idade Média, quando os monges começaram a utilizá-lo para aumentar a durabilidade das bebidas (Bamforth, 2009).

Estudos recentes investigam o cultivo sustentável de lúpulo e a extração de compostos específicos para atender às demandas da indústria, com foco em eficiência e redução de resíduos. Além disso, o desenvolvimento de variedades híbridas de lúpulo tem permitido maior diversidade de aromas e sabores, impulsionando a criatividade na criação de novos estilos de cerveja (Neve, 1991).

2.2.5 Levedo

As leveduras mais comumente utilizadas na cervejaria pertencem aos gêneros Saccharomyces. Dois grupos principais são amplamente empregados:

a) **Saccharomyces cerevisiae** (levedura de alta fermentação): Utilizada em cervejas do tipo ale, fermentada em temperaturas mais altas (15°C a 25°C) e produz ésteres e fenois que conferem notas frutadas e

especiarias.

b) **Saccharomyces pastorianus** (levedura de baixa fermentação): Predominante em cervejas do tipo lager, fermentam em temperaturas mais baixas (8°C a 14°C), gerando sabores mais limpos e sutis (Kunze, 2004).

Além disso, leveduras selvagens, como as do gênero Brettanomyces, são utilizadas em estilos especiais, como lambics, conferindo características únicas de acidez e complexidade aromática (Bamforth, 2009).

O desempenho da levedura durante a fermentação afeta diretamente a qualidade final da cerveja. Parâmetros como viabilidade, vitalidade, temperatura e oxigenação do mosto são críticos para garantir uma fermentação eficiente. A formação de compostos secundários, como ésteres, álcoois superiores e ácidos orgânicos, contribui para o perfil sensorial desejado, mas o excesso de alguns desses compostos pode gerar off-flavors indesejados (Briggs *et a*l., 2004).

2.2.6 Óleo essencial de casca de laranja

O óleo essencial de laranja é composto principalmente por limoneno, um monoterpeno que confere o aroma característico de cítrico e frescor. Outros compostos, como o linalol, terpineol e ocimeno, também estão presentes, adicionando nuances florais e herbais que complementam o perfil cítrico (Huang; Ou; Prior, 2005). Esses compostos voláteis são altamente aromáticos e contribuem para o complexo espectro de sabores e aromas que a bebida pode oferecer.

O uso de óleos essenciais na produção de cerveja, incluindo o óleo essencial de laranja, ocorre geralmente por meio da adição durante o processo de fervura ou como dry hopping na fermentação. No entanto, o óleo essencial de laranja é mais frequentemente adicionado após a fermentação para preservar suas propriedades aromáticas voláteis. Adições tardias são preferidas, pois ajudam a evitar que os compostos aromáticos se volatilizam durante a fervura, garantindo que os aromas.frescos e cítricos prevaleçam no produto final (Kunze, 2004).

Além de adicionar um toque cítrico e refrescante, o óleo essencial de laranja também pode interagir com outros ingredientes da cerveja, como o lúpulo e as especiarias, criando combinações únicas de aromas e sabores. Cervejas do estilo

wheat beer, IPA e citrus pale ale são algumas das mais comuns a utilizar este ingrediente para realçar a frescura e a leveza da bebida (Bamforth, 2009).

A adição de óleo essencial de laranja não só enriquece o sabor e aroma, mas também oferece benefícios funcionais, como propriedades antioxidantes e antimicrobianas. Estudos têm mostrado que o óleo essencial de laranja, devido ao seu conteúdo de limoneno e outros compostos fenólicos, pode atuar como conservante natural, ajudando a inibir o crescimento de microrganismos patogênicos e prolongando a vida útil da cerveja (Espina *et al*., 2011).

No entanto, a utilização de óleos essenciais requer cuidados específicos quanto à dosagem e à qualidade do produto. O excesso de óleo essencial de laranja pode resultar em um desequilíbrio de aromas, sobrepondo outros sabores e tornando o perfil sensorial excessivamente cítrico ou artificial. Por isso, a dosagem deve ser feita com precisão, respeitando os parâmetros sensoriais de cada estilo de cerveja (Bamforth, 2009).

2.3 Operações básicas para a produção de cerveja

O processo de produção da cerveja é dividido em três etapas principais: produção do mosto, processo fermentativo, pós tratamento. Na produção do mosto ocorre moagem e mosturação do malte, filtração do mosto, fervura e clarificação. A fermentação envolve o processo fermentativo e a maturação. No pós-tratamento filtração, carbonatação, modificação de aroma e sabor, padronização de cor e pasteurização (Reitenbach, 2010).

2.3.1 Moagem do malte

A moagem do malte é o processo de trituração dos grãos de cevada maltados, visando quebrá-los em partículas menores para liberar os amidos que serão convertidos em açúcares fermentáveis. A moagem deve ser feita de maneira cuidadosa, garantindo que as cascas dos grãos sejam preservadas para facilitar a filtração do mosto mais tarde. A moagem excessiva pode resultar em um mosto turvo e difícil de filtrar, enquanto uma moagem insuficiente pode prejudicar a eficiência da extração de açúcares (Kunze, 2004).

2.3.2 Mosturação

A mosturação é a etapa em que o malte moído é misturado com água quente para iniciar a conversão dos amidos em açúcares fermentáveis. Esse processo ocorre em temperaturas controladas, geralmente entre 62°C e 72°C, dependendo do estilo de cerveja desejado. Durante a mosturação, enzimas como a amilase quebram os amidos, produzindo açúcares simples como glicose e maltose, que serão fermentados pela levedura posteriormente. O controle rigoroso de temperatura e pH é crucial para uma conversão eficiente (Bamforth, 2009). Não existe uma receita universal para as rampas de temperatura. Cada cervejaria desenvolve e aprimora suas receitas de acordo com o resultado pretendido. Contudo, alguns conceitos permeiam suas escolhas:

2.3.2.1 Ativação enzimática (entre 40 °C e 45 °C)

Neste estágio, os grãos de amido começam a se solubilizar e as enzimas do malte começam a se dissolver. Algumas dessas enzimas, como as beta-glucanases e outras celulases, têm um papel nessa faixa de temperatura, o que beneficiará a futura solubilização do amido. (Morado, 2009).

2.3.2.2 Repouso proteolítico (entre 50 °C e 55 °C)

Esta é a etapa em que algumas proteínas do malte são quebradas para formar proteínas menores (peptídeos) e até aminoácidos. Dentro desta faixa de temperatura, a espuma e o brilho da cerveja podem ser ajustados. Como os grânulos de amido são inicialmente encapsulados em uma malha contendo proteínas, a ação de enzimas proteolíticas pode favorecer a exposição do amido ao ataque de enzimas sacarificantes. (Morado, 2009).

2.3.2.3 Repousos de sacarificação (entre 60 °C e 72 °C)

Existem dois tipos principais de enzimas nesta etapa. São a alfa-amilase e a beta-amilase. Cada uma delas atua de modo diferente na estrutura do amido e tem temperaturas ótimas situadas em pontos diferentes. Regulando a atuação dessas

duas enzimas, o cervejeiro consegue determinar o corpo da cerveja (Morado, 2009).

2.3.2.4 Inativação enzimática (entre 76 °C e 78 °C)

Após o trabalho das enzimas de sacarificação, sua atividade deve ser interrompida para estabilizar os resultados desejados e evitar que continuem a funcionar durante o processo de filtração do suco de uva. A esta temperatura, a enzima muda, perde suas propriedades originais e torna-se inativa (Morado, 2009).

2.3.3 Filtração- clarificação

Consiste em separar o mosto líquido do bagaço de malte. Existem duas formas básicas de se fazer isso: em filtro de placas, mais utilizado em grandes cervejarias, e em tina de clarificação (ou tina-filtro), utilizada em cervejarias de menor porte, por ser mais versátil. A filtração do mosto em filtro de placas utiliza câmaras verticais formadas por placas intercaladas com telas de material plástico termo resistente, com malha bastante fina, permitindo excelente rendimento, embora com menor flexibilidade de produção do que a maioria das tinas de clarificação. A filtração em tina de clarificação utiliza um fundo falso (espécie de peneira) que serve de sustentação para o verdadeiro elemento filtrante, que consiste nas palhas (cascas) do malte. Por essa razão, esse tipo de filtro após a filtração do mosto primário, adiciona-se água ao bagaço, extraindo-se boa parte do mosto ainda embebido nas cascas (mosto secundário). A temperatura dessa água não deve ser muito elevada, de modo a evitar a extração excessiva de polifenois, que poderia prejudicar o sabor da cerveja. Temperaturas elevadas também favorecem a extração de amido residual do bagaço, o que pode elevar a turbidez da cerveja manda que a moagem do grão tenha sido feita com rolos, para preservar as cascas. Algumas cervejarias substituem a filtração por técnicas de centrifugação, obtendo resultados semelhantes. Embora resulte em cervejas brilhantes e com apelo visual significativo, ambos os processos retiram algumas substâncias que conferem corpo à bebida. Por essa razão, algumas cervejas de trigo e aquelas Ale chamadas de “autênticas” não passam por filtração, para que um pouco de levedura se mantenha na bebida. Essas cervejas apresentam turbidez e alguma sedimentação no fundo da garrafa (Morado,2009).

2.3.4 Fevura e adiação do lúpulo

Após a mosturação, o mosto é filtrado e levado à fervura. A fervura tem como objetivo esterilizar o mosto e concentrar os sabores, além de permitir a adição de lúpulo, que confere amargor, sabor e aroma à cerveja. A adição do lúpulo é feita em diferentes momentos da fervura para obter diferentes características sensoriais. Lúpulos adicionados no início da fervura proporcionam amargor, enquanto adições tardias ou no final da fervura preservam os óleos essenciais, responsáveis pelos aromas (Kunze, 2004).

2.3.5 Resfriamento do mosto

Após a fervura, o mosto precisa ser resfriado rapidamente para uma temperatura adequada à fermentação, geralmente entre 18°C e 22°C para fermentações de alta fermentação (ales) e entre 7°C e 13°C para fermentações de baixa fermentação (lagers). O resfriamento rápido é essencial para evitar a proliferação de microrganismos indesejados e garantir que a levedura inoculada possa iniciar a fermentação de forma eficiente (Briggs *et al.,* 2004).

2.3.6 Fermentação

A fermentação é o processo onde a levedura converte os açúcares presentes no mosto em álcool, dióxido de carbono e compostos secundários que contribuem para o perfil sensorial da cerveja. Durante a fermentação, o controle de temperatura e a escolha da cepa de levedura são fundamentais para garantir que a fermentação ocorra de forma eficiente e que os sabores indesejados sejam minimizados. A fermentação primária pode durar de uma a duas semanas, dependendo do estilo de cerveja (Bamforth, 2009).

2.3.7 Maturação

Após a fermentação primária, a cerveja passa por uma fase de maturação, onde é armazenada por um período adicional em temperaturas mais baixas. Esse processo

permite que os sabores se suavizem e que os compostos indesejados, como o diacetil (um sabor amanteigado), sejam eliminados. A maturação pode durar de algumas semanas a vários meses, dependendo do tipo de cerveja (Briggs *et al*., 2004).

2.3.8 Carbonatação e envase

Antes do envase, a cerveja pode ser carbonatada de duas maneiras: naturalmente, com a adição de açúcar ou levedura residual para gerar dióxido de carbono, ou artificialmente, através da injeção de CO2. Após a carbonatação, a cerveja é transferida para garrafas, latas ou barris. O envase deve ser feito com equipamentos que garantam a vedação hermética, evitando a contaminação e a oxidação da cerveja (Kunze, 2004).

3 METODOLOGIA

3.1 Materiais

As atividades de produção de cerveja, bem como as análises físico-químicas foram desenvolvidas no laboratório do Instituto Federal do Triângulo Mineiro na cidade de Uberlândia-MG. Foi desenvolvida uma formulação de cerveja artesanal estilo Pilsen, com diferentes concentrações de Óleo Essencial de Laranja (1ml; 2ml; 5ml; 10ml; 20ml). Os maltes utilizados na produção foram malte Pilsen e malte Caramalt. O lúpulo usado foi o Tradition, bem como a levedura SafAle S-04. A extração do Óleo Essencial ocorreu no laboratório de bebidas do Instituto através do método de destilação por hidrodestilação, utilizando um aparelho de Clevenger, a uma temperatura de 100ºC.O material vegetal é submerso em água em um balão de fundo redondo, que é acoplado ao aparelho. O vapor d'água, ao subir, arrasta os óleos voláteis. O vapor é então condensado no aparelho de Clevenger e direcionado para um tubo graduado. Lá, a mistura de óleo e água se separa por densidade, formando duas fases (óleo na parte superior, água na inferior), permitindo a drenagem e coleta do óleo essencial por uma torneira.

3.2 Métodos

Para o início do processo de produção da cerveja, os utensílios foram devidamente esterilizados com ácido peracético (1g/água). A seguir, o fluxograma apresenta como a cerveja foi desenvolvida. Para o início do processo de produção da cerveja, os utensílios foram devidamente esterilizados com ácido peracético (1g/água).

A seguir, o fluxograma mostrou como a cerveja foi desenvolvida (Figura 1).

3.3 Descrição das etapas do processo

Figura 1- Fluxograma da produção da cerveja



Fonte: elaborada pela autora (2025).

3.3.1 Moagem do malte

O malte foi moído em moinho de disco antes da mosturação, com o objetivo de quebrar a casca dos grãos em uma granulometria que não os deixasse esfarelados, evitando dificuldades na etapa de filtração (Garcia-Cruz; Foggetti; Silva, 2008).

3.3.2 Mosturação

O malte foi moído em moinho de disco antes da mosturação, com o objetivo de quebrar a casca dos grãos em uma granulometria que não os deixasse esfarelados, evitando dificuldades na etapa de filtração (Garcia-Cruz; Foggetti; Silva, 2008).

3.3.3 Filtração

Após a finalização da mosturação, o mosto foi recirculado manualmente, formando uma cascata com o próprio mosto, por meio do auxílio de um vasilhame de

inox, até que apresentasse aspecto claro e límpido. A lavagem do malte foi realizada com água a 78 °C, até a obtenção de 30 litros. Finalizada a lavagem, o mosto foi transferido para a panela de fervura. A filtração foi realizada por meio de um *grain ba*[1]*g* (Morado, 2009).

3.3.4 Fervura

O mosto foi levado à fervura, onde permaneceu por cerca de uma hora, processo conhecido como brassagem. Após sessenta minutos, foi adicionado o lúpulo Tradicion de forma fracionada, com a adição de 2 g a cada dez minutos, divididos em seis etapas, totalizando 12 g (Morado, 2009).

3.3.5 Resfriamento

O resfriamento foi realizado por meio de chiller esterilizado, que foi aplicado diretamente ao mosto. Este foi resfriado até atingir 28 °C, temperatura ideal para a inoculação do fermento SafeAle S-04 (Morado, 2009).

3.3.6 Fermentação

Após o resfriamento do mosto, foram adicionados 11 g de levedura Safe-Ale S-04, que foi incorporada diretamente ao mosto e agitada até que o líquido se homogenizasse. O balde fermentador (bombona), previamente sanitizado com ácido peracético e devidamente fechado, contou com uma mangueira de blow-off, responsável por evitar a contaminação da cerveja pelo ar ambiente e permitir a saída do CO_2.(Morado, 2009).

[1] Saco feito em voal, musseline ou outro tecido minimamente permeável, atóxico e resistente, onde se insere os grãos e o submerge na panela.

3.3.7 Fermentação secundária ou maturação

Após sete dias de fermentação, o mosto foi resfriado a 4 °C. Durante esse processo, as leveduras produziram diversos subprodutos que geraram off-flavors na cerveja, como diacetil (gosto e aroma de manteiga rançosa) e acetaldeído (gosto de maçã verde). Entretanto, as leveduras foram capazes de reabsorver esses subprodutos. Por isso, foi considerado ideal que a cerveja permanecesse em repouso por um período de 10 dias (Morado, 2009).

3.3.8 Adição do óleo essencial da casca da laranja-pêra

Após sete dias de fermentação, o mosto foi resfriado a 4 °C. Durante esse processo, as leveduras produziram diversos subprodutos que geraram off-flavors na cerveja, como diacetil (gosto e aroma de manteiga rançosa) e acetaldeído (gosto de maçã verde). Entretanto, as leveduras foram capazes de reabsorver esses subprodutos. Por isso, foi considerado ideal que a cerveja permanecesse em repouso por um período de 10 dias (Morado, 2009).

3.3.9 Envase

Após o período de maturação, as garrafas foram lavadas e sanitizadas com ácido peracético, na concentração de 1 g/L de água. Para a carbonatação, foi adicionado o priming (concentração de 6 g/L) diretamente aos baldes. Em seguida, realizou-se o engarrafamento, deixando-se aproximadamente 5 cm de espaço livre na boca das garrafas. Estas foram devidamente tampadas e mantidas em temperatura ambiente por 9 dias, período necessário para a ocorrência da carbonatação, processo de fermentação que libera CO_2 dentro da garrafa. (Morado, 2009).

4 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS

As análises serão realizadas baseadas nas normas de Adolfo Lutz e método de Tillmans, Métodos Oficiais de Análises (Associação Oficial de Química Analítica).

4.1 Determinação do ph

A determinação do pH realizou-se através o pHmetro com o mergulho do medidor na amostra.

4.2 Determinção de “Brix

O ºBrix será medido através do aparelho eletrônico refratômetro, onde o mesmo devidamente limpo com água destilada, receberá uma gota da cerveja e em seguida feita a leitura durante todo o período de análises.

4.3 Determinção de cor

A determinação da cor será feita através do aparelho eletrônico espectrofotômetro 430 (nm).

Cálculo: 0.377 x EBC + 0.45

Onde EBC: unidade de medida para cor D = 10 (cervejas escuras) e 1 (demais) água deionizada como branco.

4.4 Teor de ácool

Os teores alcoólicos de cerveja foram determinados pelo método ebuliométrico, no qual se determina a quantidade percentual de álcool etílico em uma solução alcoólica ao ser fixado o ponto zero na escala do ebuliômetro, sendo teor alcoólico expresso em %v/v.

O processo se baseia na diferença entre os pontos de ebulição da água (100°C)

e do álcool (78,4°C), devendo o ponto de ebulição se encontrar dentro dessa faixa de temperatura. Desta forma, quanto maior a quantidade de álcool presente na amostra utilizada, mais próxima da temperatura de ebulição do álcool puro estará a temperatura de ebulição da amostra (IAL, 2008).

O teor de fenóis totais foi determinado pelo método de Folin-Ciocalteu, expresso em mg de ácido gálico (GAE) por grama de extrato seco. A curva padrão foi elaborada com soluções de ácido gálico em diferentes concentrações. Após a reação com o reagente de Folin e Na_2CO_3, as amostras foram incubadas por 90 minutos a 23– 25 °C e a absorbância foi lida a 750 nm. Amostras de cerveja foram diluídas (1:5 e 1:10), analisadas em triplicata e comparadas com a curva padrão para quantificação dos compostos fenólicos totais.

Brand-Williams, Cuvelier.; Berset (1995) com modificações realizadas por Zhão *et al*, (2010) e Gerhauser (2005). Uma alíquota de 50 µL de cerveja diluída será adicionada com 1 mL de metanol absoluto e com 0,5 ml de DPPH 250 µM. As amostras ficarão em repouso no escuro por 30 minutos e depois será realizada a leitura em 517 nm e o resultado será comparado com uma curva padrão de reagente trolox e o resultado será expresso em mmol por litro de cerveja (mmol TE/L).

4.5 Determinação extrato seco

Amostra de 20ml de cerveja descarbonatada foi transferida para uma cápsula previamente aquecida em estufa com circulação de ar à 105ºC por 1 hora, resfriada em dessecador e pesada. A amostra foi aquecida em banho-maria até a secagem. Em seguida, foi levada para estufa a 105ºC por 1 hora, sendo resfriada em dessecador e pesada. O extrato seco foi calculado utilizando a Equação 10 (IAL, 2008),

100 x P/ V = Extrato Seco % m/v

Onde:

P = Massa do Resíduo, em g;

V = Volume da amostra, em mL.

4.6 Determinção índice de cor

A coloração da cerveja foi medida com colorímetro (Konica Minolta* Chroma Meter CR400), no sistema CIEL *a*b*, sendo determinados os valores L (luminosidade de cor, que varia de zero a 100), a* (variação de cor verde a vermelho) e b* (variação de cor azul a amarelo). As diferenças de cor para esse sistema serão calculadas a partir das diferenças dos valores L, a*, b* entre as amostras, utilizando-se a Equação 8 (Espina *et a*l, 2011).

$$\Delta E = \sqrt{(\Delta L^2 + \Delta A^2 + \Delta b^2)}$$

Onde:

ΔE: Significa a leitura dada pelo equipamento (colorímetro).

ΔL: Diferença da leitura de L da amostra pelo L do branco

ΔA: Diferença da leitura de a* da amostra pelo a* do branco

Δb: Diferença da leitura de b* da amostra pelo b* do branco

4.7 Determinção de compostos fenólicos

A determinação de compostos fenólicos foi realizada segundo metodologia descrita por Swain e Hillis (1959). As leituras foram realizadas em espectrofotômetro Hach DR 2800, com comprimento de onda 760nm. A quantificação dos compostos fenólicos (CF) foram realizadas utilizando reagente de Folin-Denis com curva padrão de ácido tânico, sendo os valores calculados pela equação 9 e os resultados expressos em mg equivalentes de ácido tânico (EAT) em 100mg de amostra. Foi feita a curva de ácido tânico para calcular o km, que consiste no somatório das concentrações da curva/ pelo somatório das médias das absorbâncias.

$$\mathbf{CF(mgEAT/100g) = KmxAbsamostra/\ Tensaiox10}$$

Onde:

Km = Somatório das concentrações da curva/ pelo somatório das médias das absorbâncias da curva de ácido tânico

Absamostra = Leitura espectrofotométrica da amostra

Tensaio = Tomada de ensaio

4.8 Determinação grau sacaromético

Representa o Teor de Açúcar existente no mosto utilizando os pesos obtidos na análise de extrato seco e de teor alcoólico. Foi calculado pela fórmula:

GS(%) = 100 x (Extrato + 2,0665 x Teor Alcóolico) / 100 + 1,065 + Teor Alcóolico

4.9 Análise de coloração

Para análise de cor usou-se a metodologia ASBC (American Society of Brewing Chemists), através do espectrofotômetro modelo Novo 2000, sendo a leitura da absorbância relativa à escala americana de cor SRM (Standard Reference Method).

A análise consiste em zerar o equipamento com branco através de uma cubeta de vidro com água destilada. A cor foi determinada pela medida de absorbância da amostra no comprimento de onda de 430 nm e o resultado multiplicado por 10, realizado posteriormente a comparação com a escala de SRM (Standard Reference Method).

4.10 Determinação acidez total

A acidez das amostras foi determinada através de diluição e neutralização com solução alcalina padronizada, utilizando indicador fenolftaleína. Foram transferidos 10 mL de amostra e 100 mL de água destilada para um erlenmeyer e adicionou-se 3 gotas de fenolftaleína. Titulou-se com hidróxido de sódio (NaOH) 0,1 N até coloração rosa. Os cálculos foram feitos a partir da seguinte fórmula.

At = V1000 × f× V × N

Onde:

At = Acidez total ($meq \cdot L^{-1}$)
f = Fator de correção do titulante (solução de NaOH)
V = Volume de NaOH gasto na titulação (mL)

N = Normalidade da solução de NaOH

V = Volume da amostra (mL)

4.11 Acidez volátil

A acidez volátil foi realizada pelo método titulométrico, utilizando-se um destilador, cujo arraste do vapor d'água separou os ácidos voláteis da amostra. Posteriormente, recolheu-se 50 mL do destiladoe foi feita titulação pelo método potenciométrico, utilizando-se solução de hidróxido de sódio 0,1 N, como descrito em (Brasil, 2018).

Cálculo para acidez volátil (equação 6):

$$\frac{n \times M \times f \times MM}{10 \times V}$$

Onde:

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

f = fator de correção da solução de hidróxido de sódio

M = normalidade da solução de hidróxido de sódio

V = volume da amostra

4.12 Acidez fixa

A acidez fixa foi determinada por meio da diferença entre a acidez total e a acidez volátil, e o resultado expresso em meq L^{-1} (Brasil, 2018), conforme Equação 7:

At - Af = ácidos voláteis, em g de ácido acético por 100 mL de amostra

Onde:

At = acidez total

Af = acidez fixa

4.13 Cor

A cor da cerveja foi determinada, usando espectrofotômetro Hach® DR 2800,

sendo a leitura da absorbância relativa às escalas de cor (SRM) Standard Reference Method (ASBC, 1992) e (EBC) European Brewing Convention (EBC, 2010). A leitura da absorbância foi efetuada no comprimento de onda de 430 nm (IAL, 2008). Após as leituras foram aplicadas as Equações 12 e 13:

EBC= Abs430nm×25 SRM= Abs430nm×12,7

4.14 DPPH

A análise de DPPH é baseada na determinação da concentração de DPPH (1,1-difenil-2-picrilhidrazil) em solução de metanol, após se adicionar a mistura de amostras/padrões. Presença de antioxidantes naturais na amostra, a absorção desaparece gradualmente com o tempo. A análise realizada com as cervejas foi feita em triplicata, utilizando o método proposto por Rufino *et al*. (2007). Uma alíquota de 25 µL de cerveja foi misturada com 900 µL etanol e 5 µL de uma solução de DPPH. A reação ocorreu por 30 minutos em ambiente escuro a 25 ºC, e a absorbância foi lida a λ = 517 nm por um espectrofotômetro. Foi utilizado álcool 70% para zerar o equipamento e o controle negativo foi feito pela solução de DPPH + água no lugar da amostra.

%RADPPH = Absbranco - Absamostra x 100 / Absbranco

Em que:

Absbranco = absorbância da solução de DPPH com água no lugar da amostra.
Absamostra = Absorbância da amostra com o DPPH.

O grau de fermentação da cerveja foi calculado utilizando dos resultados de grau sacarométrico e extrato seco pela fórmula:

Grau de Fermentação (%) = 100 × (Grau Sacarométrico – Extrato seco)/ Grau Sacarométrico

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo, apresentaram-se os resultados obtidos por meio das análises físico- químicas realizadas nas amostras de cerveja tipo Pilsen, com diferentes concentrações de óleo essencial de casca de laranja-pêra. As amostras foram identificadas conforme os teores de óleo essencial adicionados (0, 1, 5, 10, 15 e 20 mL). Os dados foram submetidos ao teste de Scott-Knott com nível de significância de 5%, conforme análise estatística. Os resultados obtidos neste estudo demonstraram que a adição de óleo essencial de casca de laranja-pêra influenciou significativamente as características físico-químicas da cerveja tipo Pilsen, promovendo alterações nos parâmetros de extrato seco, teor alcoólico, grau de fermentação, acidez, pH, coloração e compostos fenólicos.

A concentração de 10 mL de óleo essencial apresentou desempenho expressivo, proporcionando maior teor alcoólico, pH elevado e o maior grau de fermentação entre os tratamentos, o que sugeriu uma possível sinergia entre os compostos do óleo e a atividade das leveduras. Por outro lado, concentrações superiores a 15 mL resultaram em redução de compostos fenólicos e estabilidade, possivelmente devido à degradação de bioativos e à maior presença de voláteis.

Observou-se também que a coloração e o índice de acidez foram afetados conforme a concentração do óleo essencial, indicando sua potencial aplicabilidade como ingrediente funcional e aromatizante na formulação de cervejas especiais. No entanto, destacou-se a necessidade de atenção aos limites sensoriais e tecnológicos, a fim de manter o equilíbrio desejado no produto final.

5.1 Extrato seco

A análise do extrato seco revelou uma diferença significativa entre os tratamentos com diferentes volumes de óleo essencial adicionados à cerveja. As amostras controle (0 mL) e com 5 mL apresentaram os maiores valores de sólidos solúveis (10,35 e 10, 20, respectivamente), indicando maior concentração de açúcares residuais e outros compostos solúveis na bebida. Tabela 1. Em contraste, as amostras tratadas com volumes superiores de óleo essencial demonstraram reduções significativas no °Brix, sendo que a amostra com 15 mL apresentou o menor valor registrado (5,01 °Brix).

Essa redução pode estar relacionada à interferência do óleo essencial na matriz cervejeira, possivelmente promovendo interações físico-químicas com os compostos solúveis. Óleos essenciais são misturas complexas de compostos hidrofóbicos, como terpenos e fenóis voláteis, que podem interagir com proteínas, polifenois e açúcares presentes na cerveja, promovendo precipitação ou formação de complexos insolúveis (Burt, 2004; Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012). Isso pode levar à diminuição da fração de sólidos verdadeiramente solúveis na bebida, refletindo em valores menores de solidos solúveis.

Além disso, o aumento da quantidade de óleo essencial pode afetar a estabilidade coloidal e a turbidez da cerveja, influenciando negativamente a medição dos sólidos solúveis. A dispersão de compostos lipofílicos em uma matriz predominantemente aquosa pode alterar a homogeneidade da solução, reduzindo a leitura eficaz de açúcares e outros constituintes hidrossolúveis durante a análise refratométrica.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de o óleo essencial interferir na atividade fermentativa das leveduras. Estudos demonstram que óleos essenciais, especialmente em concentrações elevadas, podem ter efeitos antimicrobianos, inclusive sobre Saccharomyces cerevisiae, afetando a produção de metabólitos durante a fermentação. Isso poderia explicar a menor presença de resíduos fermentativos solúveis, como maltose e dextrinas, em amostras com maior volume de óleo essencial, levando a uma redução na quantidade de solídos solúveis.

Portanto, os dados sugerem que a adição de óleo essencial, sobretudo em volumes elevados, pode comprometer a concentração de sólidos solúveis na cerveja, seja por ação físico-química direta sobre os constituintes da matriz, seja por inibição da atividade fermentativa. Tais efeitos devem ser considerados no desenvolvimento de cervejas funcionais ou aromatizadas com óleos essenciais, visando garantir estabilidade e qualidade sensorial do produto final.

Tabela 1- Teores médios de extrato secos em cerveja tipo pilsen aromatizada com óleo essencial de casca de laranja-pêra "*Citrus sinensis l. osbeck"*

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 0,0983192080250175

Tratamento óleo essencial (mL)	**Médias Extrato Seco**
0	10,354780 A
1	5,236060 B
5	10,200000 A
10	5,058900 B
15	5,012600 B
20	5,733040 B

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott ($p<0,05$).

5.2 Teor alcoólico

Os resultados do teor alcoólico variaram entre 2,92% e 4,31% (v/v), sendo observados os maiores valores nas amostras com 10 mL (4,15%) e 20 mL (4,31%) de óleo essencial, conforme tabela 2. Esse aumento sugere que a adição moderada a elevada de óleo essencial pode ter um papel positivo na fermentação alcoólica, favorecendo a produção de etanol pelas leveduras.Uma possível explicação para esse comportamento está relacionada à liberação facilitada de açúcares fermentáveis a partir da matriz cervejeira. Compostos presentes nos óleos essenciais, como terpenos e fenóis, podem interagir com componentes da parede celular vegetal (no caso de ingredientes como malte e adjuntos), auxiliando na quebra ou solubilização de estruturas que aprisionam açúcares complexos (Burt, 2004). Esse efeito pode resultar em maior disponibilidade de substrato para a levedura, intensificando sua atividade metabólica e, consequentemente, aumentando a produção de etanol.

Adicionalmente, alguns óleos essenciais em concentrações subinibitórias podem apresentar efeitos estimulantes sobre micro-organismos fermentadores, incluindo

Saccharomyces cerevisiae (Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012). Isso pode estar associado à ativação de vias de resposta ao estresse, que resultam em maior eficiência de fermentação e tolerância alcoólica, especialmente em ambientes com compostos fenólicos ou antioxidantes naturais.

No entanto, é importante destacar que essa estimulação pode ser dependente da dose. Enquanto concentrações moderadas (como 10 mL) parecem favorecer a fermentação, doses excessivas de óleo essencial podem apresentar efeitos antimicrobianos e inibir a atividade das leveduras. O fato de a amostra com 20 mL ainda apresentar alto teor alcoólico sugere que o limiar de inibição ainda não foi atingido nesse experimento, mas reforça a importância de avaliar cuidadosamente a concentração ideal para maximizar os benefícios fermentativos sem comprometer a viabilidade celular.

Esses resultados reforçam o potencial do uso de óleos essenciais não apenas como agentes aromatizantes ou antimicrobianos naturais, mas também como coadjuvantes na otimização do processo fermentativo, desde que aplicados em concentrações adequadas.

Tabela 2- Média do teor alcoólico

Média harmônica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 0,0983192080250175

Tratamentos	Médias Teor Acoólico
0	3,210000 B
1	3,340000 B
5	2,920000 C
10	4,145000 a
15	3,530000 B
20	4,315000 a

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott ($p<0,05$).

5.3 Grau sacarométrico

A variação observada no grau sacarométrico entre as amostras foi significativa, refletindo o impacto da adição de óleo essencial no processo fermentativo e na composição final da cerveja, conforme tabela 3. As maiores médias foram registradas nas amostras controle (15,71) e com 5 mL de óleo essencial (15,73), indicando alta presença de extrato primário, basicamente açúcares não fermentados e outros sólidos solúveis. Por outro lado, a amostra com 10 mL apresentou o menor valor (7,62), sugerindo maior consumo de açúcares pelas leveduras ou possível degradação desses compostos.

A redução no grau sacarométrico da amostra com 10 mL pode estar associada a dois mecanismos distintos. Primeiramente, o volume intermediário de óleo essencial pode ter estimulado a atividade fermentativa das leveduras, promovendo maior conversão de açúcares em etanol e CO_2, o que é compatível com os resultados de teor alcoólico elevado observados nessa mesma amostra. Esse comportamento é compatível com o efeito "hormético" descrito por Hyldgaard; Mygind; Meyer (2012), no qual concentrações moderadas de compostos bioativos presentes nos óleos essenciais ativam respostas celulares que aumentam a eficiência metabólica.

Em contrapartida, a adição de óleo também pode alterar a biodisponibilidade dos açúcares, interferindo na solubilidade ou acessibilidade dos mesmos, seja por alterações na viscosidade do meio, pela formação de complexos com compostos hidrofóbicos, ou ainda por inibição enzimática. Esse efeito pode ser especialmente acentuado em concentrações intermediárias de óleo, nas quais há contato suficiente para afetar a dinâmica da fermentação, mas ainda não a ponto de inibir completamente a levedura.

O grau sacarométrico também está diretamente relacionado à eficiência de fermentação, uma vez que valores mais baixos após a fermentação sugerem maior conversão de extrato primário em produtos fermentativos. Nesse sentido, o contraste entre as amostras com 5 mL (alta sacarometria e teor alcoólico moderado) e 10 mL (baixa sacarometria e alto teor alcoólico) evidencia que a conversão foi mais eficiente na amostra com 10 mL, apesar da maior interferência química.

Esses dados reforçam a necessidade de otimização da dosagem de óleo essencial, visto que concentrações intermediárias podem, sob determinadas condições, favorecer a fermentação e melhorar o rendimento alcoólico, enquanto

concentrações mais baixas ou mais altas mantêm maiores resíduos de açúcares não fermentados o que pode afetar a estabilidade, dulçor e perfil nutricional da cerveja.

Tabela 3- Média do grau sacarométrico

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 0,988769647996944

Tratamentos	Médias Grau Sacarométrico
0	15,714060 a
1	11,720440 b
5	15,734960 a
10	7,624780 c
15	11,861200 b
20	12,940560 b

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott (p<0,05).

5.4 Grau de fermentação

Observou-se maior grau de fermentação na amostra com 10 mL (158,00), sugerindo que esta concentração promoveu maior conversão dos açúcares em álcool e CO_2. Já a amostra com 5 mL apresentou o menor valor (55,26), conforme tabela 4 o que demonstra possível inibição do processo fermentativo nesta concentração específica.

Tabela 4- Grau de fermentação

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 4,8532298934524

Tratamentos	Médias Grau de Femerntação	
0	98,360080	C
1	123,788200	B
5	55,261120	D
10	158,001540	A
15	136,798180	B
20	127,416380	B

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott Knott ($p<0,05$).

5.5 Acidez total, volátil e fixa

Os resultados referentes aos parâmetros de acidez indicam que a adição de óleo essencial influenciou significativamente a acidez da cerveja. As amostras com 10, 15 e 20 mL apresentaram os maiores valores de acidez total, superando 6,6 g/L, o que pode estar associado a uma maior liberação de ácidos orgânicos em resposta ao aumento da concentração de óleo essencial Tabela 5.

A elevação da acidez total pode ocorrer devido à presença de compostos orgânicos no próprio óleo essencial ou pela indução de alterações no metabolismo fermentativo das leveduras. Certos compostos bioativos, especialmente fenóis e terpenos, podem estimular rotas fermentativas secundárias, levando à maior formação de ácidos como lático, succínico e acético (Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012). Além disso, a presença de antioxidantes naturais pode afetar a atividade enzimática, influenciando a conversão de intermediários metabólicos em ácidos orgânicos.

A acidez volátil, com maior média observada na amostra com 20 mL (2,12 g/L), também aumentou proporcionalmente com a concentração de óleo essencial. Isso sugere que compostos voláteis do óleo, como aldeídos e ésteres, podem ter interagido com a fermentação ou contribuído diretamente para o aumento dos ácidos voláteis, particularmente o ácido acético. Em fermentações alcoólicas, o aumento da acidez

volátil é frequentemente associado à formação de metabólitos secundários e à oxidação de etanol, processos que podem ser acelerados por compostos reativos presentes em óleos essenciais (Couto *et al*., 2006).

Quanto à acidez fixa, o maior valor foi registrado na amostra com 10 mL (4,83 g/L), refletindo um possível efeito combinado da fermentação otimizada (como sugerido pelo maior teor alcoólico) e da composição química do óleo essencial. A acidez fixa, composta principalmente por ácidos não voláteis como o ácido succínico e lático, pode aumentar tanto pela atividade metabólica das leveduras quanto por aditivos externos que contenham compostos ácidos ou precursores desses ácidos (Briggs *et al*., 2004).

Em conjunto, esses dados sugerem que, embora os óleos essenciais possam exercer efeitos inibitórios sobre micro-organismos em determinadas concentrações, também podem modular o metabolismo fermentativo e alterar profundamente a composição química da cerveja. O aumento da acidez total e volátil pode impactar a estabilidade microbiológica e o perfil sensorial, influenciando características como sabor, aroma e refrescância. Portanto, o uso de óleos essenciais como aditivo funcional deve considerar não apenas suas propriedades antioxidantes e antimicrobianas, mas também seus efeitos sobre os parâmetros físico-químicos da bebida.

Tabela 5- Teores médios de acidez total, volátil e fixa em cerveja tipo pilsen aromatizada com óleo essencial de casca de laranja-pêra "*Citrus sinensis l. osbeck"*

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 4,8532298934524

Tratamento óleo essenciais (ml)	**Médias de Acidez (mEq L^{-1})**		
	TOTAL	**VOLÁTIL**	**FIXA**
0	4,124000 b	0,311500c	3,812500c
1	3,800000 c	1,890000 b	1,910000 e
5	4,355000 b	1,855000 b	2,500000 d
10	6,680000 a	1,845000 b	4,835000 a
15	6,710000 a	1,945000 b	4,765000 a

20	6,600000 a	2,125000 a	4,475000 b

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott (p<0,05).

5.6 ph

A adição de óleo essencial teve um impacto significativo sobre o pH das amostras de cerveja. Enquanto as amostras controle (0 mL) e com 1 mL apresentaram pH mais ácido (≈ 4,31), as amostras com volumes de 10, 15 e 20 mL alcançaram valores mais elevados (de 4,95 a 4,96), conforme tabela 6, indicando uma elevação na alcalinidade do meio.

Essa mudança no pH pode estar relacionada à natureza química dos constituintes do óleo essencial, muitos dos quais são compostos neutros ou levemente básicos, como monoterpenos, álcoois terpênicos (ex.: linalol, geraniol) e ésteres (Burt, 2004; Hyldgaard; Mygind; Meyer, 2012). Esses compostos podem interagir com ácidos orgânicos naturalmente presentes na cerveja (como ácido lático, acético e succínico), tamponando ou reduzindo sua atividade ácida e, consequentemente, aumentando o pH final da bebida.

Além disso, o óleo essencial pode interferir na atividade das leveduras durante a fermentação. Alguns estudos sugerem que compostos bioativos presentes em óleos essenciais podem alterar o metabolismo microbiano, reduzindo a produção de ácidos orgânicos em determinadas condições. Isso poderia explicar, ao menos parcialmente, a menor acidez observada nas amostras com maiores volumes de óleo essencial.

Mudanças no pH são particularmente relevantes para a estabilidade microbiológica, sensorial e coloidal da cerveja. Valores mais altos de pH podem comprometer a estabilidade da bebida e favorecer o crescimento de micro-organismos indesejáveis, além de alterar o perfil sensorial, reduzindo a acidez percebida e influenciando o amargor e a percepção de corpo (Briggs *et al.,* 2004).

Portanto, embora o óleo essencial possa trazer benefícios aromáticos e funcionais à formulação da cerveja, seu impacto sobre parâmetros fundamentais como o pH precisa ser cuidadosamente monitorado. Estratégias como a padronização do pH inicial do mosto ou a adição fracionada do óleo durante o processo produtivo podem ser avaliadas para mitigar esse efeito.

Tabela 6- Médias do ph

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 0,0259679289380831

Tratamentos	Médias pH
0	4,309000 C
1	4,330000 C
5	4,710000 B
10	4,960000 a
15	4,960000 a
20	4,950000 a

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott ($p<0,05$).

5.7 índice de cor, cor EBC e SRM

A adição do óleo essencial impactou significativamente a coloração da cerveja, conforme demonstrado pelos valores das escalas EBC e SRM. A amostra com 5 mL apresentou a coloração mais intensa (EBC = 18,99; SRM = 9,64), enquanto a amostra com 1 mL exibiu os menores valores (EBC = 4,85; SRM = 2,46). Essas variações sugerem que o óleo essencial promoveu modificações na matriz química da bebida, afetando diretamente sua aparência visual, conforme tabela 7.

Uma possível explicação para a intensificação da cor é a solubilização de pigmentos lipofílicos presentes no próprio óleo essencial, como carotenoides, flavonoides ou outros compostos oxidados que possuem coloração amarelada a alaranjada (Shahidi; Zhong, 2010). Esses compostos, ao serem incorporados à matriz aquosa da cerveja, podem alterar significativamente sua tonalidade, especialmente em volumes moderados como 5 mL.

Além disso, interações entre o óleo essencial e compostos fenólicos da cerveja podem contribuir para mudanças cromáticas. Fenóis podem formar complexos com proteínas, açúcares redutores ou mesmo com compostos oxidativos, resultando em estruturas com maior absorção na região visível do espectro (Kim, Jeong; Lee, 2007). Como observado, a amostra com 5 mL de óleo apresentou ao mesmo tempo menor

teor de fenóis totais e maior intensidade de cor, sugerindo que parte dos fenóis pode ter sofrido reações de escurecimento (por exemplo, reações de Maillard ou oxidações), intensificando a cor final da bebida.

É relevante destacar que a coloração da cerveja também pode ser sensível ao pH, à turbidez e à estabilidade coloidal, todos parâmetros que podem ser alterados pela adição de compostos externos como óleos essenciais. Em concentrações mais baixas (como 1 mL), o efeito sobre a cor parece ser limitado, possivelmente devido à menor quantidade de pigmentos introduzidos ou à menor intensidade de interação com a matriz.

Esses resultados demonstram que o uso de óleos essenciais pode alterar sensivelmente a aparência da cerveja, fator importante tanto do ponto de vista sensorial quanto de padronização do produto. Para formulações comerciais, é necessário considerar o impacto visual da adição de ingredientes bioativos, especialmente em bebidas onde a cor tem forte associação com qualidade e estilo.

Tabela 7- Médias de índice de cor

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 0,220730783233031

Tratamentos	Médias Índice de Cor
0	77,117380 B
1	77,238440 B
5	77,170720 B
10	78,037400 a
15	77,924300 a
20	77,990440 a

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott ($p<0,05$).

5.8 Compostos fenólicos

A análise do conteúdo de compostos fenólicos totais demonstrou uma tendência de redução significativa conforme o volume de óleo essencial adicionado à

cerveja aumentava. A amostra controle (sem adição) apresentou o maior teor (91,36 mg GAE/L), seguida pela amostra com 1 mL (83,69 mg GAE/L). A partir da adição de 5 mL, os valores reduziram drasticamente, sendo o menor registrado na amostra com 5 mL (43,88 mg GAE/L), conforme tabela 8.

Esses dados sugerem que a adição de óleo essencial, a partir de determinado limiar, interfere negativamente na estabilidade ou disponibilidade dos compostos fenólicos originais da matriz cervejeira.

Uma explicação plausível para esse comportamento está relacionada à instabilidade dos compostos fenólicos em presença de outros compostos bioativos, especialmente os presentes nos óleos essenciais. Muitos fenóis são sensíveis à oxidação e degradação por reações com terpenos, aldeídos e outras substâncias lipofílicas presentes nos óleos (Shahidi; Ambigaipalan, 2015). A interação entre diferentes grupos bioativos pode levar à precipitação, complexação ou degradação dos fenóis originais, resultando na redução de sua concentração mensurável.

Além disso, a diferença na polaridade entre os compostos fenólicos (geralmente hidrossolúveis) e os componentes predominantes nos óleos essenciais (hidrofóbicos) pode dificultar a extração e quantificação precisa dos fenóis em soluções mistas. Em estudos similares, verificou-se que a presença de óleos essenciais pode afetar a dispersão e solubilidade de compostos polares, interferindo nos resultados obtidos por métodos como o Folin-Ciocalteu (Singleton; Orthofer; Lamuela-Raventós, 1999).

Outro ponto relevante é que, embora os óleos essenciais também possuam compostos com propriedades antioxidantes, como carvacrol, timol, eugenol e linalol, estes pertencem a classes químicas distintas e podem não reagir da mesma forma nos ensaios espectrofotométricos usados para fenol totais. Assim, a substituição parcial de fenóis naturais da cerveja por compostos bioativos do óleo essencial não necessariamente se traduz em um aumento ou manutenção da leitura de fenóis totais (Burt, 2004).

Esses resultados indicam que, embora a adição de óleo essencial possa oferecer benefícios funcionais e sensoriais, ela também pode comprometer a estabilidade de compostos fenólicos importantes para a qualidade nutricional e antioxidante da cerveja. Estratégias como microencapsulação de óleos ou controle do momento de adição podem ser investigadas para mitigar esse efeito negativo.

Tabela 8- Médias de compostos fenólicos

Média harmonica do número de repetições (r): 5 Erro padrão: 4,76185613874114

Tratamentos	Médias Comp. Fenólicos
0	91,360920 a
1	83,695780 a
5	43,886300 c
10	57,692340 b
15	65,750460 b
20	61,923420 b

Fonte: elaborada pela autora (2025).

Nota: Teste Scott knott ($p<0,05$).

6 CONCLUSÃO

Dessa forma, conclui-se que a adição controlada de óleo essencial de casca de laranja-pêra pode ser uma alternativa viável para o desenvolvimento de cervejas diferenciadas, com apelo funcional e sensorial. Recomenda-se a realização de análises sensoriais e estudos de estabilidade para complementar os dados obtidos e validar a aplicação comercial da proposta.

7 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho evidenciou o potencial tecnológico do óleo essencial de casca de laranja-pêra como aditivo natural na produção de cervejas artesanais do tipo Pilsen. A aplicação desse ingrediente conferiu características distintas à bebida, com impactos mensuráveis nos parâmetros físico-químicos e com perspectiva de valorização sensorial.

A proposta atende à crescente demanda por produtos diferenciados, com apelo funcional e aromas naturais, ao mesmo tempo em que aproveita resíduos da agroindústria cítrica, contribuindo para práticas mais sustentáveis e alinhadas aos princípios da economia circular.

Os dados obtidos representam um avanço importante para o setor cervejeiro, especialmente no contexto da inovação de bebidas com ingredientes naturais. A consolidação do uso de óleos essenciais na formulação de cervejas ainda exige investigações complementares, sobretudo no que diz respeito à aceitação do consumidor, à estabilidade sensorial ao longo do tempo e à regulamentação vigente para aromatizantes naturais.

Com base nos resultados alcançados, recomenda-se que futuros trabalhos explorem ensaios sensoriais, análises microbiológicas e estudos de shelf life, além de diferentes técnicas de adição e encapsulamento do óleo essencial, a fim de ampliar sua aplicabilidade comercial e garantir maior estabilidade e padronização do produto.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF BREWING CHEMISTS. **Methods of analysis**. 8th ed. St. Paul: ASBC, 1992.

ARNOLD, J. P. **Origin and history of beer and brewing**: from prehistoric times to the beginning of brewing science. Cleveland: BeerBooks, 2005.

BAMFORTH, C. W. **Beer**: tap into the art and science of brewing. 3rd ed. New York: Oxford University Press, 2009.

BRAND-WILLIAMS, W.; CUVELIER, M. E.; BERSET, C. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. **LWT**: Food Science and Technology, United Kingdom, v. 28, n. 1, p. 25–30, 1995. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0023643895800085. Acesso em: 08 set. 2023.

BRASIL Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Instrução normativa nº 67, de 5 de novembro de 2018. Institui os procedimentos de informatização dos trâmites de certificação para exportação e importação de bebidas, fermentados acéticos, vinhos e derivados da uva e do vinho. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, n. 220, p. 17, 16 nov. 2018.

BRIGGS, D. E.; BOULTON, C. A.; BROOKES, P. A.; STEVES, R. **Brewing**: science and practice. Cambridge: Woodhead Publishing, 2004. *E-book*.

BURT, S. Essential oils: their antibacterial properties and potential applications in foods: a review. **International Journal of Food Microbiology**, Netherlands, v. 94, n. 3, p. 223–253, Aug. 2004. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0168160504001680?via%3Dihub. Acesso em: 08 set. 2023.

COUTO, J. A; CAMPOS, F. M.; FIGUEIREDO, A. R; HOOG, T. A.. Ability of lactic acid bacteria to produce volatile phenols. **American Journal of Enology and Viticulture**, United States, v. 57, n. 2, p. 166–171, Feb. 2006. Disponível em: https://www.ajevonline.org/content/57/2/166. Acesso em: 01 jun. 2022.
Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/anvisa/2010/cop0069_13_07_2010.html. Acesso em: 06 set. 2023.

ESPINA, L.; SOLOLINOS, M.; LÓRAN, S.; CONCHELLO, P.; GÁRCIA, D.; PÁGAN, R. Chemical composition of commercial citrus fruit essential oils and evaluation of their antimicrobial activity acting alone or in combined processes. **Food Control**, United Kingdom, v. 22, n. 6, p. 896- 902, June 2011. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0956713510003944. Acesso em: 06 set. 2023.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION. **Analytica EBC**. 5th ed. Nürnberg: Fachverlag Hans Carl, 2010

GARCIA-CRUZ, C. H.; FOGGETTI, U.; SILVA, A. N. da. Alginato bacteriano: aspectos tecnológicos, características e produção. **Química Nova**, São Paulo, v. 31, n. 7, p. 1800-1806, 2008. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/FGdLPpfgDyw7KJgFXxW8LZC/?format=html&lang=pt. Acesso em: 08 mar. 2022.

GARSHOL, L. M. **Historical brewing techniques**: the lost art of farmhouse brewing. Boulder: Brewers Publications, 2020.

GERHAUSER, C. Beer constituents as potential cancer chemopreventive agents. **European Journal of Cancer**, United Kingdom v. 41, n. 13, p. 1941–1954, set. 2005. Disponível em: https://www.ejcancer.com/article/S0959-8049(05)00330-8/abstract. Acesso em: 08 mar. 2022.

HORNSEY, I. S. **A history of beer and brewing**. Cambridge: Royal Society of Chemistry, 2003.

HUANG, D.; OU, B.; PRIOR, R. L. The chemistry behind antioxidant capacity assays. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, United States, v. 53, n. 6, p. 1841–1856, Mar. 2005. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/15769103/. Acesso em: 09 mar. 2022]

HYLDGAARD, M.; MYGIND, T.; MEYER, R. L. Essential oils in food preservation: mode of action, synergies, and interactions with food matrix components. **Frontiers in Microbiology**, United States, v. 3, n.12, p.1-24, Jan. 2012. Disponível em: https://www.frontiersin.org/journals/microbiology/articles/10.3389/fmicb.2012.00012/full. Acesso em: 08 mar. 2022.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ. **Métodos físico-químicos para análise de alimentos**. 4. ed. São Paulo: IAL, 2008. E-book. Disponível em: https://www.ial.sp.gov.br/resources/editorinplace/ial/2016_3_19/analisedealimentosial_2008.pdf. Acesso em: 08 mar. 2022.

KIM, D. O.; JEONG, S. W.; LEE, C. Y. Antioxidant capacity of phenolic phytochemicals from various cultivars of plums. **Food Chemistry**, Netherlands, v. 81, n. 3, p. 321–326, June 2007. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0308814602004235. Acesso em: 08 mar. 2022.

KUNZE, W. **Technology brewing and malting**. 4th ed. Berlin: VLB Berlin, 2004.

MCGOVERN, P. E. **Uncorking the past**: the quest for wine, beer, and other alcoholic beverages. Berkeley: University of California Press, 2009.

MORADO, R. **Larousse da cerveja**: a história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo**.** São Paulo: Alaúde, 2009.

MOSHER, R. **Radical brewing**: recipes, tales, and world-altering meditations in a glass. Boulder: Brewers Publications, 2004.

NARDINI, M.; GARAGUSO, I. An overview of bioactive phenolic molecules and antioxidant properties of beer: emerging trends**. Molecules**, Switzerland, v. 28, n. 7, e3221, p. 1- 29, 2023. Disponível em: https://www.mdpi.com/1420-3049/28/7/3221. Acesso em: 10 dez. 2023.

NEVE, R. A. **Hops**. London: Chapman and Hall, 1991.

REITENBACH, A. F. **Desenvolvimento de cerveja funcional com adição de probiótico:** *Saccharomyces boulardii*. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Alimentos) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/93745. Acesso em: 08 mar. 2022.

RUFINO, M. do S. M.; ALVES, R. E.; BRITO, E. S. de; MORAIS, S. M. de; SAMPAIO, C. de G.; PÉREZ-JIMÉNEZ, J.; SAURA-CALISTO, F. D. **Metodologia científica: determinação da atividade antioxidante total em frutas pela captura do radical livre ABTS**. Foraleza: Embrapa Agroindústria Tropical, 2007. p.1-4. (Comunicado Técnico, v.128*)*. Disponível em: https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/426954. Acesso em: 01 jun. 2022.

SANTOS, A.; DINHAM, B. **The bitter taste of success**: the case of beer multinationals in Latin America. London: Food & Drink Report, 2006.

SHAHIDI, F.; ZHONG, Y. Lipid oxidation and improving the oxidative stabilit. **Chemical Society Reviews**, United Kingdom, v. 39, n. 11, p. 4067-4079, Nov. 2010. Disponível em: https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/20617249/. 01 jun. 2022.

SHAHIDI, F.; AMBIGAIPALAN, P. Phenolics and polyphenolics in foods, beverages and spices: Antioxidant activity and health effects: a review. **Journal of Functional Foods**, United States, v. 18, n. 8, p. 820-897, Oct. 2015. Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1756464615003023. Acesso em: 01 jun. 2022.

SILVA, C. G. F.; LOIOLA JÚNIOR, J. B. Crescimento do mercado de cervejas artesanais no Brasil. **Revista Científica e-Locução**, [Extrema], v. 10, n. 20, P. 89-108. 2021. Disponível em: https://periodicos.faex.edu.br/index.php/e-Locucao/article/view/385. Acesso em: 01 jun. 2022.

SILVA, J. B. A. Cerveja. *In*: VENTURINI FILHO, W. G. (coord.). **Tecnologia de bebidas**. São Paulo: Edgar Blücher, 2005. cap. 15, p. 353.

SINGLETON, V. L.; ORTHOFER, R.; LAMUELA-RAVENTÓS, R. M. Analysis of total and other oxidation substrates and antioxidants by means of folin-ciocalteu reagente. In: Lowenstein, J. M. (ed.). Lipids. Amsterdam: Elsevier, 1999. chap. 14, p. 152- 178. (Methods in enzymoly, v. 299). Disponível em: https://www.sciencedirect.com/science/chapter/bookseries/abs/pii/S0076687999990171. Acesso em: 01 jun. 2022.

STEWART, G. A. Brewing materials and processes *In*: BAMFORT, C. W. (ed.). **Brewing materials and processes**: a practical approach to beer excellence. Nova York, Academic Press, 2016. chap. 2, p. 27- 46*. E-book*.

SWAIN, T.; HILLIS, W. E. The phenolic constituents of *Prunus domestica*. I. the quantitative analysis of phenolic constituents. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, United States, v. 10, n. 1, p. 63–68, Jan. 1959. Disponível em: https://scijournals.onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/jsfa.2740100110. Acesso em: 05 mar. 2022.

ZHAO, H ; CHEN, W.; LU, J.; ZHAO, M. Phenolic profiles and antioxidant activities of commercial beers. **Food Chemistry**, United States, v. 119, n. 3, p. 11150- 11158, Apr. 2010. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/223743553_Phenolic_profiles_and_antioxidant_activities_of_commercial_beers. Acesso em: 05 mar. 2022.

APÊNDICE A- ANÁLISE DE VARIÂNCIA (ANOVA)

As variáveis físico-químicas da cerveja com diferentes volumes de óleo essencial

		EXTRATO_S E	TEOR_DE_A L	GRAU_SACA R	GRAU_DE_F E	ACIDEZ_T O T
AMOSTRA	5	33,9015	1,4919	45,7135	6385,8710	10,0718
Erro	24	1,8578	0,0483	4,8883	117,7692	0,0402
CV (%)		19,66	6,15	17,55	9,31	3,73
Média geral		6,93	3,57	12,59	116,60	5,37

Fonte: elaborada pela autor (2025).

APÊNDICE B- ANOVA, COEFICIENTE DE VARIAÇÃO (CV) E MÉDIA GERAL

Para acidez volátil, ph e parâmetros de cor em cervejas com adição de óleo essencial

FV	GL	QM				
		ACIDEZ_VOL	PH	INDICE_DE COR	COR_EBC	COR_SRM
AMOSTRA	5	2,2410	0,4875	0,9944	142,4833	36,7700
Erro	24	0,0090	0,0033	0,2436	0,7511	0,1938
CV (%)		5,71	1,23	0,64	7,22	7,22
Média geral		1,66	4,70	77,57	12,00	6,09

Fonte:elboradora pela autora (2025).

FV	GL	QM	
		ACIDEZ_FIXA	COMP FENOL
AMOSTRA	5	7.6782	1519,5234
Erro	24	0.0488	113,3763
CV (%)		5.95	5,80
Média geral		3.71	67,38

Fonte:elboradora pela autora (2025).