

ESCOLA POLITÉCNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS
MESTRADO EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DOS MATERIAIS

LUCIANO DA SILVA MÜLLER

**ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DA CERVEJA ARTESANAL PRODUZIDA
COM E SEM O ÓLEO ESSENCIAL DO LÚPULO**

Porto Alegre
2021

PÓS-GRADUAÇÃO - *STRICTO SENSU*



Pontifícia Universidade Católica
do Rio Grande do Sul



ESTUDO COMPARATIVO DAS PROPRIEDADES DA CERVEJA ARTESANAL PRODUZIDA COM E SEM O ÓLEO ESSENCIAL DO LÚPULO

LUCIANO DA SILVA MÜLLER
ENGENHEIRO QUÍMICO

ORIENTADOR: PROF^o. DR. EDUARDO CASSEL

Dissertação realizada no Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais (PGETEMA) da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia e Tecnologia de Materiais.

Porto Alegre
Outubro, 2021

AGRADECIMENTOS

Ao Profº Dr. Eduardo Cassel que me ajudou, pacientemente, na conclusão desse trabalho por meio de incentivos, cobranças e organização. Não fosse pelo meu orientador, esse trabalho não teria o resultado final esperado.

À empresa que me proporcionou conteúdo bibliográfico, mas também toda estrutura tecnológica da unidade para realizar muitos dos experimentos necessários para obtenção do produto final, assim como caracterização do mesmo.

Aos colegas do LOPE que, também pacientemente, me auxiliaram ao longo dessa jornada com a organização e execução das atividades do dia a dia e, nesse caso, cito os nomes do Victor Hugo Rodrigues e Rafael Nobilos Almeida.

Por fim, lembrando que o presente trabalho foi alcançado em cooperação com a Hewlett-Packard Brasil Ltda. e com recursos provenientes da Lei de Informática (Lei nº 8.248, de 1991) e pela parceria com o CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), ambas as frentes fundamentais para o desenvolvimento desse projeto.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	10
2.	OBJETIVOS	13
2.1.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	13
3.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
3.1.	LÚPULO (<i>Humulus lupulus</i> L.)	14
3.2.	ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO	16
3.2.1.	Destilação por arraste a vapor	17
3.2.2.	Extração por CO₂ supercrítico	18
3.3.	CERVEJA E SEU PROCESSO PRODUTIVO.....	19
3.3.1.	Contexto histórico	19
3.3.2.	Processo produtivo	22
3.3.3.	Tipos de cerveja	26
3.4.	ANÁLISES QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS.....	29
3.4.1.	Cromatografia Gasosa	29
3.4.2.	Sensorial	30
4.	MATERIAIS E MÉTODOS	40
4.1.	EXTRAÇÕES.....	40
4.1.1.	Destilação por arraste a vapor	40
4.1.2.	Extração por CO₂ supercrítico	42
4.2.	PRODUÇÃO DE CERVEJA	43
4.3.	ANÁLISES DO ÓLEO ESSENCIAL E DA CERVEJA	44
4.3.1.	Cromatografia Gasosa/Espectrometria de massas	44
4.3.2.	Análise Sensorial	44
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47
5.1.	VOLUMES DE EXTRAÇÃO E RENDIMENTO	47
5.2.	ANÁLISES DE CROMATOGRAFIA GASOSA	49
5.3.	ANÁLISE SENSORIAL DA CERVEJA	51
5.3.1.	Análise Sensorial com óleo extraído por arraste a vapor	52
5.3.2.	Análise Sensorial com óleo extraído por CO₂ supercrítico	55
6.	CONCLUSÕES	58
7.	REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO	59

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 - Principais regiões produtoras de lúpulo	10
Figura 1.2 - Locais e quantidade de plantações de lúpulo no Brasil.....	11
Figura 3.1 - Esquema da flor fêmea do lúpulo (<i>Humulus lupulus</i> L.)	14
Figura 3.2 - Glândulas de lupulina fixadas nas brácteas de inflorescências	15
Figura 3.3 – Aparelhagem usa em processo de extração por arraste a vapor.	17
Figura 3.4 - Equipamento de extração supercrítica em escala piloto.....	19
Figura 3.5 - Contexto histórico do surgimento da cerveja.....	21
Figura 3.6 - Processo produtivo da fabricação de cerveja.....	22
Figura 3.7 - Os tipos e subtipos de cerveja	28
Figura 3.8 - Esquema do equipamento de CG	30
Figura 4.1 - Extrator por arraste a vapor do pellet de lúpulo Hallertau Magnu.	41
Figura 4.2 - Disposição das bancadas para análise sensorial	45
Figura 5.1 - Avaliação qualitativa das amostras de cerveja com pellet e com quantidades diferentes de óleo essencial de lúpulo extraído por arraste a vapor	52
Figura 5.2 - Caracterização das amostras das seis bateladas da produção com pallet e óleo essencial de lúpulo por arraste a vapor.....	53
Figura 5.3 - Avaliação qualitativa das amostras de cerveja com pellet e com quantidades diferentes de óleo essencial de lúpulo extraído por supercrítico .	55
Figura 5.4 - Caracterização das amostras das seis bateladas da produção com pallet e óleo essencial de lúpulo por fluido supercrítico.....	56

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 - Classificação das cervejas no Brasil	29
Tabela 3.2 - Principais atributos encontrados na análise sensorial de uma cerveja	31
Tabela 3.3 - Escala de avaliação na análise sensorial de um perfil de cerveja	39

LISTA DE QUADROS

Quadro 3.1 - Características físico-químicas dos óleos essenciais	16
Quadro 5.1 - Volume de óleo extraído na destilação por arraste a vapor	47
Quadro 5.2 - Volume de óleo extraído na destilação por fluído supercrítico	48
Quadro 5.3 - Resultado das análises de CG das amostras de óleo essencial extraído em cada um dos métodos de extração	49

LISTA DE SIGLAS E ABREVIações

APROLÚPULO – Associação Brasileira de Produtores de Lúpulo

CG – cromatografia gasosa

CG/O – cromatografia gasosa/olfatométrica

CO₂ – dióxido de carbono

Cu²⁺ – íon de Cobre

EM – espectrometria de massas

Fe²⁺ – íon de Ferro

FM – frequência modificada

LOPE – Laboratório de Operações Unitárias

MAPA – Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento

Na₂SO₄ – sulfato de sódio

OE – óleo essencial

RESUMO

O *Humulus lupulus* L., também conhecido como lúpulo, caracteriza-se por ser uma planta utilizada na fabricação de cervejas, principalmente, porque apresenta propriedades aromáticas e de amargor que são incorporadas à bebida. Assim como em diversas as plantas, os óleos essenciais podem ser extraídos do lúpulo e introduzidos à bebida com o objetivo de promover o aroma que é percebido na cerveja. Sendo assim, este trabalho visa extrair óleo essencial de lúpulo por meio de dois métodos, arraste a vapor e extração com CO₂ supercrítico, avaliar o rendimento e a composição dos extratos voláteis e produzir cervejas tipo Pilsen com esses compostos, variando as quantidades de extrato entre 0,5 mL a 10,0 mL no produto final. A partir disso, uma análise sensorial do produto final foi realizada por uma banca especializada a fim de comparar a qualidade dessas amostras e a confirmação da possível substituição do *pellet* de lúpulo pelo óleo essencial. Como resultado final, esse projeto utilizou apenas o óleo essencial extraído do método por arraste a vapor por ser mais rápido e menos complexa sua separação com os demais compostos presentes nos produtos desses processos, mesmo que o rendimento de extração por fluido supercrítico seja maior e melhor em relação a aquele. Em relação a produção de cerveja, percebeu-se que, entre as quantidades de óleo essencial de lúpulo adicionado à cerveja, a faixa volumétrica que varia entre 1,0 mL e 5,0 mL confere um produto de qualidade, validado por análises sensoriais. Somado a isso, os componentes majoritários do óleo essencial do lúpulo são o mirceno, o α -humuleno e o β -farneceno, para os dois métodos de extração utilizados, conseqüentemente são os compostos que conferem propriedades à cerveja como amargor, aroma e frescor.

Palavras-Chave: análise sensorial; cerveja; cromatografia gasosa; extração; lúpulo; óleo essencial.

ABSTRACT

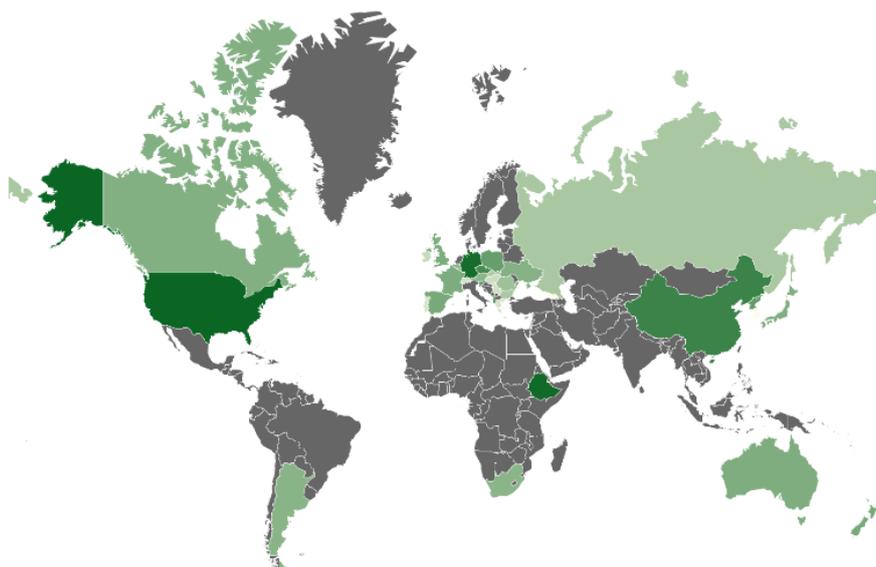
Humulus lupulus L., also known as hops, is characterized by being a plant used in the manufacture of beer, mainly because it has aromatic and bitterness properties that are incorporated into the drink. As in many plants, essential oils can be extracted from hops and introduced to the drink in order to promote the aroma that we perceive in beer. Therefore, this work aims to extract essential oil from hops using two methods, steam drag and supercritical CO₂ extraction, evaluate the yield and composition of volatile extracts and produce Pilsen beers with these compounds, varying the amounts of extract between 0.5 mL to 10.0 mL in the final product. Afterwards, a sensory analysis of the final product was carried out by a specialized panel in order to compare the quality of these samples and confirm the possible replacement of the hop pellet by the essential oil. As a final result, this project used only the essential oil extracted from the steam-drag method as its separation with the other compounds present in the products of these processes is faster and less complex, even if the yield of a supercritical fluid method is higher and better compared to that one. Regarding beer production, it was noticed that, among the amounts of hop essential oil added to beer, the volumetric range that varies between 1.0 mL and 5.0 mL provides a quality product, validated by sensory analysis. Added to this, the major components of the essential oil of hops are myrcene, α -humulene and β -farnecene, for the two methods of extraction used, consequently, they are the compounds that give properties to beer such as bitterness, aroma and freshness.

Key Words: beer; gas chromatography; essential oil; extraction; hop; sensorial analysis.

1. INTRODUÇÃO

O Lúpulo (*Humulus lupulus* L.) pertence à família *Cannabaceae*, tendo o seu cultivo em zonas geográficas temperadas, ou seja, regiões entre os trópicos e círculos polares com estações de inverno e verão bem definidas, tendo uma grande importância econômica nesses locais onde é plantado como é mostrado na Figura 1.1 (FARAG & WESSJOHANN, 2012).

Figura 1.1 - Principais regiões produtoras de lúpulo (quanto mais forte a coloração verde, mais propícia as condições climáticas para cultivo da planta)



Fonte: (FARAG & WESSJOHANN, 2012)

O amargor e o aroma da planta são devidos à existência de resinas e óleos essenciais, principalmente nas flores fêmeas, o que justifica seu uso na produção da cerveja, sendo um dos ingredientes principais nesse processo. As flores são comercializadas secas e trituradas ou, também, comprimidas, formando os pellets, também utilizados pelos cervejeiros (BERNOTIENĖ, NIVINSKIENĖ, BUTKIENĖ, & MOCKUTĖ, 2004).

A produção dessa matéria-prima apresenta uma tendência de crescimento no mercado brasileiro para atender à crescente demanda interna. No Brasil, em 2020, foram registradas mais de 1.383 novas cervejarias no

Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento, o que corresponde a um aumento de 14,4% em relação ao ano anterior (MAPA, 2021).

Nesse mesmo contexto, o volume de vendas de cerveja no país teve um crescimento anual de 5,3% em 2020, vindo de um avanço de 3,5% em 2019. Mesmo as vendas nos bares e restaurantes caindo 2,2% devido à pandemia, houve uma compensação de crescimento de 17,6% nas vendas do chamado "off-trade", que inclui supermercados e comércio eletrônico, caracterizando o consumo dentro de casa com novas exigências por parte dos clientes (ALVARENGA, 2021).

Para que tal cenário de inovação e de novas experiências seja criado ao consumidor, foram necessários estudos sobre novas receitas e novos ingredientes a serem incorporados às cervejas tradicionais. Sendo assim, a formulação de novas culturas de lúpulos e a forma como esse insumo é adicionado ao produto final tiveram variações significativas. Não é à toa que em 2020 a produção e o cultivo do lúpulo aumentaram em 110%, quando comparados aos anos anteriores, com o surgimento de novas fazendas na região brasileira, como é mostrado na Figura 1.2 (APROLÚPULO, 2021). A aplicação do óleo essencial extraído dessa planta também vem se tornando mais comum e presente no processo produtivo da cerveja comercial e artesanal.

Figura 1.2 - Locais e quantidade de plantações de lúpulo no território brasileiro



Fonte: (APROLÚPULO, 2021)

Neste trabalho, o objetivo é extrair o óleo essencial de lúpulo da variedade *Hallertau Magnum*, em forma de *pellet*, que possui uma elevada concentração de α -ácidos. Os métodos de extração utilizados neste estudo foram dois: extração com CO₂ supercrítico e destilação por arraste a vapor, onde os extratos voláteis obtidos foram analisados por cromatografia gasosa com detector de espectrometria de massas (CG/EM). Os óleos essenciais de lúpulo, obtidos por ambos os processos foram utilizados na formulação e produção de uma cerveja do tipo Pilsen. Para avaliar a qualidade da cerveja produzida foram realizados ensaios sensoriais, visando avaliar e comparar o produto convencional com os produtos produzidos com óleo essencial de lúpulo.

2. OBJETIVOS

O objetivo do trabalho é extrair o óleo essencial do lúpulo tipo *Hallertau Magnum* pelos métodos de extração por arraste a vapor e extração com CO₂ supercrítico e utilizar estes extratos voláteis na produção de cerveja do tipo Pilsen. As cervejas produzidas são avaliadas e comparadas com a cerveja produzida pelo método convencional através de análises sensoriais.

2.1. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

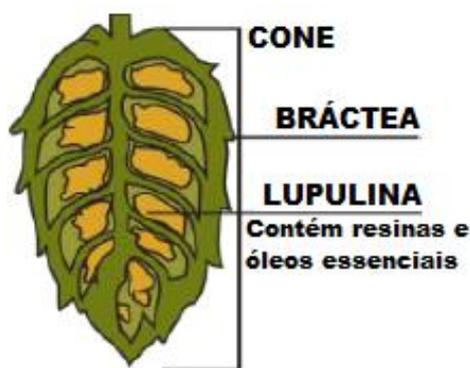
- Extrair o óleo essencial dos *pellets* do lúpulo do tipo *Hallertau Magnum* através da técnica de destilação por arraste a vapor;
- Extrair o óleo essencial dos *pellets* do lúpulo do tipo *Hallertau Magnum* através da técnica de extração com CO₂ supercrítico;
- Determinar a composição química dos óleos essenciais de lúpulo via cromatografia gasosa acoplada a um detector de espectrometria de massas (CG/MS).
- Fabricar cervejas do tipo Pilsen com adição do *pellet* de lúpulo *Hallertau Magnum*, via método convencional, do extrato volátil de lúpulo produzido por arraste a vapor e do extrato de lúpulo produzido por extração com CO₂ supercrítico.
- Comparar as diferentes cervejas produzidas quantitativa e qualitativamente por meio análises sensoriais, seguindo os padrões da indústria cervejeira.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. LÚPULO (*Humulus lupulus* L.)

O lúpulo (*Humulus lupulus* L.) é uma planta de importância econômica, sendo que seu uso na fabricação de cerveja ocorreu a partir de 1079, apesar de suas primeiras colheitas possuírem um registro de datação em meados de 200 d.C (MOIR, 2000). Essa matéria-prima confere amargor e aroma aos diferentes tipos de cervejas. Todos os compostos importantes encontram-se nas inflorescências de plantas femininas do lúpulo, chamadas de cone (Figura 3.1).

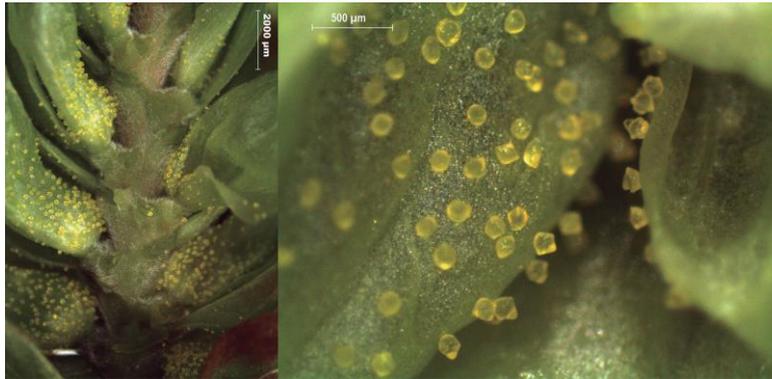
Figura 3.1 - Esquema da flor fêmea do lúpulo (*Humulus lupulus* L.)



Fonte: (CONDADO DA CERVEJA, 2016)

Nesses cones são produzidas resinas que são peculiares ao lúpulo e que não são encontradas em outras espécies de plantas. As resinas são produzidas em glândulas de lupulina presentes nos tricomas das brácteas das inflorescências (Figura 3.2). Plantas masculinas também possuem glândulas de lupulina em seus cones, porém em pequena quantidade. Por esse motivo, em plantios comerciais são utilizadas somente plantas femininas (SPÓSITO, ISMAEL, BARBOSA, & TAGLIAFERRO, 2019).

Figura 3.2 - Glândulas de lupulina fixadas nas brácteas de inflorescências de plantas



Fonte: (SPÓSITO, ISMAEL, BARBOSA, & TAGLIAFERRO, 2019)

Entre os compostos presentes nas resinas produzidas pelas glândulas de lupulina estão o alfa e beta-ácidos, responsáveis pelo amargor da cerveja, e os óleos essenciais, responsáveis pelo aroma da cerveja. Nas resinas, a quantidade de alfa-ácidos pode variar entre 3 e 17% e de beta-ácidos entre 3 e 7% (SPÓSITO, ISMAEL, BARBOSA, & TAGLIAFERRO, 2019). Quando adicionado no início da fervura, os α -ácidos presentes no lúpulo são isomerizados, devido à exposição a altas temperaturas, formando iso- α -ácidos. Estes, por sua vez, são considerados mais amargos e são responsáveis por 70% do amargor presente na cerveja. Para a contribuição dos óleos essenciais na cerveja, o lúpulo é adicionado no final da fervura para que os compostos voláteis não evaporem, devido à alta volatilidade (SILVA & FARIA, 2008).

Durante o processo de fabricação de cervejas, a isomerização dos alfa-ácidos em iso-alfa-ácidos solúveis ocorre a partir da adição dos cones para a fervura do mosto. A porcentagem de isomerização dos alfa-ácidos em iso-alfa-ácidos está relacionada ao período em que os cones são fervidos no mosto. Portanto, o grau de amargor da cerveja está diretamente relacionado à quantidade de iso-alfa-ácidos. Períodos mais prolongados de fervura resultam na isomerização de um maior percentual de alfa-ácidos disponíveis. A maioria das variedades de lúpulo apresenta uma relação de humulona de 35 a 70 % dos alfa-ácidos, cohumulona de 20 a 55% dos alfa-ácidos e adhumulona de 10 a 15% dos alfa-ácidos. Lúpulos que conferem amargor à cerveja apresentam alto índice de alfa-ácidos, entre 10 a 15%. Um lúpulo de amargor com alta qualidade

contém menos que 25% de cohumulona (SPÓSITO, ISMAEL, BARBOSA, & TAGLIAFERRO, 2019).

3.2. ÓLEOS ESSENCIAIS E SEUS MÉTODOS DE EXTRAÇÃO

Óleos essenciais (OE) são extraídos de plantas através de técnicas como arraste a vapor, na grande maioria das vezes, mas também por métodos como extração com fluidos supercríticos. São compostos, principalmente de mono e sesquiterpenos e de fenilpropanoides, metabólitos que conferem suas características organolépticas. Flores, folhas, cascas, rizomas e frutos são matérias-primas para sua produção. Possuem grande aplicação na perfumaria, cosmética, alimentos e como coadjuvantes em medicamentos. O Brasil tem lugar de destaque na produção de OE, ao lado da Índia, China e Indonésia, que são considerados os quatro grandes produtores mundiais (BIZZO, 2009).

Os OE apresentam as seguintes características, como se observa no Quadro 3.1, do ponto de vista físico-químico:

Quadro 3.1 - Características físico-químicas dos óleos essenciais

ÓLEOS ESSENCIAIS
Aparência oleosa à temperatura ambiente
Aroma agradável e intenso da maioria dos óleos
Solúveis em solventes orgânicos apolares
Pouca solubilidade em água, formando soluções aquosas denominadas hidrolatos
Sabor, geralmente ácido e picante
A maioria possui índice de refração e são opticamente ativos

Fonte: (SIMÕES, 1999)

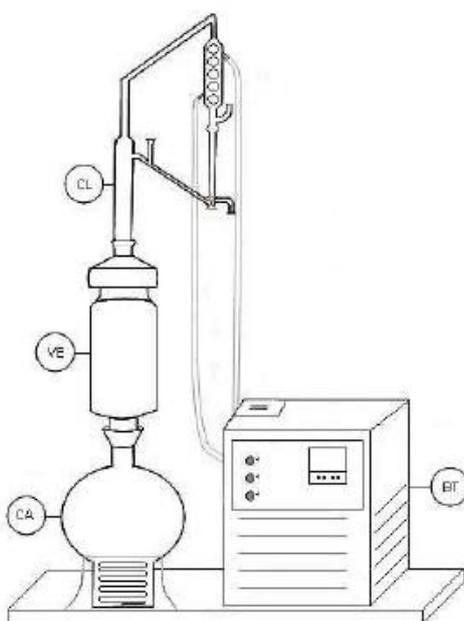
A extração dos óleos essenciais é possível de ser realizado por meio de diversos métodos: hidrodestilação, destilação por arraste a vapor, extração com solvente orgânico, extração com fluido supercrítico, sendo que, dependendo do método e das condições escolhidas, as propriedades do óleo essencial extraído

acabaráo sendo afetadas (COSTA, 2012). No que tange esse trabalho, optou-se pela destilação por arraste a vapor e pela extração com dióxido de carbono supercrítico.

3.2.1. Destilação por arraste a vapor

A destilação por arraste a vapor é a técnica mais utilizada para a extração dos OE dos mais variados tipos de plantas. A grande vantagem desse processo é ser um método simples e barato, quando comparado a métodos que exigem um maior investimento em tecnologia como a extração com fluidos supercríticos. O processo basicamente consiste na geração de uma corrente de vapor de água que percorre o vaso de extração, onde há um leito de plantas. Em seguida, a mistura água e óleo essencial, na fase vapor, é inserida em um condensador, onde o vapor é liquefeito. A diferença de solubilidade entre a água e o óleo essencial permite a separação destes em duas fases líquidas, uma fase óleo (óleo essencial) e uma fase água (CASSEL & VARGAS, 2006), como ilustra a Figura 3.3.

Figura 3.3 – Esquema da aparelhagem usa em processo de extração por arraste a vapor



Fonte: (CASSEL & VARGAS, 2006)

3.2.2. Extração por CO₂ supercrítico

Com o passar dos anos, novas tecnologias foram implementadas para a extração de óleos essenciais. Uma delas se baseia no uso de solventes orgânicos, garantindo maior rendimento quando comparado com a extração por arraste a vapor, por exemplo, porém esses podem ocasionar em uma diminuição da qualidade do produto e também são de difícil separação entre soluto e solvente. Sendo assim, a técnica de extração com fluido supercrítico ganhou mais espaço e vem sendo uma alternativa, pois os fluidos utilizados geralmente são gases a temperatura e pressão ambiente e com isso a separação do produto é facilmente realizada. Além do que o alto rendimento e a seletividade também são vantagens da técnica, apesar do alto investimento inicial necessário para sua implantação (QUEIROZ, 2001).

O principal solvente utilizado por essa metodologia é o dióxido de carbono (CO₂), sendo quase que uma escolha padrão na aplicação em processos envolvendo produtos naturais (GARCEZ, 2016). Quando comparados aos métodos tradicionais de extração e separação, verifica-se que o processo em questão apresenta propriedades importantes (SERAFINI & BARROS, 2001). Dentre essas se tem:

- elevado potencial de solubilização de compostos orgânicos de médios e elevados pesos moleculares;
- baixas temperaturas críticas e pressão críticas (31,2°C e 73,4 bar para o CO₂ por exemplo) de determinados solventes supercríticos;
- eficiência energética do processo;
- alto rendimento e baixo custo de manutenção operacional;
- facilidade de separação solvente/extrato

Na Figura 3.4 é apresentado um dos equipamentos de extração supercrítica instalado no Laboratório de Operações Unitárias da Escola Politécnica da PUCRS.

Figura 3.4 - Equipamento de extração supercrítica em escala piloto instalado no Laboratório de Operações Unitárias da Escola Politécnica da PUCRS



Fonte: o autor

3.3. CERVEJA E SEU PROCESSO PRODUTIVO

3.3.1. Contexto histórico

Atualmente, com o conhecimento sobre o processo produtivo de cerveja, acredita-se que em épocas muito distantes a produção dessa bebida tenha sido ao acaso. Isso tudo é baseado no uso do pão e sua fermentação pelos povos antigos, uma vez que tem muita semelhança com os insumos que hoje em dia são utilizados (MORADO, 2011).

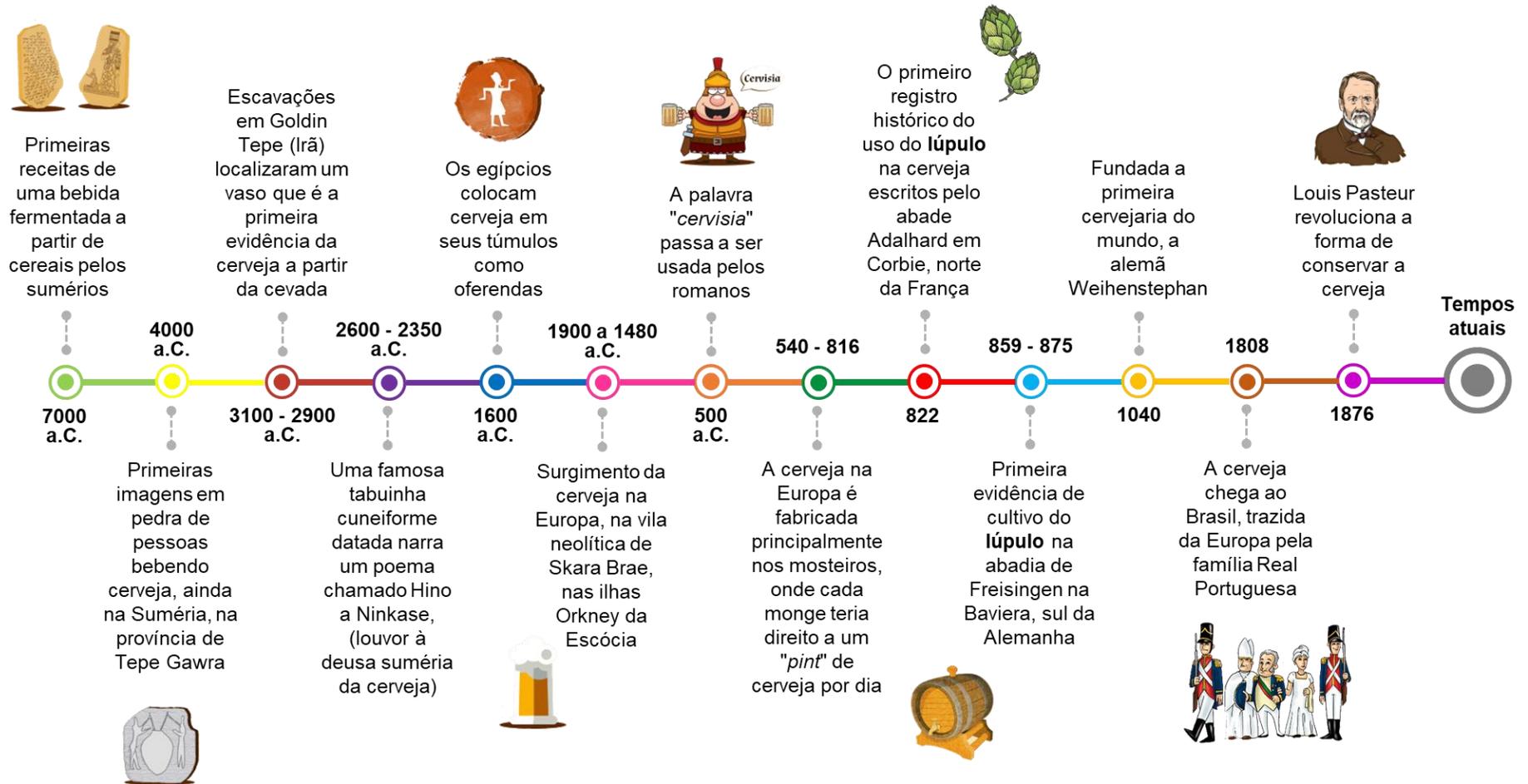
Registros anteriores à escrita, como desenhos rupestres e símbolos primitivos, remetem à produção de uma bebida semelhante à cerveja. Há cerca de 8 mil anos, os sumérios e os assírios desenvolveram a arte de fabricar cerveja. Tempos depois, a bebida alcançou o Egito e, nesse local, outras variações passaram a ser produzidas como, por exemplo, a Cerveja dos Notáveis e a Cerveja de Tebas. Além disso, os egípcios tiveram papel importante na divulgação da cerveja entre os povos orientais e a difundiram na Bacia do Mediterrâneo e, de lá, para o resto da Europa (FERREIRA, VASCONCELOS, JUDICE, & NEVES, 2011).

A introdução do lúpulo na produção da cerveja se deu durante a Idade Média, momento em que os mosteiros fabricavam cerveja, empregando diversas ervas para aromatizá-la como mirica, alecrim, louro, sálvia e gengibre. Além disso, a variação da proporção entre os ingredientes (água, malte, lúpulo e leveduras) e do processo de fabricação resultavam em diferentes tipos de cerveja (BITU, 2009). A partir de então, a arte de fazer cerveja se espalhou pela Europa (inclusive na Escandinávia e nas ilhas britânicas), mas foi na região dos Alpes que se concentraram fabricantes tradicionais (especialmente no sul da Alemanha – Baviera –, na Eslováquia, na República Tcheca e na Áustria). Há cervejas até hoje fabricadas cuja fórmula data de mais de 900 anos. A cerveja se tornou extremamente popular e criou fortes raízes culturais nessas regiões (MORADO, 2011).

No que tange ao Brasil, a cerveja chegou junto com os colonizadores europeus; inúmeros comerciantes se instalaram no país e começaram a vender a bebida que até então era desconhecida, influenciando os costumes da época. O início da produção de cerveja no Brasil não pode ser datado com precisão, porém o primeiro documento conhecido é um anúncio de venda de cerveja brasileira no Jornal do Comércio do Rio de Janeiro de 27 de outubro de 1836. Nessa época, havia poucas cervejarias, todas artesanais, com produção em pequena escala. A partir de 1860, novas cervejarias surgiram e a produção da bebida aumentou até a Primeira Guerra Mundial, período em que não era possível obter malte e lúpulo, oriundos da Alemanha e Áustria. Desde então, o país é uma das referências em cervejarias artesanais, assim também como mercado consumidor (SANTOS, 2003).

Todo o processo histórico mundial e brasileiro, com os principais acontecimentos durante os anos, é brevemente resumido na Figura 3.5.

Figura 3.5 - Contexto histórico do surgimento da cerveja



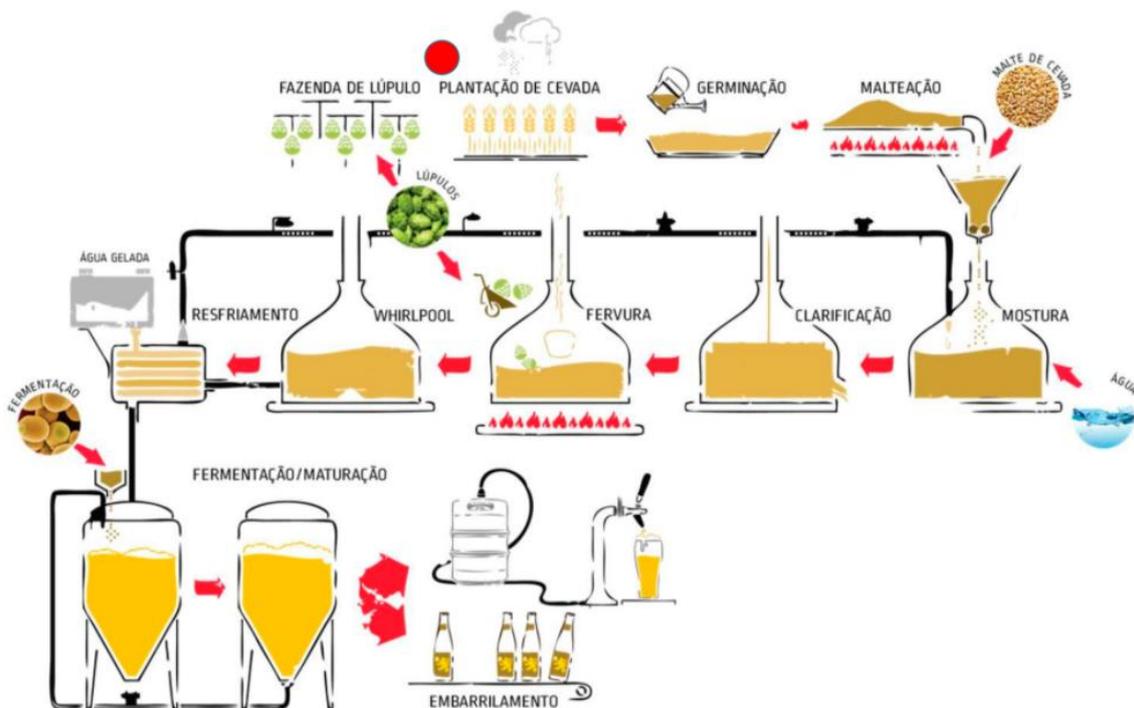
Fonte: o autor

3.3.2. Processo produtivo

Não se pode começar a falar em processo produtivo da cerveja sem antes referenciar a escolha e tratamento dos insumos empregados ao longo das fases de produção. Após a colheita, os grãos de cevada são enviados para as maltarias, onde são submetidos à germinação controlada. Esse processo induz os vegetais a produzirem um arsenal enzimático, entre os quais as amilases. Essas enzimas são responsáveis por reduzir o amido em açúcares fermentescíveis e, conseqüentemente, o desenvolvimento microbiano fundamental para a fase de fermentação da fabricação de cerveja (ZUPPARDO, 2010).

Independente se for em escala industrial ou caseira, após a escolha dos insumos e sua preparação, a fabricação propriamente dita contém etapas bastante características, seja qual for o tipo de cerveja que se queira produzir ao final do processo (Figura 3.6).

Figura 3.6 - Processo produtivo da fabricação de cerveja



Fonte: (CONDADO DA CERVEJA, 2016)

Tudo começa com a etapa da brasagem, ou seja, adição de água ao malte e adjuntos previamente moídos, os quais são, normalmente, produtos do beneficiamento de cereais ou de outros vegetais ricos em carboidratos. Aliás, em quantidade, a água é o principal componente da cerveja e suas propriedades são fatores mais significativos na qualidade final do produto. Essa mistura é cozida e, durante o processo de fervura, o amido do malte é transformado em açúcar. Nessa etapa temos então a formação de um líquido turvo e grosso, conhecido como mosto (CARVALHO, BENTO, & SILVA, 2006).

A etapa da fervura é essencial para esterilização da cerveja. Como é um processo que dura, em média, uma hora e meia, a evaporação da água resulta na concentração do líquido. Nesta etapa é adicionado o lúpulo, responsável pelo amargor e aroma, além de auxiliar na conservação da cerveja. O controle da temperatura é essencial para a conversão do amido presente no cereal em substâncias digeríveis pelas leveduras e para inativação das enzimas que podem extrair substâncias não desejáveis no produto final (SILVA & FARIA, 2008). O mosto é filtrado e novamente fervido. O objetivo é separar o bagaço da cevada do líquido rico em açúcares. Para isso, utiliza-se um elemento filtrante (peneira ou filtro). Nesta etapa é indicado fazer a recirculação deste líquido que tem como objetivo aumentar a eficiência do processo (HUGHES, 2014). Resumidamente, a brassagem é composta dos seguintes passos:

- Moagem do malte e dos ingredientes adjuntos em moinhos de rolos ou martelo, onde há ruptura da casca e liberação do material amiláceo (amido);
- Mistura com água;
- Aquecimento para facilitar a dissolução (mosturação);
- Transformação do amido em monossacarídeos (glicose) pelas enzimas do malte. A temperatura máxima é 72°C para evitar a inativação (desnaturação) das enzimas;
- Filtração para separar as cascas do malte e dos adjuntos (tina de clarificação ou filtro prensa) e lavagem da torta (que é o açúcar fermentável). Depois de filtrada, a mostura passa a denominar-se mosto;
- Adição do lúpulo;

- Fervura do mosto para dissolução do lúpulo – solubilização de óleos essenciais (aroma) do lúpulo e isomerização dos alfa-hidroxiácidos em isoalfa-hidroxiácidos (a extensão dessa isomerização é responsável pela regulação do amargor da cerveja) – e esterilização;
- Resfriamento, feito em trocadores de calor (9°C a 15°C), seguido de aeração (introdução forçada de O₂ atmosférico) – condições ideais para a levedura realizar a fermentação (CARVALHO, BENTO, & SILVA, 2006).

Passando para a fase de fermentação, após o resfriamento, o mosto recebe fermento (levedura) e é acondicionado em grandes tanques, chamados fermentadores ou dornas. As leveduras consomem os carboidratos fermentáveis, produzindo etanol e CO₂, como produtos principais, e ésteres (acetato de etila, acetato de isoamila, acetato de n-propila), ácidos (acético, propiônico) e álcoois superiores (1-propanol, 2-metil-1-propanol, 2-metil-1-butanol e 3-metil-1-butanol), como produtos secundários. Estes transmitem propriedades organolépticas à cerveja (ARAÚJO, SILVA, & MINIM, 2003). O processo de fermentação é o mais delicado de toda a produção, tratando de microrganismos vivos, sensíveis à contaminação. Qualquer tipo de interferência pode alterar o aroma e sabor da bebida. O objetivo desta etapa é a conversão dos açúcares presentes no mosto em etanol e dióxido de carbono. Por isso, a fermentação é a fase mais importante para definir o paladar da cerveja (MORADO, 2011). A reação de fermentação de carboidratos como a glicose é (GUIMARÃES, 2014):



A oxidação de álcoois a ácidos carboxílicos pode ser exemplificada para o caso do etanol (GUIMARÃES, 2014):



Os fermentadores são revestidos por uma camisa externa de fluido refrigerante (amônia, NH₃ ou etilenoglicol). O tipo de fermentação dependerá da levedura utilizada: cerveja de alta fermentação (*Saccharomyces cerevisiae*) – as

leveduras tendem a se situar na parte superior do fermentador; cerveja de baixa fermentação (*Saccharomyces uvarum*) – as leveduras tendem a permanecer nas partes inferiores do fermentador. É muito importante o controle da temperatura, em geral entre 10° C e 25° C, pois somente nessa condição a levedura produzirá cerveja com o sabor adequado (HUGHES, 2014).

Uma vez concluída a fermentação, a cerveja é resfriada a 0° C. A maior parte da levedura é separada por decantação (sedimentação) e tem início a maturação. Nessa fase, pequenas e sutis transformações ocorrem para aprimorar o sabor da cerveja. O carboidrato residual é consumido pelas leveduras remanescentes, fenômeno conhecido por fermentação secundária. Essas leveduras também metabolizam substâncias indesejáveis oriundas da fermentação: acetaldeído em ácido acético; dicetonas vicinais como a 2,3-pentanodiona em 2,3-butanodiol e compostos sulfurados como o sulfeto de dietila, (C₂H₅)₂S, em sulfatos inorgânicos e etanol. A maturação leva de 6 a 30 dias, variando de uma cervejaria para outra. Ao final dessa fase, a cerveja está praticamente concluída com aroma e sabor finais definidos. Após a fermentação, a cerveja é enviada para tanques maturadores e mantida por períodos variáveis a temperaturas abaixo de 0°C. Ocorre a sedimentação de partículas em suspensão e se desencadeiam reações de esterificação entre os ácidos e os álcoois produzidos na fermentação, que produzem muitos dos ésteres essenciais para o sabor da cerveja: Em resumo, na maturação as substâncias se estabilizam e se associam; o resultado é uma acentuação de sabor e aroma da cerveja. Nessa fase separa-se o fermento do mosto (GUIMARÃES, 2014).



Depois de maturada, a cerveja passa por uma filtração. Adiciona-se terra diatomácea, que tem a função de remover partículas em suspensão, principalmente leveduras, e substâncias de cor desagradável para a cerveja (como pectina e proteínas da resina dura do lúpulo). Tal como o carvão ativo usado no tratamento de água, a terra diatomácea deixa a bebida transparente e brilhante (aspecto cristalino). A filtração não altera a composição e o sabor da cerveja (HUGHES, 2014).

Por fim temos a fase de envasamento do produto final que ainda passará por etapas de troca de calor até embalagem e paletização para envio ao mercado consumidor. A cerveja recebe estabilizantes (que mantêm as características de suspensão e emulsão – no caso, a espuma da cerveja) e antioxidantes (previnem a influência negativa do O₂ – oxidação de ésteres, álcoois e outras substâncias responsáveis pelo sabor), aumentando seu tempo de validade (FERREIRA, VASCONCELOS, JUDICE, & NEVES, 2011).

A cerveja acabada é estocada em tanques e depois segue para o envasamento, passando por várias etapas: enchedora, pasteurizador, rotuladora e paletizadora. A pasteurização é um processo térmico no qual a cerveja é submetida a um aquecimento a 60-70°C (em câmaras com jatos d'água em temperaturas escalonadas) e posterior resfriamento. A pasteurização elimina microrganismos prejudiciais à qualidade da cerveja (SILVA & FARIA, 2008). Graças a esse processo é possível assegurar uma data de validade ao produto de seis meses após sua fabricação. A cerveja em barris não é pasteurizada, recebendo o nome de chope. Nesse caso, sua validade é fixada normalmente em 10 dias, no caso do chope claro, e 15 dias, no caso do chope escuro. A cerveja é encaminhada para a expedição e comercialização (GUIMARÃES, 2014).

3.3.3. Tipos de cerveja

Estima-se que existam mais de 20 mil tipos de cervejas no mundo. Pequenas mudanças no processo de fabricação, como diferentes tempos e temperaturas de malteação, fermentação e maturação, e o uso de outros ingredientes, além dos quatro básicos – água, lúpulo, cevada e malte –, são responsáveis por uma grande variedade de tipos de cerveja (ROSA, COSENZA, & LEÃO, 2006). Quanto às cervejas alcoólicas (Figura 3.7), os tipos principais são (ROSA, COSENZA, & LEÃO, 2006) (JORGE, 2004):

- **Tipo Lager** - são as cervejas mais consumidas no mundo, responsáveis por mais de 99% das vendas de cerveja do Brasil. Originárias da Europa Central

no século XIV, são cervejas de baixa fermentação (fermentação a frio – de 5 a 10°C), com teor alcoólico geralmente entre 4% e 5%. Os subtipos principais de Lager são: Pilsener (pilsen ou pils) – esse tipo de cerveja surgiu em Pils, região da Boêmia da República Tcheca, em 1842, e é a mais conhecida e consumida no mundo. Tem sabor delicado e leve (por conta do emprego do arroz e do milho como adjuntos do malte e de água com baixo teor de sais dissolvidos), é clara (o malte não é torrado e não se empregam aditivos escuros como o caramelo) e de teor alcoólico entre 3% e 5%. No Brasil, o consumo da pilsener – a que mais se adequa ao nosso clima – chega a 98% do total. Bock – essa cerveja também tem grande aceitação mundial por ter um sabor mais forte e encorpado (menos adjuntos são empregados) e é geralmente de cor escura por usar malte torrado e caramelado. É originária da cidade de Einbeck, na Alemanha. Tem teor alcoólico mais elevado frente à Pilsener (4% - 6%). Ice – surgiu em 1993 no Canadá. Depois de fermentada, sofre um resfriamento a temperaturas abaixo de 0°C (*ice process*), quando a água se transforma em finos cristais de gelo. No estágio seguinte, esses cristais são retirados, obtendo-se uma cerveja mais forte e refrescante. Malzebier – cerveja escura e doce, de graduação alcoólica na faixa de 3% a 4,5%; é famosa no Brasil. Na Alemanha, país de origem, é hoje tratada como bebida energética. Após a filtração, são adicionados caramelo e xarope de açúcar, daí a coloração escura e o sabor adocicado. Munchner Dunkel – são cervejas escuras avermelhadas (proveniente do malte tostado), produzidas originalmente em Munique, daí o seu nome. Eram as únicas cervejas da região da Baviera antes da chegada das tecnologias que tornaram possível a criação de cervejas claras.

- **Tipo Ale** são as cervejas que o que a difere das Lager é o tipo de fermentação, que é feita em temperatura mais alta, geralmente entre 12°C e 15°C. É um processo antigo, o que fez com que as cervejas do tipo Ale fossem as únicas disponíveis até meados do século XIX, quando foi desenvolvida a fermentação a baixa temperatura. Face à fermentação a quente, os sabores das cervejas Ale são incomparavelmente mais perceptíveis (encorpadas). Os subtipos de Ale são: Stout: originária da Irlanda, ela é feita com cevada torrada (maltes escuros), o que explica sua

cor escura e possui um sabor que associa o amargo do lúpulo ao adocicado do malte. É elaborada com extrato primitivo de 15% e seus teores de etanol (4%-6%) e extrato são elevados; Porter: é uma cerveja mais suave que sua parente Stout, pois normalmente contém 1% a 2% a menos de etanol; Weissbier (cerveja de trigo): produzida principalmente pelas grandes cervejarias alemãs; é feita à base de trigo, mas pode conter milho e mesmo frutas. É característica do sul da Alemanha (Baviera). Cervejas claras, bastante refrescantes e de graduação alcoólica na faixa 5% a 6%. São opacas porque normalmente não são filtradas após a fermentação e a maturação. Produzem, em geral, uma espuma densa e persistente

Figura 3.7 - Os tipos e subtipos de cerveja



Fonte: o autor

No Brasil, as cervejas são classificadas a partir de cinco itens, conforme é definido na legislação (Decreto nº 2.314, de 4 de setembro de 1997, e Lei nº 8.918, art. 66, de 14 de julho de 1994) de acordo com a Tabela 3.1 (JORGE, 2004).

Tabela 3.1 - Classificação das cervejas no Brasil

1 – Pela fermentação	
Alta fermentação (15°C - 24°C)	
Baixa fermentação (7°C - 12°C)	
2 – Extrato primitivo	
Leve	acima de 5,0% até 10,5% em massa
Comum	acima de 10,5% até 12,5% em massa
Extra	acima de 12,5% até 14,0% em massa
Forte	acima de 14,0% em massa
3 – Cor	
Clara	menos de 20 unidades EBC
Escura	20 ou mais unidades EBC
4 – Teor alcoólico	
Sem álcool	menos de 0,5% em volume de etanol
Alcoólica	igual ou maior de 0,5% em volume de etanol
5 – Teor de extrato (final)	
Baixo	até 2,0% em massa
Médio	2,0% a 7,0% em massa
Alto	mais de 7,0% em massa

Fonte: (GUIMARÃES, 2014)

3.4. ANÁLISES QUANTITATIVAS E QUALITATIVAS

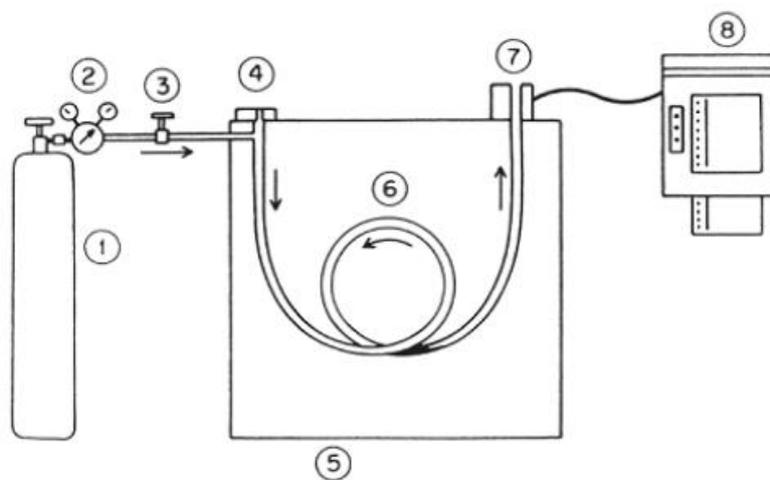
3.4.1. Cromatografia Gasosa

A cromatografia gasosa (CG) é uma técnica usada na quantificação e identificação dos componentes presentes nos óleos essenciais. Sua importância tem aumentado em função da evolução da tecnologia aplicada aos equipamentos, principalmente os detectores e as colunas cromatográficas que permitiram uma maior eficiência na separação, identificação e quantificação dos compostos dos óleos essenciais. Esta técnica apresenta como princípio a separação dos componentes voláteis de um líquido, no qual é volatilizado em uma coluna cromatográfica empacotada (SERAFINI & BARROS, 2001).

Esse método consiste, basicamente, nas seguintes etapas (Figura 3.8): por meio de um cilindro, um gás inerte flui continuamente [1] para a coluna [6]

tendo um ponto de injeção como fluxo inicial [4]. Uma microseringa injeta a amostra no ponto de injeção, que está previa e devidamente aquecido, a fim de ocorrer a vaporização da amostra, a qual será “arrastada” pelo gás de arraste ao longo da coluna. No que tange a análise de OE, normalmente, se utiliza colunas capilares com comprimento entre 10 a 100 m, assim como um diâmetro interno entre 0,1 a 0,75 mm. Após essa fase concluída, o gás de arraste, junto com a amostra, passa pelo detector [7], gerando um sinal elétrico, registrado em formato de picos, o qual será enviado a um sistema de dados para verificação e obtenção de resultados [8] (MCNAIR & MILLER, 2009).

Figura 3.8 - Esquema do equipamento de CG



Fonte: (MCNAIR & MILLER, 2009)

3.4.2. Sensorial

A análise sensorial é um método descritivo que fornece informações sobre os atributos da cerveja, por meio da degustação e comparação com perfis previamente caracterizados de cada tipo de produto.

Os principais atributos que podem ser detectados num perfil sensorial de uma cerveja são os indicados nas Tabela 3.2.

Tabela 3.2 - Principais atributos encontrados na análise sensorial de uma cerveja

ACETALDEÍDO

Caracterizado como aroma de maçã verde ou aroma vinho branco

O acetaldeído é obtido na penúltima etapa na fermentação alcoólica. A decarboxilação do acetaldeído produz CO₂ e etanol. Durante a fermentação, essa reação é incompleta. Na maturação o acetaldeído é degradado até valores abaixo de “**threshold**”.

O aroma da “cerveja verde”, ou seja, cerveja não maturada, depende muito do teor elevado de acetaldeído.

Condições que aumentam o teor de acetaldeído são: elevada temperatura de fermentação, a alta dosagem de fermento e o mosto básico elevado, como por exemplo: no método **high gravity**.

ACIDEZ

Caracterizado como uma impressão ácida na cerveja

A correção de pH na brassagem com ácido fosfórico ou ácido láctico pode causar o sabor ácido, em caso de quantidade elevada.

O tempo para encher um tanque fermentador com alguns tanques de produção deve ser bem observado. Cada fabrico leva novo oxigênio para o tanque e induz nova multiplicação do fermento, que deve ser reduzida, considerando a formação de ácidos na fase aeróbia. Por isso, deve ser controlado e/ou reduzido o tempo entre os fabricos e a aeração dos fabricos.

O fermento sempre forma ácidos orgânicos que causam a queda de pH, porém a formação de ácidos pode ser elevada e a queda de pH pode ser muito forte. A formação de ácidos aumenta com o início de fermentação muito forte, causado por exemplo: por adição de zinco em excesso, por elevada dosagem de fermento e alta aeração de mosto.

A queda de pH é mais intensa no mosto com baixo teor de tampões, como em primeiro lugar fosfatos. Isso acontece no mosto com baixo teor de malte, pois os adjuntos não têm tampões. A mosturação pouco intensa reduz a formação de fosfatos.

ADSTRINGENTE

Caracterizado pela sensação de “trava” na boca como banana verde

Polifenóis e taninos são substâncias do malte e do lúpulo. A própria matéria-prima pode ter um teor elevado destes compostos. No produto acabado eles podem formar compostos com a proteína e apresentar uma turvação ou sedimento, especialmente sob temperaturas baixas (turvação de frio) ou após um alto movimento no transporte ou após um longo tempo de estocagem. Um teor elevado destas substâncias na cerveja forma o sabor adstringente.

Uma extração intensa de bagaço aumenta o teor dessas substâncias. Por causa da melhor solubilidade de polifenóis e taninos no meio alcalino, a extração deles aumenta com um pH elevado da água de extração. Deve ser garantido ao final da extração, o extrato mínimo padronizado e as condições da água.

Os polifenóis e taninos têm uma melhor solubilidade no meio alcalino. A queda de pH na fermentação causa a precipitação parcial deles. Qualquer condição que reduz um forte e rápido início da fermentação, causa no mesmo tempo a fraca queda do pH e provoca uma baixa redução dessas substâncias. Por isso, devem ser garantidas boas condições tecnológicas como um fermento em bom estado fisiológico, a dosagem certa, a aeração suficiente de mosto, a composição de mosto (FAN, zinco) e o número da geração de fermento.

AMARGOR

Caracterizado como sabor amargo

Qualquer cerveja contém lúpulo. O lúpulo contém várias substâncias como α -ácidos, β -ácidos, resinas duras, resinas moles, óleos etéricos, etc. As substâncias mais importantes para o amargor da cerveja são os α -ácidos. Durante a fervura de mosto, os α -ácidos são dissolvidos e depois isomerizados. Somente os iso- α -ácidos possuem o típico e desejado sabor amargo. A dissolução e a isomerização acontecem dependendo do tempo da fervura. Um tempo insuficiente causa baixo rendimento de lúpulo.

A intensidade de amargor varia muito entre cervejas diferentes do mundo. A impressão sensorial nem sempre corresponde à análise de unidades de amargor. Na cerveja leve, a impressão sensorial e amargor é maior do que na cerveja forte. Um alto mosto básico ou outras impressões sensoriais podem mascarar a intensidade do amargor.

A qualidade de amargor é importante para a impressão total de uma cerveja. O amargor pode ser “fino” ou “precioso”, mas também pode ser “duro”. É importante a remanescência da impressão de amargor na boca.

A intensidade do amargor deve ser adequada para o tipo de cerveja. O tipo Pilsen é definido para ter um amargor médio até alto, mas muito fino. O tipo Lager deve ter menos amargor.

AUTÓLISE

Caracterizado como um aroma de fermento velho (“ovo podre”)

As substâncias do fermento devem permanecer dentro da célula e não devem sair para a cerveja. São ácidos graxos, componentes da decomposição de aminoácidos e outros ingredientes de fermento, especialmente H₂S e mercaptanas.

O efeito mais leve é a excreção parcial de substâncias do fermento vivo, que pode acontecer em caso de um choque, por exemplo: um rápido resfriamento do tanque de fermentação ou a dosagem de fermento para mosto frio.

O efeito mais intenso é a morte de células por causa de estocagem por longo tempo ou com temperaturas elevadas. Neste caso acontece a autólise, ou seja, as enzimas dentro da célula morta permanecem ativas por algum tempo e degradam tudo que possível. A membrana celular perde a semipermeabilidade e todas as substâncias intracelulares passam para fora.

Um teor elevado de ácidos graxos na cerveja aumenta também as reações de envelhecimento (veja “oxidação”) e a foto oxidação de ácidos graxos causa o aroma de “papelão”.

A cerveja reaproveitada de fermento contém um alto teor de ingredientes do fermento. Especialmente a adição de água eleva o pH e reforça a extração de substâncias. Este procedimento reduz em geral a estabilidade sensorial.

CARAMELO

Caracterizado como uma impressão de caramelos comerciais, bala toffee

A impressão sensorial “caramelo” é originada de açúcares caramelizados e melanoidíneos que foram aditivados com os adjuntos ou foram formados no processamento de mosto.

A formação dessas substâncias é desejada no malte torrado e caramelo, causando um sabor típico para algumas cervejas escuras.

Qualquer forte aquecimento de carboidratos pode provocar a caramelização, provocando a alteração de sabor e o aumento da coloração. O xarope de açúcar tem certa sensibilidade para essa reação, porém a mesma reação acontece durante o tempo, por exemplo, dentro de tanques e tubulações de açúcar mal limpos. Também, uma leve oxidação durante o processo ou envasamento pode provocar a impressão de “caramelo”.

CO₂

Caracterizado como uma “dor” / sensação nas papilas

O fermento forma naturalmente CO₂ durante a fermentação. Uma parte do CO₂ formado sai do tanque e normalmente é recuperado. Na maturação, a temperatura é abaixada para dissolver certo teor de CO₂ na cerveja ($\pm 5,0$ g/L). A solução é uma função entre temperatura e pressão.

Problemas na fermentação podem causar uma formação insuficiente de CO₂. Vazamentos de tanques causam perdas. Para uniformizar o teor de CO₂, a cerveja filtrada é carbonatada com o CO₂ anteriormente recuperado na fermentação. Um mau funcionamento da carbonatação pode também causar um teor inadequado na cerveja.

Vazamentos de garrafas, latas e barris também são responsáveis por perdas de CO₂. Na extração de chopp, a pressão de CO₂ usado, deve ser adequada para a temperatura. Uma pressão insuficiente provoca perdas do teor de CO₂ no chopp.

COR

Caracterizado como cor da cerveja

A cor do malte é determinada na fase da secagem de malte na maltaria. Para obter um malte claro, a temperatura deve ser elevada somente no estado bem seco de malte. Para obter um malte escuro, a temperatura é aumentada rapidamente, quando há ainda umidade no malte para forçar a reação Maillard (formação de melanoidinas).

A mistura de maltes e a adição de caramelo possuem uma alta influência na coloração. Um pH elevado da água de brassagem e da água da extração de bagaço aumenta a cor do mosto. Outras influências que aumentam a cor são o tempo da fervura de mosto, a carga térmica em geral e a possível oxidação do mosto.

A queda do pH no início da fermentação provoca uma precipitação de melanoidinas e de proteínas e polifenóis coloridos e por isso diminui a intensidade da coloração. As condições que reduzem o início forte da fermentação impedem a redução da cor. Qualquer oxidação da cerveja aumenta a intensidade da coloração, também a super pasteurização e o armazenamento e transporte sob temperaturas elevadas.

CORPO

Caracterizado “preenchimento da boca” ou contrário como sabor “aquoso”

O “corpo” da cerveja deve ser adequado para o tipo. Uma cerveja do tipo “Pilsen” ou “Lager” deve ter menos corpo do que o tipo “Stout”. A impressão do corpo é influenciada através do teor de mosto básico e do grau da fermentação.

O mosto básico elevado sempre aumenta a impressão de corpo. Com o mesmo mosto básico, uma cerveja com 85% grau final vai ter menos corpo que uma cerveja com 75% grau final.

DIACETIL

Caracterizado como aroma de manteiga, adocicado, rançoso

Durante a fermentação, o fermento sintetiza o aminoácido valina. O 2-acetolactato é um produto intermediário nesta reação. Essa substância descarboxila espontaneamente para diacetil (2,3-butanodiona) que há um “*threshold*” muito baixo (0,1 mg/L) e é facilmente perceptível.

Outro caminho, a síntese do aminoácido isoleucina, forma como produto intermediário o 2,3-pentandiona. O aroma dessa substância é similar do diacetil, mas o “*threshold*” é 10 vezes maior. As duas substâncias são as dicetonas vicinais.

SULFETO DE DIMETILA (DMS)

Caracterizado como aroma de milho e vegetais cozidos

No malte há um teor natural de uma substância que não evapora e não pode ser detectada sensorialmente. Este é o precursor de sulfeto de dimetila. O precursor é termicamente degradado para DMS, que é altamente evaporável e tem um aroma, normalmente, considerado como negativo.

A primeira degradação acontece na maltaria na fase de secagem de malte com ar quente. Se a evaporação de DMS é baixa, este malte tem um teor elevado de S-Metilmetionina.

A segunda degradação acontece no cozimento de mosto. Esta é a última chance para evaporar o DMS. Uma evaporação insuficiente pode acontecer, se o tempo de cozimento foi reduzido ou se a intensidade de cozimento é baixa. Outra fonte de DMS é a formação através de bactérias gram negativas aeróbias, facultativa.

ESPUMA

Caracterizado como formação de espuma e sua estabilidade na cerveja

A formação de espuma depende altamente do teor de CO₂.

A estabilidade de espuma depende do teor de proteína, do peso molecular médio a alto e da viscosidade da cerveja. O que se percebe como espuma, são várias e pequenas borbulhas de CO₂ com “paredes” formadas de proteínas. Um teor baixo dessas proteínas reduz a estabilidade de espuma. As borbulhas duram por mais tempo com uma viscosidade elevada da cerveja.

Caso aconteça uma excreção de ácidos graxos do fermento ou até a autólise, a estabilidade de espuma piora. A adição do estabilizante de espuma (alginato) consegue parcialmente compensar os efeitos negativos descritos.

Restantes de detergentes ou desinfetantes podem destruir a espuma altamente. O pior efeito tem os quaternários de amônio e produtos que contêm antiespumantes.

ÉSTERES

Caracterizado como aroma de solvente; banana; maçã; frutal, anis; doce

Os ésteres formam em primeiro lugar o aroma da cerveja.

A presença de ésteres é desejada até certa concentração, que depende do tipo de cerveja. Reações entre ácidos orgânicos e álcoois com participação de acetil-CoA, formam os ésteres. Essas reações não acontecem durante a fase da multiplicação de fermento por causa da alta demanda de energia para o fermento que causa a falta de acetil-CoA. Somente após a fase aeróbia começa a formação de ésteres, por isso um crescimento fraco de fermento causa um aumento do teor de ésteres.

Algumas condições podem influenciar a formação dessas substâncias como a temperatura de fermentação, mosto básico, etc, mas a maior influência no nível de ésteres formados possui a cepa de fermento, ou seja, a escolha da cepa já determina a concentração maior ou menor de ésteres na cerveja produzida. Em caso de uma formação em excesso de ésteres, as condições da fermentação e maturação devem ser checadas.

METÁLICO

Caracterizado como sabor de metal ou ferrugem

O sabor metálico acontece após a solução de uma elevada quantidade de íons metálicos, especialmente de ferro, na cerveja. A origem pode ser aditivos como terra infusória (filtração) com teor alto de ferro, ou a cerveja, que tem um pH ácido e, por isso, consegue dissolver os íons de partes de equipamentos são de aço carbono. Até no aço inox pode acontecer um acúmulo de íons de ferro na superfície, especialmente se o material não foi passivado. Por isso, a certa passivação antes do uso é importante, não somente para evitar corrosão, mas também para evitar problemas sensoriais.

Caso o aço inox já apresente uma corrosão, a superfície já foi danificada e o processo da corrosão está em andamento. Neste caso, íons de ferro podem ser liberados facilmente e dissolvidos na cerveja. A corrosão frequentemente começa nas soldas, pois a experiência mostra que as soldas são mais sensíveis contra corrosão. A causa é a alteração da estrutura do aço durante a soldagem.

OXIDAÇÃO

Caracterizado caramelo → palha → papelão → groselha → urina de gato

Qualquer cerveja envelhece, mas com um teor elevado de oxigênio, o processo de envelhecimento acontece muito mais rápido. Pequenos contatos com oxigênio durante a produção já gastam partes dos redutores naturais de cerveja, como melanoidíneos e SO₂. A adição de antioxidantes consegue compensar essa perda parcialmente. O sabor de cerveja envelhecida muda conforme as substâncias formadas. Uma leve oxidação começa com a impressão de “caramelo” e aumenta para “palha”. Mais forte, falamos diretamente sobre “oxidação”. Casos fortes podem apresentar o “*cardboard flavour*” uma impressão de papelão.

Nas cervejas claras, a qualidade do amargor piora rapidamente durante o processo de oxidação. A impressão sensorial é que o amargor se torna mais grosso ou áspero.

Nas cervejas escuras, com uso de malte tostado, os efeitos de oxidação são menos graves. Uma vez porque as melanoidinas funcionam como antioxidantes naturais, outra vez porque a oxidação é menos perceptível por causa do sabor forte.

Em geral, é importante evitar ou diminuir o contato com oxigênio, não somente no envasamento, mas em todas as etapas do processo. A super pasteurização, especialmente com teores de oxigênio elevados, acelera todas as reações de oxidação. O mesmo efeito acontece na armazenagem e no transporte sob altas temperaturas.

QUEIMADO

Caracterizado como uma impressão de queimado ou torrado, bacon

A impressão sensorial "queimado" é originada de compostos heterocíclicos e melanoidíneos que foram formados no processamento de mosto. A formação dessas substâncias é desejada no malte torrado, causando um sabor típico para algumas cervejas escuras. O uso de caramelo em lugar de malte torrado reduz este efeito. Outras causas são a secagem de malte e lúpulo com temperaturas elevadas.

Qualquer forte aquecimento de carboidratos provoca a caramelização, causando a alteração de sabor e o aumento da coloração. O xarope de açúcar tem certa sensibilidade a essa reação, porém a mesma reação acontece durante o tempo, por exemplo, dentro dos tanques e tubulações de açúcar mal limpos.

SULFÍTICO

Caracterizado como aroma de gás de cozinha, fósforo queimado, suor

As matérias-primas já podem conter enxofre por causa do uso de SO₂. Outra causa é um teor elevado de sulfatos na água de brassagem. A exposição da cerveja engarrafada a luz causa um aroma "light struck", formando uma substância sulfúrica que lembra gambá ou suor. A melhor proteção é não expor a cerveja ao sol. A cor de garrafas faz uma proteção parcial. Garrafas marrons promovem uma melhor proteção contra a luz solar do que garrafas verdes.

TURVAÇÃO

Caracterizado como turvação ou sedimento visível aos olhos

Na má sacarificação do mosto permanece amido na cerveja e provoca uma turvação. Proteínas de alto peso molecular precipitam na garrafa, se a cerveja é resfriada em excesso. Este é a turvação de frio. Por isso, deve acontecer este efeito já no tanque de maturação sob temperatura baixa. Adicionalmente, é dosado sílica gel como adsorvente de proteínas para redução adicional. Proteínas começam com uma turvação muito fina, pouco marrom, que aumenta e pode formar flocos no final.

Outra causa para turvação ou sedimento é uma contaminação microbiológica que consegue se desenvolver na garrafa ou lata (pasteurização inadequada) ou no chopp que não há pasteurização.

A contaminação mais frequente na cerveja é *Lactobacillus*, formando uma turvação fina. *Pediococcus* forma um fraco sedimento sem turvação. Leveduras formam flocos no sedimento. *Pectinatus* forma uma turvação.

Fonte: Cervejaria X (2020)

Ao final, uma média das notas dadas remeterá a qualidade da cerveja (Tabela 3.3). Ao ser analisado o perfil da amostra, poderá ter alterações no processo para melhorias no desempenho sensorial futuro.

Tabela 3.3 - Escala de avaliação na análise sensorial de um perfil de cerveja

NOTA	CRITERIO	OBSERVAÇÃO
9,0	Melhor exemplo de marca	Avaliada como <i>benchmark</i> , pois todos os atributos se encaixam no perfil. Sem defeitos.
8,5	Exemplo superior de marca	
8,0	Excelente exemplo de marca	Os atributos positivos da cerveja superam quaisquer desvios que estejam com traços muito leve.
7,5	Muito bom exemplo de marca	
7,0	Bom exemplo de marca	Maioria dos atributos positivos, ocorrendo desvios.
6,5	Regular exemplo de marca	Desvios ultrapassam os atributos. Equilíbrio geral é afetado e pode apresentar defeitos emergentes.
6,0	Regular exemplo de marca	
5,5	Pobre exemplo de marca	Os desvios superam os atributos positivos, afetando o equilíbrio geral, necessitando de ações corretivas.
5,0	Pobre exemplo de marca	
4,5	Muito pobre exemplo de marca	Apresenta defeitos muito fortes que afetam a integridade da marca. Medidas corretivas imediatas.
4,0	Muito pobre exemplo de marca	
3,5	Não aceitável exemplo de marca	A marca é quase irreconhecível. A cerveja apresenta defeitos muito fortes onde a integridade da marca está comprometida. Isso requer comunicação e desdobramentos imediatos. A produção local deve ser bloqueada.
3,0	Não aceitável exemplo de marca	
2,5	Não aceitável exemplo de marca	
2,0	Não aceitável exemplo de marca	
1,5	Não aceitável exemplo de marca	
1,0	Não aceitável exemplo de marca	
0,5	Não aceitável exemplo de marca	
0,0	Não aceitável exemplo de marca	

Fonte: Cervejaria X (2020)

4. MATERIAIS E MÉTODOS

O lúpulo utilizado como planta nas extrações e como insumo para produção de cerveja tem origem na cidade de Huel na Alemanha e é importado pela WE Consultoria, em forma de *pellets*. O material foi adquirido de loja situada em Porto Alegre (*WE Brew Shop*). Logo, as amostras foram enviadas ao Laboratório de Operações Unitárias - LOPE - PUCRS para realização das extrações; posteriormente, óleo extraído e as mesmas amostras de *pellets* de lúpulo foram utilizadas na fabricação de cerveja. As análises quantitativas e qualitativas da cerveja produzida, assim como a análise sensorial foram realizadas na unidade cervejeira.

4.1. EXTRAÇÕES

Para as extrações do óleo essencial do lúpulo, a partir da matéria-prima na forma de *pellets*, foram utilizados dois métodos: destilação por arraste a vapor e extração com CO₂ supercrítico. Ambos os experimentos realizados no LOPE da Escola Politécnica da PUCRS em três bateladas para cada metodologia.

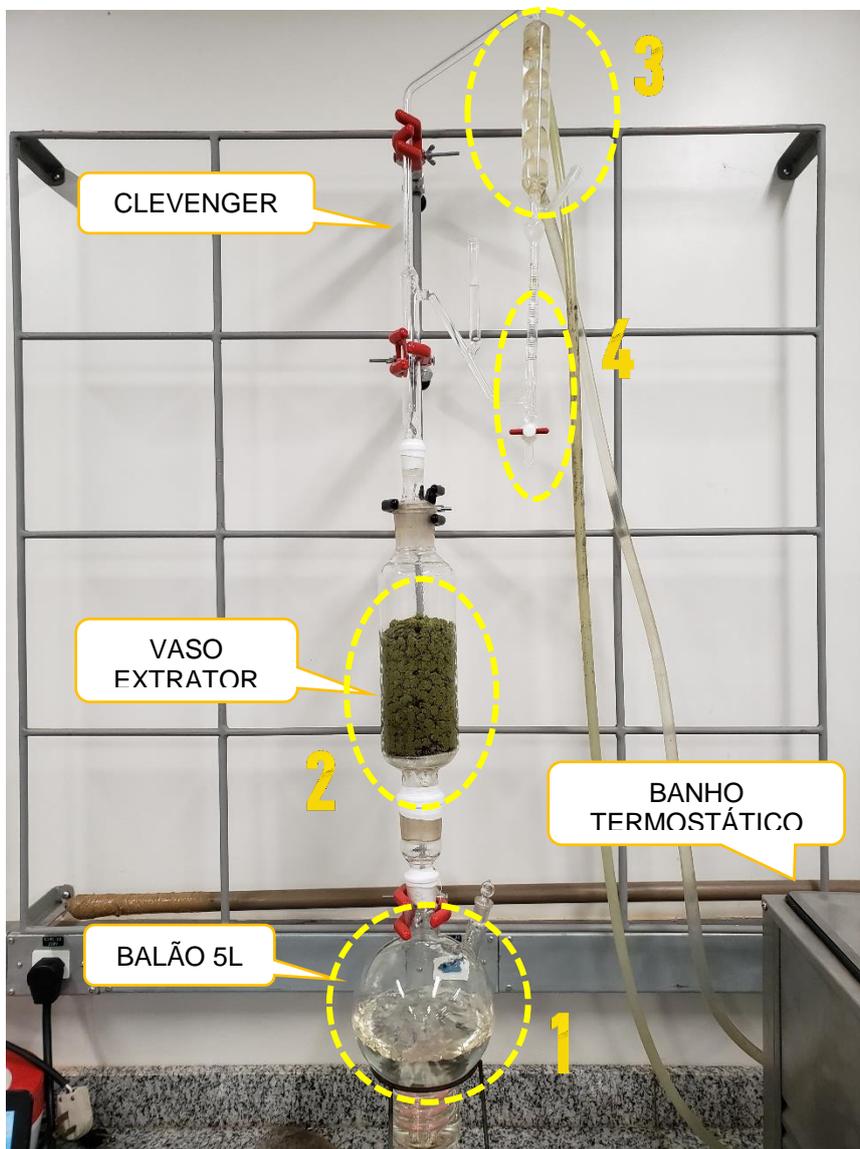
4.1.1. Destilação por arraste a vapor

Para a obtenção dos óleos essenciais por meio de destilação por arraste a vapor, utilizaram-se 100 g de *pellet* de lúpulo do tipo Hallertau Magnum em cada uma das três bateladas.

O equipamento da extração (Figura 4.1) é constituído de um balão de 5 L de volume com água e uma resistência imersa para que ocorra a formação de vapor d'água [1]; nesse balão é acoplado um vaso extrator, onde é depositado o material vegetal, formando um leito de matéria-prima em que o vapor d'água passará e arrastará o óleo essencial da planta que se quer extrair [2]; o vaso extrator, por sua vez, é conectado a um clewenger que tem a função de condensar os compostos voláteis extraídos mais o vapor d' água, por meio da troca térmica com um trocador de calor com água resfriada e recirculada num banho térmico[3]; ao final do clewenger, a diferença de densidade entre a água

e o óleo essencial faz com que as fases imiscíveis sejam separadas [4]. A extração foi realizada até o esgotamento do material, quando não houve mais alteração do volume de óleo extraído, encerrando o procedimento.

Figura 4.1 - Extrator por arraste a vapor do *pellet* de lúpulo *Hallertau Magnum* no LOPE



Fonte: o autor.

O rendimento do processo de extração foi determinado em volume de óleo essencial por massa do *pellet* de lúpulo, em percentual. O final da extração foi considerado quando após três intervalos seguidos não se observou variação no volume de extrato. O tempo das extrações foi de 1 h e 30 min para cada batelada.

4.1.2. Extração por CO₂ supercrítico

Da mesma forma como foi realizado na extração por arraste a vapor, foram adicionadas 300 g do lúpulo em *pellet* do tipo Hallertau Magum no vaso extrator. As condições de pressão e temperatura utilizadas nas três extrações foram pressão 90 bar, 150 bar e 250 bar com 40 °C constante respectivamente de acordo com dados de estudos apresentados por trabalhos anteriores e estudos realizados dentro da unidade cervejeira.

O fluido utilizado na extração foi o CO₂ (99,9% de pureza – AirProducts). Nesse processo de extração, o CO₂ líquido é pressurizado, por uma bomba de alta pressão (Maximator® – G35) até condições de pressão acima do ponto crítico. Para que o CO₂ se mantenha no estado líquido, um trocador de calor, instalado entre a bomba e o cilindro alimentador do solvente, garantirá esta condição. A vazão de CO₂ escolhida para a extração foi de 1000 g/h, sendo mensurada por um instrumento medidor (Siemens® Sitrans FC mass flow 6000). Após atingir a pressão crítica, o solvente é aquecido para então atingir a condição supercrítica.

Uma vez no estado supercrítico, o CO₂ entra no vaso de extração e percorre todo o leito de lúpulo, extraíndo os compostos da planta. Para garantir uma temperatura constante durante a extração, o vaso de extração possui uma manta térmica de aquecimento. Após passar pelo vaso de extração, o solvente supercrítico, juntamente com os compostos extraídos, passa por uma válvula de expansão (Hoke– Micromite® 1600), onde o CO₂ é liberado no estado gasoso e o extrato é recolhido em um frasco coletor. A válvula de expansão conta com um sistema de aquecimento e um controle de temperatura para que não ocorra o congelamento do CO₂, devido ao efeito Joule-Thomson. A extração foi realizada até o esgotamento da planta, ou seja, quando a massa do extrato não sofreu mais alteração após três intervalos de tempo consecutivos. Sendo assim, o procedimento foi encerrado.

O rendimento da extração foi determinado em massa de extrato por massa de lúpulo, em percentual.

4.2. PRODUÇÃO DE CERVEJA

A cerveja para aplicação do óleo essencial foi produzida seguindo o processo convencional para fabricação de cervejas artesanais, porém sem adição de lúpulo no processo de fervura. Foram utilizados 5 kg de malte pilsen, previamente moídos. A massa de malte foi misturada com água na proporção de 1:3. A mistura água mais malte foi aquecida até 52°C e mantida nessa temperatura durante 15 min, então foi novamente aquecida até 62°C para a quebra das moléculas de glicose e repousou durante 30 min. Depois foi novamente aquecida até 74°C e repousou por mais 30 min para uma nova quebra de moléculas de açúcares. Por último, a mistura foi aquecida acima de 80°C para interromper o processo enzimático.

A segunda etapa do processo foi a filtração, onde o mosto foi transferido para uma panela de filtração com uma peneira no fundo. Nessa etapa, o mosto foi separado do bagaço do malte. A terceira etapa foi a fervura, onde o mosto ficou durante 1 h para garantir total esterilização e interromper qualquer processo enzimático que ainda pudesse estar ocorrendo. Na quarta e última etapa o mosto foi resfriado até 23°C com um chiller imerso, onde água de resfriamento circulou. Ao atingir a temperatura, foi adicionado a levedura para o processo de fermentação que durou 7 dias.

A produção da cerveja com adição do lúpulo seguiu o mesmo processo, porém durante o processo de fervura foram adicionados 10 g do lúpulo *Hallertau Magnum* nos primeiros 15 min de fervura, quando produzido da forma convencional; quando produzido da forma alternativa, foram adicionados 0,5 mL, 1,0 mL, 2,5 mL, 5,0 mL e 10,0 mL do óleo essencial a cada 20 L volume de cerveja em cinco bateladas diferentes a fim de compará-las sensorialmente, uma vez que não há uma dosagem pré-determinada em literatura, mas apenas indicações que vão de acordo com a característica final que se quer no produto final (mais ou menos amargos, mais ou menos herbal, mais ou menos lupulada, entre outros).

4.3. ANÁLISES DO ÓLEO ESSENCIAL E DA CERVEJA

4.3.1. Cromatografia Gasosa/Espectrometria de massas

Os óleos, depois de extraídos foram desidratados, utilizando-se sulfato de sódio anidro (Na_2SO_4), e diluídos em cicloexano na proporção 1:2 em volume. Após a preparação, as amostras foram injetadas em um aparelho de cromatografia gasoso (marca Agilent Technologies, modelo 7890A). A coluna utilizada foi uma HP-5MS, 5% fenilmetilpolisiloxano, 30 m x 0,25 mm de diâmetro interno com espessura de filme x 0,25 μm .

Como gás de arraste foi utilizado Hélio ultrapuro com fluxo de 0,8 ml/min, temperatura do injetor 250°C, volume de injeção 1 μL , no modo split, razão de split 1:55. O programa de temperaturas selecionado para a análise iniciou em 60°C e se manteve durante 4 minutos. Após esse período, a temperatura aumentou a uma taxa de 5°C/min até atingir 180°C e, por fim, a temperatura foi aumentando em 20°C/min até atingir 250 °C, mantendo-se essa temperatura por 5 minutos.

A etapa de detecção de massas foi realizada com auxílio do equipamento espectrômetro de massas (EM) acoplado ao cromatógrafo. A temperatura de interface entre esses equipamentos foi de 230°C, a faixa de massa analisada foi de 40 a 450 μm e a voltagem de ionização por impacto de elétrons foi de 70 eV.

Para detectar os compostos e realizar suas respectivas identificações, se utilizam seus índices de retenção que são determinados a partir de uma série de n-alcenos e comparados com referência de literatura (Adams, 2007). Essa parte de comparação dos espectros foi fundamental para confirmar a identidade dos compostos

4.3.2. Análise Sensorial

Antes da fase de degustação, as amostras devem ser previamente preparadas e organizadas conforme os seguintes critérios:

- As amostras devem ser servidas à temperatura de $11^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$;
- As amostras são tipicamente vertidas 15-20 min antes da chegada dos degustadores;
- Devem ser avaliadas dentro de 45 min;
- Durante o armazenamento as amostras devem ser protegidas da luz solar.

Ao ter os exemplares disponibilizados, deve-se formar uma mesa com, no mínimo, seis degustadores, preferencialmente, um número de dez é excelente. Essas pessoas se distribuirão em uma mesa com 09 ou mais amostras das mais variadas marcas (Figura 4.4), podendo ser repetida ou não, tendo o conhecimento prévio de qual a ordem que está cada marca e o tipo de cerveja (essa informação não precisa ser sigilosa), pois facilitará na comparação com o perfil sensorial daquele tipo de cerveja pré-determinado.

Figura 4.2 - Disposição das bancadas de cada degustador para análise sensorial



Fonte: o autor

Durante a realização da degustação, algumas regras devem ser observadas e executadas para que não haja interferências nem discrepâncias na análise de um degustador:

- devem ser apresentadas na mesma sequência para todos os degustadores da sessão;
- para cada marca apresentada, deverá ser apresentada uma amostra referência, que seja um bom exemplo da marca, isenta de defeitos. Essa

amostra deverá estar disposta atrás do *set* e diferenciada das amostras em análise, para não ser confundida. As notas de cada amostra deverão ser atribuídas conforme sua aderência ao perfil e percepções de desvios/defeitos e não em comparação com a amostra referência.

- cada copo contém a mistura de um mínimo 2 embalagens idênticas para um volume total de aproximadamente 75 mL, a menos que a embalagem seja igual ou superior a 500 mL; nestes casos não há necessidade de misturar mais 2 embalagens;
- as únicas informações que poderão ser reveladas são: marca do produto e se a amostra é fresca ou envelhecida;
- as amostras deverão ser tecnicamente descritas, a fim de transmitirem as informações de forma clara aos donos do processo, responsáveis pelos ajustes e melhorias;
- os degustadores deverão registrar suas impressões, degustando sempre da esquerda para a direita;
- avaliam primeiramente o aroma e depois realizam a ingestão do produto. Quaisquer características físicas, tais como: cor, espuma, turbidez, poderão ser comentadas desde que o degustador julgue necessário;
- os degustadores poderão retornar a qualquer amostra e modificar seus comentários até o momento que antecede sua publicação/divulgação;
- após todos finalizarem as suas avaliações, inicia-se uma discussão da 1ª amostra. Normalmente a pessoa sentada à esquerda do degustador mais experiente começa com sua descrição e pontuação. Faz-se a sequência em torno da mesa e cada degustador, por sua vez, discute seus comentários e pontuação;
- assim que os degustadores discutem seus resultados e comparam com os outros, eles podem reavaliar as amostras à sua frente.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. VOLUMES DE EXTRAÇÃO E RENDIMENTO

Os dois métodos de extração do óleo essencial do lúpulo tiveram resultados diferentes, tendo um com maior rendimento do que o outro.

Na destilação por arraste a vapor, óleo extraído do lúpulo em *pellet* foi, em média, de $0,57 \pm 0,04$ g, utilizando 100 g da planta em cada batelada de extração, considerando uma densidade do óleo essencial do lúpulo no valor de 0,8303 g/mL conforme cálculos das pesagens dos volumes de amostras extraídas. Nesse caso, foram feitas seis extrações ao todo com os resultados apresentados no Quadro 5.1.

Quadro 5.1 - Volume de óleo extraído na destilação por arraste a vapor

EXTRAÇÃO	MASSA DE PLANTA (g)	VOLUME DE ÓLEO (mL)	MASSA DE ÓLEO (g)
1	100,0	0,68	0,56
2		0,77	0,64
3		0,69	0,57
4		0,63	0,52
5		0,64	0,53
6		0,72	0,60
média		$0,69 \pm 0,05$	$0,57 \pm 0,04$

Fonte: o autor

Na extração com dióxido de carbono supercrítico, teve-se rendimento maiores, quando comparados com o método de arraste a vapor. Nessa metodologia, operou-se o equipamento nas seguintes pressões: 90 bar, 150 bar e 250 bar, sendo duas bateladas para cada uma delas e os resultados estão apresentados no Quadro 5.2.

Os processos, em todas as bateladas, tiveram as seguintes variáveis fixadas: o tempo total de extração em 60 min, a vazão do fluido supercrítico em 1.000 g/h e a temperatura constante de 40° C.

Quadro 5.2 - Volume de óleo extraído na destilação por fluido supercrítico

PRESSÃO (bar)	EXTRAÇÃO	MASSA EXTRAÍDA (g)	VOLUME EXTRAÍDO (mL)
90	1	7,67	9,35
	2	7,93	9,55
	média	7,80 ± 0,13	9,45 ± 0,10
150	1	59,03	71,09
	2	58,51	71,47
	média	58,77 ± 0,26	71,28 ± 0,19
250	1	65,86	79,32
	2	66,12	79,63
	média	65,99 ± 0,13	79,48 ± 0,15

Fonte: o autor

Na extração com CO₂ supercrítico, a uma pressão de 90 bar, o produto extraído do lúpulo em *pellet* foi, em média, de 7,80 ± 0,13 g; para uma pressão 120 bar, uma média de 58,77 ± 0,26 g; e, para uma pressão de 150 bar, uma média de 65,99 ± 0,13 g.

Quando comparados entre si, percebe-se que a extração por arraste a vapor apresenta um menor rendimento em relação a extração com dióxido de carbono supercrítico em qualquer pressão, inclusive, quanto maior for a pressão, maior será o rendimento, uma vez que, separado o componente resinoso do óleo essencial extraído, por métodos de filtração, se perceberá maior quantidade de óleo quanto maior for a pressão. Por outro lado, nessas extrações há a presença de compostos não voláteis, em qualquer uma das pressões utilizadas (sendo que, quanto menor a pressão, menor a presença dessas substâncias resinosas, entre outras) em relação ao produto final obtido por arraste a vapor.

Sendo assim, optou-se, numa primeira etapa, pelo uso do óleo extraído no método por arraste a vapor na fabricação de cerveja, uma vez que se caracteriza por um processo de separação de fases basicamente entre óleo e água. Posteriormente, após garantir que o óleo essencial de lúpulo, extraído a 90 bar, tenha sido efetivamente filtrado e separado das substâncias resinosas e não resinosas, também se utilizou esse óleo numa segunda batelada de produção de cerveja.

5.2. ANÁLISES DE CROMATOGRAFIA GASOSA

A partir das análises realizadas por cromatografia gasosa/espectrometria de massas, foi possível quantificar e identificar uma série de substâncias presentes nas amostras de óleo essencial (arraste a vapor) e extratos voláteis (CO₂ supercrítico a 90 bar), utilizando os índices de retenção de cada um desses compostos. Essa lista de compostos identificados, coluna IR_{calc} do Quadro 5.3, foram todos pré-determinados e comparados de acordo com a biblioteca Adams (2007) que se encontra na coluna IR_{lit} desse mesmo quadro.

Quadro 5.3 - Resultado das análises de CG das amostras de óleo essencial extraído em cada um dos métodos de extração

Composto	Arraste			Supercrítico		
	IR _{calc}	IR _{lit}	Área	IR _{calc}	IR _{lit}	Área
β-Pineno	969	974	0,75%	-	-	-
Mirceno	989	988	31,18%	988	988	24,78%
Linalol	1100	1095	0,80%	1100	1095	0,84%
Undecanona-2	1290	1291	1,33%	1291	1291	1,58%
α-cis-bergamoteno	1414	1415	1,61%	1413	1415	1,43%
E-Cariofileno	1421	1420	8,02%	1419	1420	13,51%
α-Humuleno	1447	1452	25,78%	1447	1452	35,62%
β-Farneseno	1462	1461	17,67%	1460	1461	23,15%
γ-muroleno	1476	1477	1,52%	1474	1477	1,19%
γ-cadineno	1512	1513	0,80%	1514	1513	0,98%
δ-amorfeno	1509	1510	1,73%	1508	1510	1,34%
Óxido de cariofileno	1580	1582	0,85%	-	-	-
Epóxido de humuleno II	1605	1606	2,56%	-	-	-

Fonte: o autor

Na amostra de óleo essencial (arraste a vapor) foram identificados 13 compostos, sendo que os de maior percentual em área foram o mirceno (31,18%), o α -humuleno (25,78%) e o β -farneceno (17,67%). Da mesma maneira, quando analisada a amostra do extrato volátil (CO₂ supercrítico a 90 bar), foram identificados 10 compostos e se percebe as mesmas substâncias com maior área, mesmo que o número de compostos identificados tenha sido menor. Nesse caso, o α -humuleno (35,62%), o mirceno (24,78%) e o β -farneceno (23,15%). Esses resultados são bem sustentados em trabalhos como Durelloa (2019), Juric (2015) e Gostauto (2004) que também encontram essas três substâncias como as principais em suas extrações de óleo essencial do lúpulo.

Essa caracterização é importante, pois as resinas macias como os α -ácidos (humulonas nesse caso), onde se encontra o caráter mais ou menos amargo, deve estar presente em percentual de área maior do que 20,0% em relação a massa total do lúpulo em base seca e ser a principal presença dentre todos os outros componentes (Durelloa, Silva, & Bogusz, 2019), sendo esse o valor alcançado nas extrações nesse trabalho. Além disso, essa substância contribui na amenização da oxidação da cerveja, pois apresenta propriedades que ajudam a quelar metais como Fe²⁺ e Cu²⁺ que ajuda a diminuir a formação de espécies reativas de oxigênio (SILVA & FARIA, 2008).

Nesse caso, esses três componentes, mirceno, o α -humuleno e o β -farneceno presentes em maior quantidade, contribuem no maior ou menor frescor, amargor e aroma herbáceo, dependendo do volume do extrato incorporado. Inclusive, esses dados são importantes no momento em que precisamos identificar qual produto se quer lançar no mercado ou, então, qual a necessidade que o consumidor está buscando no momento. Dependendo dessas respostas, informações e formulações da composição desses três compostos influenciam diretamente na escolha do tipo do lúpulo ou no *blend* de tipos de lúpulos.

A extração por arraste a vapor apresenta caracterização de óleo essencial com 13 substâncias diferentes identificadas, enquanto a extração com CO₂ supercrítico a 90 bar, após separação entre o óleo essencial e compostos resinosos e não resinosos, fornece 10 componentes caracterizados. Esse cenário ratifica a escolha pelo uso, nesse primeiro momento, apenas do óleo essencial extraído por arraste a vapor e, numa segunda batelada de produção, o uso do óleo extraído pelo método de arraste a vapor. Além disso, os compostos como α -cis-bergamoteno, E-Cariofileno, β -Pino também são importantes na qualidade final da cerveja, aumentando ou diminuindo aspectos sensoriais como amargor, aroma cítrico e/ou herbal, adstringência, entre outros, dependendo da sua maior ou menor quantidade nessa caracterização final.

Portanto, após ter as duas bateladas de produção de cerveja, ambas passarão por uma análise sensorial, sendo que a variação volumétrica de óleo acrescentado em cada batelada variará entre 0,5ml e 10,0ml. Os demais parâmetros e características do processo produtivo serão exatamente os mesmos em cada uma das produções a fim de evitar interferências desnecessárias no produto final. A única variável, sendo assim, será a quantidade de óleo essencial acrescentada durante a fervura e o método de extração desse óleo.

5.3. ANÁLISE SENSORIAL DA CERVEJA

Após a produção de seis amostras de 20 litros de cerveja na microcervejaria, sendo uma delas usando lúpulo na forma de *pellet* e as outras cinco usando lúpulo na forma de extrato, oriundos de extrações por arraste a vapor (variando o volume entre uma e outra produção) foram escolhidos os degustadores para realizar a análise sensorial do produto final, comparando todas as produções como mostra a Figura 5.1 e 5.2. O mesmo método de produção foi repetido, mas, nesse momento, usando o lúpulo na forma de extrato, oriundo de extrações por CO₂ supercrítico a 90 bar, também comparando todas as produções como mostra a Figura 5.3 e 5.4.

5.3.1. Análise Sensorial com óleo extraído por arraste a vapor

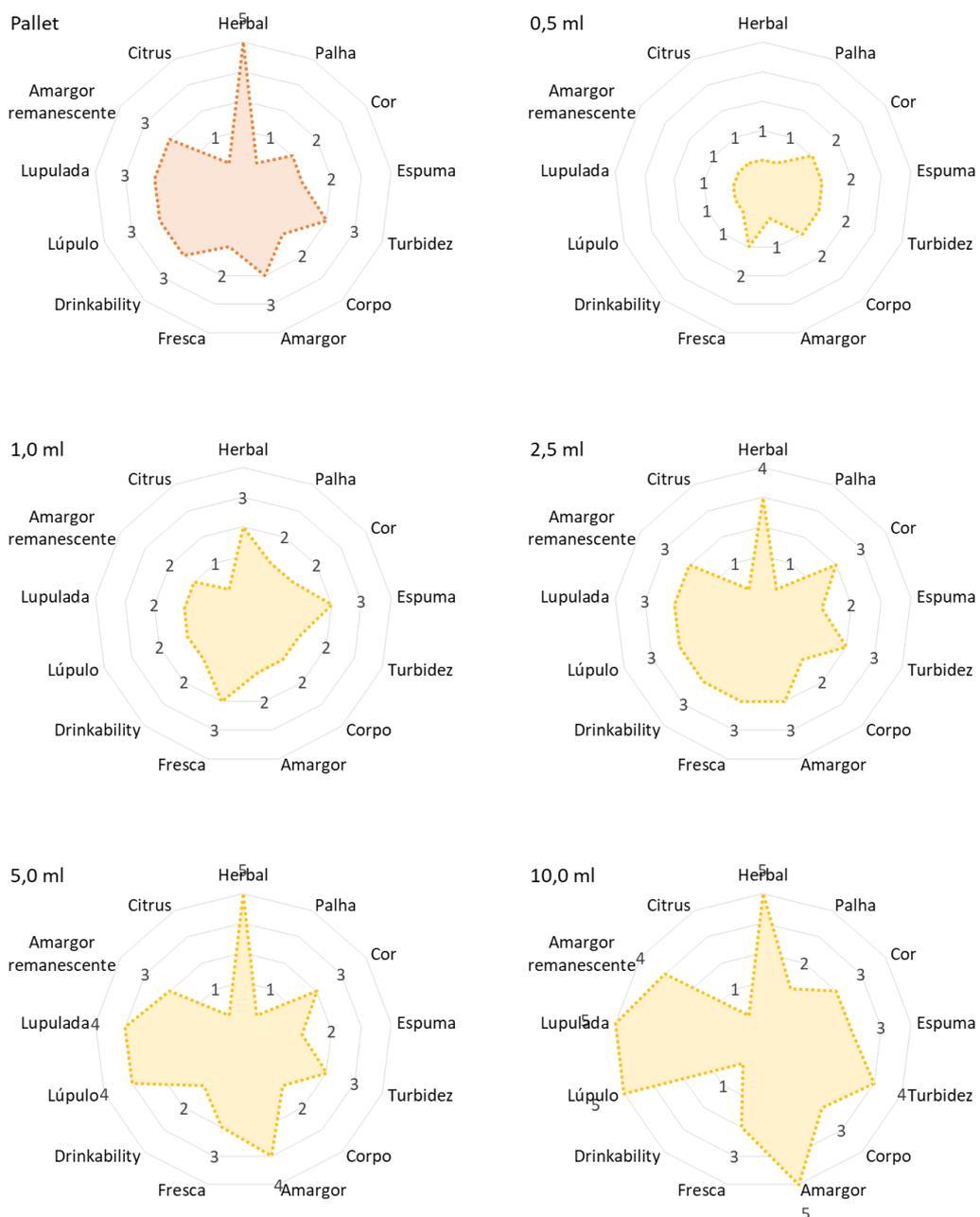
Figura 5.1 - Avaliação qualitativa das amostras de cerveja com *pellet* e com quantidades diferentes de óleo essencial de lúpulo extraído por arraste a vapor

		Degustador 1	Degustador 2	Degustador 3	Degustador 4
		Min: 4,50 Máx: 7,50 Média: 6,17	Min: 5,00 Máx: 8,00 Média: 6,92	Min: 5,00 Máx: 8,00 Média: 6,83	Min: 5,50 Máx: 8,00 Média: 7,00
Posição: 1	Local: P. Alegre	7,50 Bom - Herbal, Bom - Lúpulo, Bom - Lupulada, Bom - Drinkability	8,00 Muito bom - Herbal, Leve - Citrus, Bom - Fresca, Bom - Amargor remanescente	8,00 Bom - Espuma, Forte - Lúpulo, Forte - Lupulada, Bom - Citrus, Muito Bom - Amargor	8,00 Bom - Herbal, Bom - Corpo
Classificação: 1	Marca: Pallet				
Pontuação: 7,88	Volume:				
Posição: 2	Local: P. Alegre	4,50 Fraco - Herbal, Fraco - Lúpulo, Fraco - Lupulada, Fraco - Amargor, Fraco - Citrus	5,00 Leve - Espuma, Leve - Corpo, Fraco - Lúpulo, Fraco - Lupulada	5,00 Leve - Herbal, Leve - Amargor, Leve - Corpo, Fraco - Lúpulo	5,50 Leve - Herbal, Leve - Amargor remanescente
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 5,00	Volume: 0,5 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	6,50 Bom - Corpo, Bom - Espuma, Leve - Lúpulo, Leve - Lupulada, Leve - Amargor remanescente	6,50 Traço - Lúpulo, Traço - Lupulada, Leve - Amargor, Leve - Esterificação	7,00 Bom - Corpo, Bom - Espuma, Traço - Lúpulo Traço - Amargor	7,00 Traço - Herbal, Bom - Corpo, Leve - Lúpulo Traço - Adstringência
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 6,75	Volume: 1,0 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	7,00 Bom - Herbal, Leve - Corpo, Bom - Espuma, Bom - Amargor, Bom - Lúpulo, Bom - Lupulada	8,00 Bom - Herbal, Bom - Fresca, Bom - Amargor, Bom - Drinkability	8,00 Bom - Cor, Bom - Espuma, Muito Forte - Lúpulo, Forte - Herbal, Leve - Lupulada, Bom - Amargor	8,00 Bom - Herbal, Muito bom - Amargor, Muito bom - Lúpulo
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 7,75	Volume: 2,5 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	7,00 Bom - Herbal, Leve - Palha, Bom - Cor, Bom - Espuma, Leve - Corpo, Forte - Amargor	8,00 Forte - Herbal, Bom - Amargor, Bom - Amargor remanescente, Bom - Lupulada	8,00 Bom - Herbal, Forte - Lúpulo, Bom - Corpo, Bom - Espuma	7,50 Bom - Herbal, Bom - Corpo, Bom - Lúpulo
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 7,63	Volume: 5,0 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	4,50 Muito forte - Herbal, Muito forte - Lúpulo, Muito forte - Citrus, Muito forte - Amargor	6,00 Forte - Lúpulo, Forte - Amargor, Forte - Amargor remanescente	5,00 Muito forte - Lúpulo, Muito forte - lupulada, Muito forte - Adstringência	6,00 Forte - Citrus, Forte - Herbal, Muito forte - Lúpulo
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 5,38	Volume: 10,0 ml				

Fonte: o autor

De acordo com que se aumenta o volume de óleo essencial de lúpulo adicionado à cerveja, há melhorias significativas de qualidade no produto, validado pelas análises sensoriais, principalmente, na faixa volumétrica entre 1,0 mL e 5,0 mL, sendo o ponto ótimo no valor de 2,5 mL, pois foi a amostra analisada que mais se aproximou do padrão produzido apenas com *pellets* do mesmo lúpulo. A Figura 5.2 mostra a caracterização média de cada uma das amostras a partir dessas avaliações sensoriais realizados pelos degustadores.

Figura 5.2 - Caracterização das amostras das seis bateladas da produção com pallet e óleo essencial de lúpulo por arraste a vapor



Tanto na análise sensorial da cerveja produzida com *pellets* de lúpulo, assim como com óleo essencial, um aroma herbáceo bem característico foi identificado e se sobressaía, mesmo que mesmo perceptível no primeiro caso (0,5 mL). As amostras, com o aumento do volume de óleo essencial acrescentado no momento da fervura, foram se aproximando de um padrão ideal quando se analisa amargor, frescor, aroma, carbonatação, adstringência, amargor remanescente, entre outros, conforme mostram os gráficos sequencialmente.

Em termos de aspecto visual, coloração, turbidez, espuma, corpo, entre outros, apresentaram-se iguais entre as amostras não podendo ser um fator determinante para diferenciar um tipo de produção do outro. Contudo, quando se trata de amargor e percepção do lúpulo no produto final, percebe-se que a amostra com óleo essencial apresentou traços mais marcantes e fortes do que a amostra com *pellet* dessa planta.

As amostras com traços muito fracos ou muito fortes (extremos), ou seja, amostras que foram produzidas com volume de 0,5 mL e 10,0 mL de óleo essencial foram consideradas ruins pela bancada, uma vez que a cerveja produzida possui um perfil pré-determinado e isso deve ser respeitado durante a avaliação. A amostra produzida com 1,0 mL de óleo essencial não seria uma produção ruim ou descartável, mas também necessitaria de improvisações e melhorias no seu caráter cítrico e amargo principalmente. Isso é importante frisar, pois se conclui que existe um ponto ótimo de adição do óleo essencial e que condições de maior tendência de economia de custos (colocar menor quantidade de óleo essencial) ou condições de se buscar maior amargor (colocar uma maior quantidade de óleo essencial) prejudicarão o resultado final.

O equilíbrio é necessário ser alcançado, a cerveja possui um padrão sensorial, mesmo que se possa variar um que outro aspecto e, nesse sentido, a amostra que mais se aproximou desse perfil foi a que utilizou 2,5 mL de óleo essencial adicionado no processo de fabricação, inclusive, com o gráfico sensorial 5.1 (produção com *pellet* de lúpulo) e o gráfico 5.4 (produção com 2,5 mL de óleo essencial) sendo bem similares.

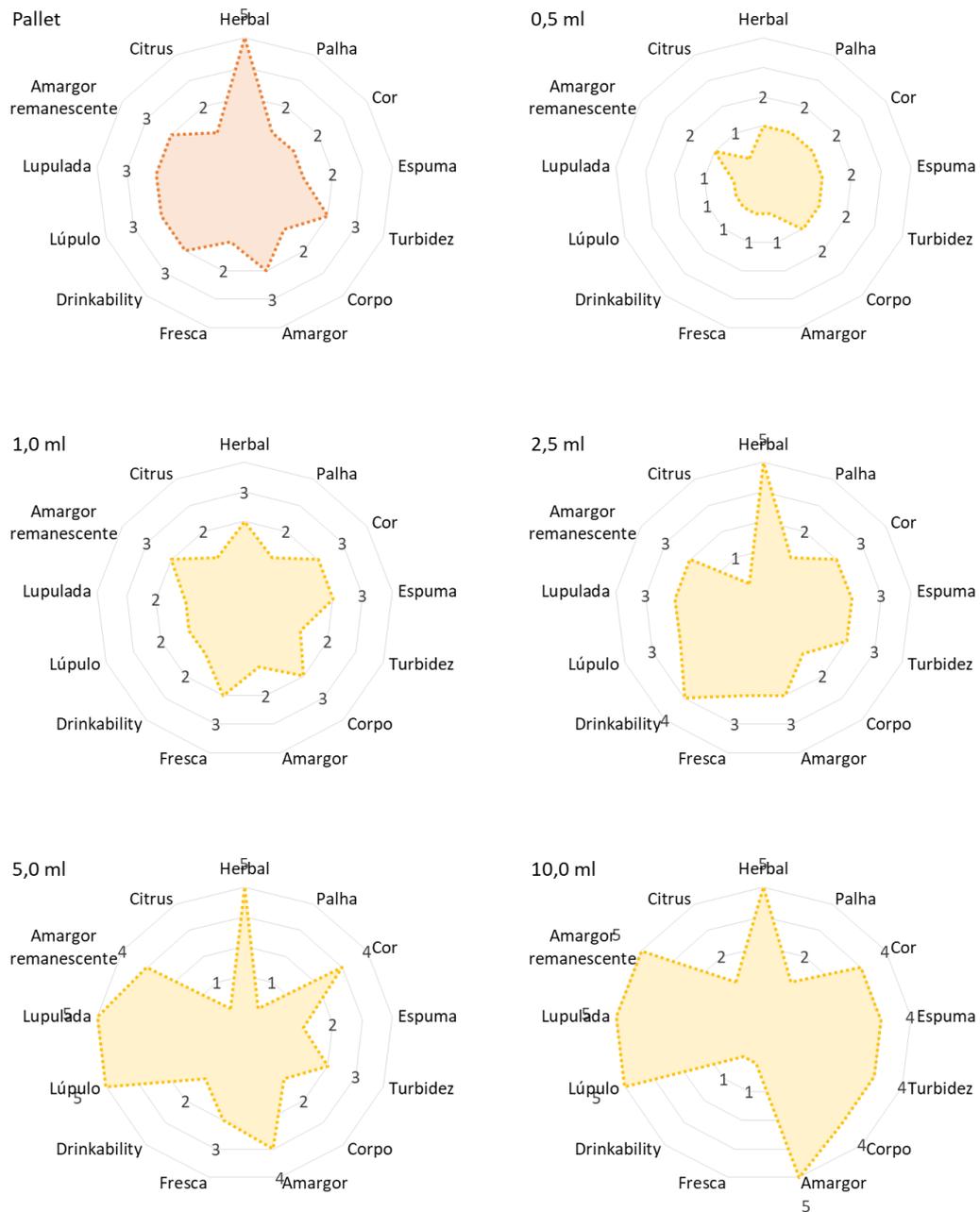
5.3.2. Análise Sensorial com óleo extraído por CO₂ supercrítico a 90 bar

Figura 5.3 - Avaliação qualitativa das amostras de cerveja com pellet e com quantidades diferentes de óleo essencial de lúpulo extraído por supercrítico

		Degustador 1	Degustador 2	Degustador 3	Degustador 4
		Min: 4,50 Máx: 8,50 Média: 6,75	Min: 4,50 Máx: 8,00 Média: 6,50	Min: 5,00 Máx: 8,50 Média: 6,75	Min: 4,00 Máx: 8,00 Média: 6,50
Posição: 1	Local: P. Alegre	8,00 Bom - Herbal, Bom - Lúpulo, Muito bom - Lupulada, Muito bom - Amargor	8,00 Muito bom - Herbal, Bom - Citrus, Bom - Fresca, Muito bom - Amargor remanescente	7,50 Bom - Espuma, Forte - Lúpulo, Forte - Lupulada, Leve - Amargor	7,50 Bom - Herbal, Muito bom - Corpo Bom - Espuma
Classificação: 1	Marca: Pallet				
Pontuação: 7,75	Volume: 7,75				
Posição: 2	Local: P. Alegre	5,50 Fraco - Herbal, Leve - Lúpulo, Leve - Lupulada, Leve - Amargor	5,50 Leve - Lúpulo, Leve - Lupulada	5,50 Leve - Herbal, Leve - Amargor, Leve - Corpo	5,50 Leve - Herbal, Leve - Amargor remanescente Leve - Amagor Leve - Citrus
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 5,50	Volume: 0,5 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	7,00 Bom - Corpo, Bom - Espuma, Bom - Lúpulo, Leve - Lupulada	6,50 Traço - Lúpulo, Traço - Lupulada, Bom - Amargor	7,00 Bom - Corpo, Bom - Espuma, Bom - Lúpulo Bom - Amargor	6,50 Traço - Herbal, Leve - Lúpulo Leve - Adstringência
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 6,75	Volume: 1,0 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	8,50 Muito bom - Herbal, Muito bom - Corpo, Muito bom - Amargor, Muito bom - Lúpulo, Muito bom - Herbal	8,00 Muito bom - Herbal, Bom - Fresca, Muito bom - Amargor, Bom - Citrus, Muito bom - Lúpulo	8,50 Bom - Espuma, Forte - Lúpulo, Muito bom - Herbal, Forte - Lupulada, Muito bom - Amargor	8,00 Bom - Corpo, Bom - Espuma Muito bom - Amargor, Muito bom - Lúpulo
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 8,25	Volume: 2,5 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	7,00 Forte - Herbal, Forte - Cor, Bom - Espuma, Forte - Amargor	6,50 Forte - Herbal, Forte - Amargor, Forte - Lupulada	7,00 Forte - Herbal, Forte - Lúpulo, Forte - Corpo, Forte - Espuma	7,50 Forte - Herbal, Forte - Corpo, Forte - Lúpulo
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 6,88	Volume: 5,0 ml				
Posição: 6	Local: P. Alegre	4,50 Muito forte - Herbal, Muito forte - Lúpulo, Muito forte - Citrus, Muito forte - Amargor	4,50 Muito forte- Lúpulo, Muito forte - Amargor, Muito forte - Amargor remanescente	5,00 Muito forte - Lúpulo, Muito forte - lupulada, Muito forte - Amargor	4,00 Muito forte - Citrus, Muito forte - Herbal, Muito forte i Lúpulo, Muito forte - Amargor
Classificação: 1	Marca: Óleo				
Pontuação: 4,50	Volume: 10,0 ml				

A Figura 5.4 mostra a caracterização média de cada uma das amostras a partir dessas avaliações sensoriais realizados pelos degustadores.

Figura 5.4 - Caracterização das amostras das seis bateladas da produção com pallet e óleo essencial de lúpulo por fluido supercrítico



Fonte: o autor.

Assim como a produção com óleo obtido por meio da extração por arraste a vapor, de acordo com que se aumenta o volume de óleo essencial de lúpulo adicionado à cerveja, extraído por meio da extração com fluido supercrítico, há

melhorias significativas de qualidade no produto, validado pela análise sensorial, principalmente, na faixa volumétrica de 1,0 mL e 5,0 mL, sendo o ponto ótimo no valor de 2,5 mL, pois foi a amostra analisada que mais se aproximou do padrão produzido apenas com *pellets* do mesmo lúpulo. Provavelmente, caso se fosse restringir ainda mais a faixa volumétrica, pode ser que valores entre 1,5 mL e 2,5 mL sejam a faixa ótima nesse processo produtivo com essas características.

Por outro lado, se percebe que, em todas as amostras de mesmo volume, a presença do lúpulo era mais notada nesse óleo extraído com fluido supercrítico. Inclusive, amostras acima de 5,0 mL tiveram análises sensoriais com pontuação bem baixas, uma vez que a caracterização de amargor, de herbal e de citricidade acentuadas também é um problema.

Portanto, uma análise econômica ainda precisa ser realizada, uma vez que a extração com fluido supercrítico não é um processo barato e necessita o refinamento do óleo essencial, assim como a extração por arraste a vapor não apresenta um rendimento bom para escalas industriais. Uma mistura de ambos os processos e métodos deve ser utilizado na indústria para uma maior viabilidade financeira se o uso do óleo essencial for requerido ou demandado.

Por outro lado, em termos sensoriais e qualitativos, pode-se dizer com certeza que o óleo essencial do lúpulo é um bom substituto ao *pellet* e, se manipulado de acordo com o que se quer no produto final, pode vir a ser ainda melhor nos seus resultados, conseqüentemente, na experiência e nas mesas dos consumidores finais.

6. CONCLUSÕES

Ao final do trabalho, pode-se concluir que, primeiramente, em relação a comparação de rendimento entre os processos de extração, ficou claro que o processo de extração supercrítica com CO₂ como solvente apresenta maior rendimento do que o processo de arraste a vapor, mesmo que, para pressões acima de 150 bar, haja uma mistura de óleo com resinas e outros compostos não voláteis. .

Após extraído os óleos essenciais, a etapa de caracterização dos compostos é muito importante e, nesse sentido, obteve-se valores similares em relação aos compostos majoritários, quando comparados os dois métodos de extração: predominância das substâncias mirceno, o α -humuleno e o β -farneceno que garantem maior ou menor frescor, amargor e aroma herbáceo respectivamente na cerveja produzida de acordo com a quantidade de cada um desses componentes no óleo essencial. Logo, saber a característica de cerveja que se quer produzir e se obter, passa bastante numa análise prévia desse tipo de informação principalmente.

Por fim, dentro as cervejas produzidas com o óleo extraído por arraste a vapor, as que mais se assemelharam com uma cerveja convencional fabricada com *pellets* de lúpulo foram as de adição entre 1,0 mL e 5,0 mL de óleo essencial extraído por arraste a vapor e por fluido supercrítico, principalmente, no volume de 2,5 mL adicionados ao processo de fervura. Com certeza, quanto maior for esse volume, dentro dessa faixa de qualidade, maior também será o amargor, o frescor e o aroma herbal, o que se pode constatar nos gráficos gerados e avaliados sensorialmente pelos degustadores.

7. REFERENCIAL BIBLIOGRÁFICO

ALVARENGA, D. **Consumo de cerveja "migra" para dentro de casa e volume de vendas no Brasil é o maior desde 2014**. Disponível em G1.globo.com: <https://g1.globo.com/economia/noticia/2021/05/23/consumo-de-cerveja-migra-para-dentro-de-casa-e-volume-de-vendas-no-brasil-e-o-maior-desde-2014.ghtml>. Acesso em 22 de Agosto de 2021

APROLÚPULO. *revistagloborural.globo.com*, disponível em Globo Rural: <https://revistagloborural.globo.com/Noticias/Agricultura/noticia/2021/08/area-plantada-de-lupulo-cresce-110-no-brasil-impulsionada-pelas-cervejas-artesanais.html>. Acesso em 22 de Agosto de 2021

ARAÚJO, F., SILVA, P., & MINIM, V. **Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro**. *Ciência e Tecnologia de Alimentos*, pp. 121-128. 2003

BAREN, C. M. **Composición química y actividades biológicas de una especie aromática y medicinal de la estepa patagónica con potencial interes industrial: Mulinum spinosum**. *Tese de Doutorado*. Buenos Aires, AR: Universidade de Buenos Aires. 2008

BERNOTIENĖ, G., NIVINSKIENĖ, O., BUTKIENĖ, R., & MOCKUTĖ. **Chemical composition of essential oils of hops (Humulus lupulus L .) growing wild in Aukštaitija**. *Chemija*, p.31-36. 2004

BITU, H. **Cervejas especiais**. *Semana da Química*. 2009

BIZZO, H. **Óleos essenciais no Brasil: aspectos gerais, desenvolvimento e perspectivas**. *Química Nova*, p.1-7. 2009

CARVALHO, B., BENTO, C., & SILVA, J. **Elementos Biotecnológicos Fundamentais No Processo Cervejeiro: 1º Parte – as Leveduras**. *Departamento de Biotecnologia*. 2006

CASSEL, E., & VARGAS, R. **Experiments and modeling of the Cymbopogon winterianus essential oil extraction by steam distillation**. *J. Mex. Soc*, p.57-60. 2006

CONDADO DA CERVEJA. **Lúpulo: o tempero da cerveja**. condadodacerveja.com.br, disponível em: <https://www.condadodacerveja.com.br/lupulo-o-tempero-da-cerveja/>. Acesso em 22 de Agosto de 2021

COSTA, S. O. **Levantamento e análise de métodos de extração de óleos essenciais**. *Enciclopédia Biosfera*, p.2038-2052. 2012

FARAG, M. A., & WESSJOHANN, L. A. **Cytotoxic effect of commercial Humulus lupulus L. (hop) preparations - In comparison to its metabolomic fingerprint**. *Journal of Advanced Research*, v.4, p.417-421. 2012

- FERREIRA, R., VASCONCELOS, M., JUDICE, V., & NEVES, J. **Inovação na fabricação de cervejas especiais na região de Belo Horizonte. *Perspectivas em Ciência da Informação***, p.171-191. 2011
- GARCEZ, J. J. **Obtenção do extrato volátil de sementes de *Anethum graveolens* L. por diferentes técnicas extrativas. *Dissertação***. Porto Alegre, RS, Brasil: PUCRS. 2016
- GUIMARÃES, R. **A Química da Cerveja Química e Sociedade. *Academia***, pp. 98-115. 2014
- HUGHES, G. **Cerveja Feita em Casa: Tudo sobre os ingredientes, os equipamentos e as técnicas para produzir a bebida em vários estilos. *Publifolha***, disponível em: folha.com.br. 2014
- JORGE, E. P. **Processamento de cerveja sem álcool. *Tese de Dissertação***. Goiânia, GO, Brasil: PUC. 2004
- LUCAS, A. M. **Estudo comparativo de extratos voláteis de Eucaliptos geneticamente modificados e não geneticamente modificados**. Porto Alegre, RS, Brasil: PUCRS. 2011
- MAPA. ***Mercado cervejeiro cresce no Brasil e aumenta interesse pela produção nacional de lúpulo e cevada***, disponível em Gov.br: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/agricultura-e-pecuaria/2021/08/mercado-cervejeiro-cresce-no-brasil-e-aumenta-interesse-pela-producao-nacional-de-lupulo-e-cevada>. Acesso em 22 de Agosto de 2021
- MCNAIR, H. M., & MILLER, J. ***Basic gás chromatography***. New Jersey, USA: John Wiley & Sons. 2009
- MELO, M., SILVESTRE, A. J., & SILVA, C. M. **Supercritical fluid extraction of vegetable matrices: Applications, trends and future perspectives of a convincing green technology. *The Journal of Supercritical Fluids***, p.115-176. 2014
- MOIR, M. Hops: **A millennium review. *Journal of the American Society of Brewing Chemists***, p.131-146. 2000
- MORADO, R. ***Larrouse da Cerveja***. São Paulo: Larousse do Brasil. 2011
- QUEIROZ, N. C. **Métodos de extração e/ou concentração de compostos encontrados em fluidos biológicos para posterior determinação cromatográfica. *Química Nova***, p.68-76. 2001
- ROSA, S., COSENZA, J., & LEÃO, L. **Panorama do setor de bebidas no Brasil. *BNDES Setorial***, p.101-150. 2006
- SANTOS, S. P. ***Os Primórdios da Cerveja no Brasil***. Cotia: Ateliê Editorial. 2003
- SERAFINI, L. A., & BARROS, N. M. **Biotechnologia na agricultura e na agroindústria. *Agropecuária***. 2001

SILVA, A. H., & FARIA, C. F. **Avaliação da intensidade de amargor e do seu princípio ativo em cervejas de diferentes características e marcas comerciais.** *Ciência e Tecnologia de Alimentos*. 2008

SOCIEDADE DA CERVEJA. *Maverick.com.br*, disponível em <http://www.maverick.com.br/historia-cerveja2.html>. Acesso em 23 de Agosto de 2021

SPÓSITO, M., ISMAEL, R., BARBOSA, C., & TAGLIAFERRO, A. **A cultura do lúpulo.** Piracicaba, São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo. 2019

VAN RUTH, S. M. **Methods for gas chromatography-olfactometry: a review.** *Biomolecular Engineering*, p.121-128. 2001

XAVIER, B. V. **Análise cromatográfica/olfatométrica do potencial aromático de extratos naturais livres e incorporados a materiais pela impregnação supercrítica.** *Dissertação de Doutorado*. Porto Alegre, RS, Brasil: PUCRS. 2016

ZUPPARDO, B. **Uso de goma Oenogum para estabilização coloidal e de espuma em cerveja.** Piracicaba, São Paulo, Brasil: Universidade de São Paulo. 2010

Müller, Luciano da Silva

Estudo comparativo das propriedades da cerveja artesanal produzida com e sem o óleo essencial do lúpulo / Luciano da Silva Müller – 2021.

56 f.

Tese (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Engenharia e Tecnologia dos Materiais, PUCRS

Orientador: Prof. Dr. Eduardo Cassel

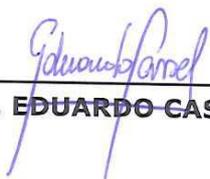
1. Lúpulo. 2. Óleo essencial. 3. Análise sensorial. 4. Cerveja. 5. Extração. 6. Cromatografia gasosa. I. Luciano da Silva Müller. II. Título



Estudo Comparativo das Propriedades de Cerveja Artesanal Produzida com e sem o Óleo Essencial do Lúpulo

CANDIDATO: LUCIANO DA SILVA MÜLLER

Esta Dissertação de Mestrado foi julgada para obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA E TECNOLOGIA DE MATERIAIS e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia e Tecnologia de Materiais da Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul.

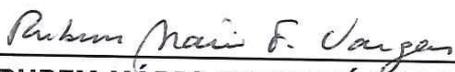


DR. EDUARDO CASSEL - ORIENTADOR

BANCA EXAMINADORA



DR. RAFAEL NOLIBOS ALMEIDA - PUCRS



DR. RUBEM MÁRIO FIGUEIRÓ VARGAS - DO PGETEMA - PUCRS



Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul
Pró-Reitoria de Graduação
Av. Ipiranga, 6681 - Prédio 1 - 3º. andar
Porto Alegre - RS - Brasil
Fone: (51) 3320-3500 - Fax: (51) 3339-1564
E-mail: prograd@pucrs.br
Site: www.pucrs.br