

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA E ENGENHARIA DE ALIMENTOS  
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS

João Luiz Mendes Lima Moretto

**Maturação de cervejas – o estado da arte**

Orientador: Alan Ambrosi

Co-orientador: Jaciane Lutz Ienczak

Florianópolis

2022

João Luiz Mendes Lima Moretto

## **Maturação de cervejas – o estado da arte**

Trabalho de Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Alimentos do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia de Alimentos.

Orientador: Prof. Dr. Alan Ambrosi

Coorientadora: Prof<sup>a</sup>. Dra. Jaciane Lutz Ienczak

Florianópolis

2022

### Ficha de identificação da obra

Moretto, João Luiz Mendes Lima  
Maturação de cervejas : o estado da arte / João Luiz  
Mendes Lima Moretto ; orientador, Alan Ambrosi,  
coorientador, Jaciane Lutz Ienczak, 2022.  
43 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,  
Graduação em Engenharia de Alimentos, Florianópolis, 2022.

Inclui referências.

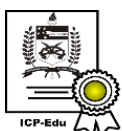
1. Engenharia de Alimentos. 2. Cerveja. 3.  
Envelhecimento. 4. Madeira. 5. Tecnologia cervejeira. I.  
Ambrosi, Alan. II. Ienczak, Jaciane Lutz. III.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Graduação em  
Engenharia de Alimentos. IV. Título.

João Luiz Mendes Lima Moretto

## Maturação de cervejas – o estado da arte

Este de Trabalho Conclusão de Curso foi julgado adequado para obtenção do Título de “bacharel” e aprovado em sua forma final pelo Curso Engenharia de Alimentos

Local, 22 de março de 2022.



Documento assinado digitalmente  
Joao Borges Laurindo  
Data: 29/03/2022 17:56:00-0300  
CPF: 052.167.828-50  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. João Borges Laurindo, Dr.  
Coordenador do Curso

### Banca Examinadora:



Documento assinado digitalmente  
Alan Ambrosi  
Data: 30/03/2022 11:21:50-0300  
CPF: 008.340.800-28  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. (a) Alan Ambrosi, Dr. (a)  
Orientador (a)  
Instituição USFC



Documento assinado digitalmente  
Patricia Poletto  
Data: 30/03/2022 11:52:56-0300  
CPF: 004.869.830-05  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Prof. (a) Patrícia Poletto, Dr. (a)  
Avaliador (a)  
Instituição UFSC



Documento assinado digitalmente  
Callebe Camelo Silva  
Data: 01/04/2022 10:46:17-0300  
CPF: 047.897.811-19  
Verifique as assinaturas em <https://v.ufsc.br>

---

Callebe Camelo Silva M.Sc.  
Avaliador (a)  
Instituição UFSC

Este trabalho é dedicado aos meus colegas de classe, aos meus queridos pais, Luiz e Lucilia e meu irmão Marcelo.

## AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família que me apoiou e incentivou nos momentos de dúvida e exaustão.

Aos professores, muito obrigado por compartilhar seus conhecimentos conosco e ainda pela paciência.

Aos meus orientadores por me guiar com paciência e entusiasmo para concluir esse trabalho.

Agradeço aos meus amigos que me incentivaram em todos os momentos.

E por fim, aos meus colegas de trabalho pela compreensão e incentivo durante esse longo período que passei neste curso.

"A perfeição não pode ser concebida sem uma forte dose de egoísmo, orgulho,  
tenacidade e de cerveja."

Charles De Gaulle

## RESUMO

A cerveja é a bebida alcoólica mais consumida no Brasil. Com o aumento da procura por cervejas e experiências novas, aliado ao crescimento do mercado de cervejas especiais, os cervejeiros estão constantemente buscando desenvolver novos métodos de produção, ou resgatando métodos antigos para oferecer sabores cada vez mais complexos aos seus admiradores. Dentre esses novos métodos, pode-se destacar a maturação de cervejas em madeira, processo que visa alterações químicas na cerveja por meio de reações de oxidação ou interações com a madeira. Este trabalho tem por finalidade reunir informações atuais acerca do processo de maturação de cervejas, bem como apresentar fatores e aspectos que influenciam no processo de maturação da cerveja. Foi realizada uma extensa pesquisa em artigos e livros publicados de forma a apresentar o estado da arte do processo de maturação de cervejas. Adicionalmente, esse trabalho visa auxiliar no processo de tomada de decisão no que tange o processo de maturação de cervejas com ou sem a adição de aspectos sensoriais da madeira. Por fim, a maturação de cerveja com ou sem a adição de madeira confere características sensoriais únicas que acrescenta valor de mercado ao produto.

**Palavras-chave:** Cerveja, madeira, cerveja envelhecida, tecnologia cervejeira.



## **ABSTRACT**

Beer is the most consumed alcoholic beverage in Brazil. With the increase in demand for beers and new experiences, combined with the growth of the specialty beer market, brewers are constantly looking to develop new production methods, or rescuing old methods to offer increasingly complex flavors to their admirers. Among these new methods, we can highlight the maturation of beers in wood, a process that aims to chemical change the beer through oxidation reactions or iterations with wood. This work aims to gather current information about the beer maturation process, as well as to present factors and aspects that influence the beer maturation process. An extensive research was carried out in published articles and books in order to present the state of the art of the beer maturation process. Additionally, this work aims to assist in the decision-making process regarding the maturation process of beers with or without the addition of sensory aspects of wood. Finally, beer maturation with or without the addition of wood gives unique sensory characteristics that add market value to the product.

**Keywords:** Beer, wood, aged beer, brewing technology.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Evolução do número de publicações relacionadas ao “ <i>beer aging</i> ” no banco de dados <i>ScienceDirect</i> .....	20
Figura 2: Evolução do número de publicações relacionadas ao “ <i>beer aging</i> ” no banco de dados Scopus.....	20
Figura 3: Número de publicações por país no banco de dados Scopus.....	21
Figura 4: Número de publicações por afiliação no banco de dados Scopus.....	21
Figura 5: Evolução do número de cervejarias no Brasil.....	24
Figura 6: Fluxograma de diferentes aplicações do processo de maturação na fabricação de cerveja.....	28
Figura 7: Evolução da intensidade de perfis relacionados às características da cerveja. ....	33

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 Concentração de compostos de sabor em envelhecimento de cervejas tipo <i>Pale Ale</i> . .....	30
---	----

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 Características de cervejas e parâmetros de processo de maturação estudados nos últimos 10 anos.....	29
---	----

## **LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS**

*ABV – Alcohol By Volume*

*BA – Brewers Association*

*BJCP – Beer Judge Certification Program*

*CAMRA – Campaign for a Real Ale*

EUA – Estados Unidos da América

FG – Densidade final

IBU – Unidade de amargor

OG – Densidade inicial

SRM – Método de referência padrão (cor)

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO.....</b>	<b>15</b>
<b>2</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>17</b>
2.1	Objetivo geral .....	17
2.2	Objetivos específicos .....	17
<b>3</b>	<b>MÉTODO DE PESQUISA.....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>BIBLIOMETRIA.....</b>	<b>19</b>
<b>5</b>	<b>REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>22</b>
5.1	Produção de cervejas .....	22
<b>5.1.1</b>	<b>Fatores históricos .....</b>	<b>22</b>
<b>5.1.2</b>	<b>Estilos de cervejas .....</b>	<b>23</b>
<b>5.1.3</b>	<b>Mercado atual de cervejas .....</b>	<b>24</b>
<b>5.1.4</b>	<b>Etapas de fabricação de cervejas.....</b>	<b>25</b>
5.2	Maturação .....	26
<b>5.2.1</b>	<b>Influência dos parâmetros do processo na maturação de cervejas.....</b>	<b>29</b>
5.2.1.1	<i>Temperatura de armazenamento .....</i>	29
5.2.1.2	<i>Madeira.....</i>	31
<b>5.2.2</b>	<b>Parâmetros de acompanhamento.....</b>	<b>32</b>
5.2.2.1	<i>pH .....</i>	32
5.2.2.2	<i>Fator sensorial.....</i>	32
5.2.2.3	<i>Espectrometria de absorção molecular.....</i>	33
<b>5.2.3</b>	<b>Influência das matérias primas na maturação de cervejas.....</b>	<b>34</b>
5.2.3.1	<i>Malte .....</i>	34
5.2.3.2	<i>Lúpulo .....</i>	34
5.2.3.3	<i>Microbiota .....</i>	35
<b>5.2.4</b>	<b>Influência das características da cerveja na maturação .....</b>	<b>36</b>
5.2.4.1	<i>Presença de ésteres e fenóis na cerveja .....</i>	36

		14
5.2.4.2	<i>Gravidade final</i> .....	37
5.2.4.3	<i>Álcool</i> .....	37
5.2.4.4	<i>Presença de oxigênio</i> .....	38
<b>6</b>	<b>VANTAGENS E DESVANTAGENS</b> .....	<b>39</b>
6.1	Cervejas propícias ao envelhecimento.....	39
6.2	Desvantagens .....	40
6.3	Vantagens .....	40
<b>7</b>	<b>CONCLUSÃO</b> .....	<b>41</b>
	<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>42</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A ascensão do movimento *HomeBrewing* e das nano cervejarias resgata alguns métodos antigos e promove o desenvolvimento de novos métodos de produção na constante busca por sabores e aromas cada vez mais marcantes, inusitados e complexos.

Historicamente, as cervejas eram transportadas em barris de madeira por longos períodos de tempo, invariavelmente influenciando os aromas e sabores do produto. Com o avanço das tecnologias de produção e da era industrial, novos métodos e estilos foram ganhando espaço no mercado e aos poucos as cervejas comumente conhecidas foram se tornando cada vez mais leves e com aroma e sabores simples.

Uma preocupação que historicamente ganhou muito espaço com as cervejas leves, é o tempo de prateleira. Alguns fatores são analisados para determinar o tempo de prateleira, como estabilidade microbiológica, coloidal, de espuma e sensorial (VANDERHAEGEN, 2006).

Ao contrário do senso comum, que dita que cervejas não podem ser envelhecidas, esse trabalho evidencia que alguns estilos de cerveja podem e algumas vezes até devem passar por uma etapa de envelhecimento, com o objetivo de proporcionar uma experiência de consumo única e marcante.

O termo em inglês “*aging*” é utilizado para definir o processo de envelhecimento da bebida no qual podem ser geradas substâncias agradáveis ao consumo e degradação de substâncias desagradáveis. Por outro lado, o termo “*staling*” é utilizado para definir a degradação da bebida formando sabores e aromas desagradáveis para o consumo. Adicionalmente, em português o termo utilizado para “*aging*” é: envelhecimento ou maturação; e para “*staling*” é comumente utilizado o termo degradação.

Um estudo mostrou que os sabores advindos do envelhecimento de cervejas, nem sempre está ligado a *off-flavors* pelos consumidores. O mais importante para o consumidor é a relação entre determinado sabor e aroma e determinada marca (MUTZ, 2020). O autor ainda ressaltou que os parâmetros mais importantes de análise de uma cerveja sempre serão aromas e sabores.

Muitos estudos são observados em relação à estabilidade e ao declínio de sabores e aromas em cervejas, geralmente direcionados a cervejas tipo *Lager* por seu domínio do mercado de consumo de cervejas. Por outro lado, poucos estudos são encontrados na literatura referentes à análise da melhoria e da evolução em cervejas fortes tipo *Ale* (VANDERHAEGEN, 2006).



Neste sentido, este trabalho visou abordar o estado da arte sobre as principais técnicas usadas para a maturação de cervejas bem como vantagens, desvantagens e perspectivas futuras do processo de maturação de cervejas.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral deste trabalho foi realizar uma revisão da literatura atual sobre a maturação de cervejas.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os seguintes objetivos específicos foram traçados.

- realizar uma análise bibliométrica a respeito da maturação de cervejas.
- apresentar aspectos que influenciam o processo de maturação de cervejas.
- realizar uma revisão bibliográfica contendo artigos recentes relacionados à maturação de cervejas.
- identificar vantagens, desvantagens e perspectivas futuras do processo de maturação de cervejas.

### 3 MÉTODO DE PESQUISA

Nesse trabalho foi realizado levantamento junto a literatura publicada, coletando e selecionando informações de relevância para os aspectos relacionados à maturação de cervejas. Foram pesquisados artigos científicos e livros de forma a atingir os objetivos propostos nesse trabalho.

Os bancos de dados acessados foram: SciELO, Scopus, ScienceDirect e Google Acadêmico, além de dissertações e teses presentes no Banco de Teses e Dissertações da CAPES e na Biblioteca Digital Brasileira de Teses e Dissertações (BDTD).

No banco de dados Scopus foi aplicado filtro de forma que o descritor “*beer aging*”. Foi pesquisado em título, resumo e palavras chave. No Banco de dados ScienceDirect não foram aplicados filtros.

A pesquisa foi realizada em novembro de 2021.

Para fins de pesquisa nos bancos de dados, foi escolhido o descritor “maturação de cerveja” e sua tradução para o inglês “*Beer aging*”.

#### 4 BIBLIOMETRIA

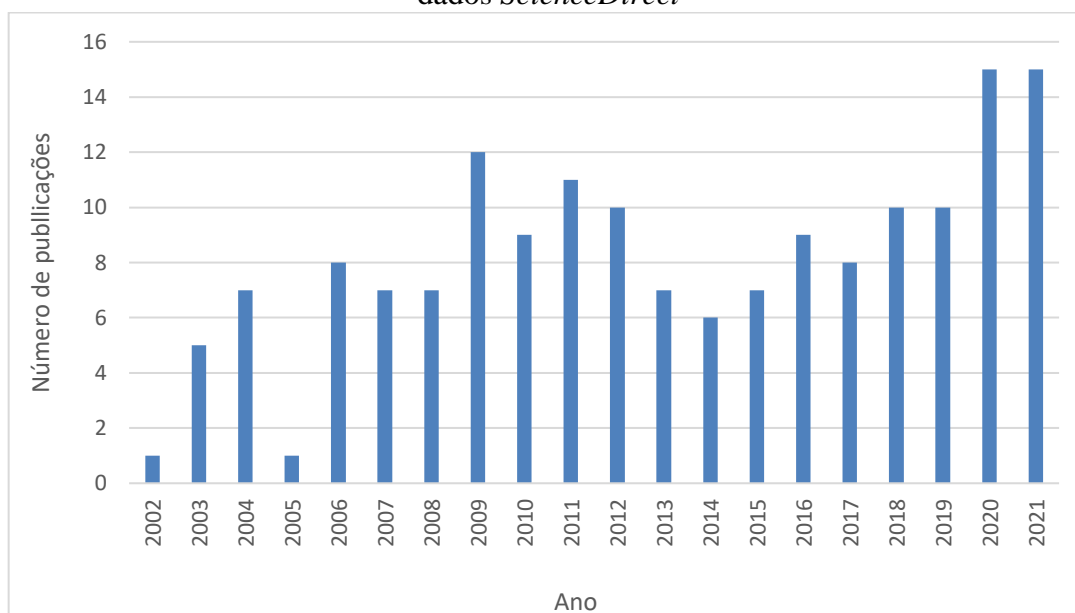
De acordo com os resultados obtidos para o descritor “*Beer aging*” no banco de dados SciELO foi observado apenas um resultado, para o banco de dados Scopus foram obtidos 131 resultados, *ScienceDirect* foram obtidos 198 resultados, google acadêmico obteve-se 1160 resultados, já para o Banco de Teses e Dissertações da CAPES foram obtidos 2 resultados e no BDTC foram obtidos 4 resultados. O número inferior de resultados no banco de dados Scopus em relação ao banco de dados *ScienceDirect*, pode estar relacionado a aplicação de filtro no banco de dados Scopus.

Quando o descritor “maturação de cerveja” foi utilizado não se observou resultado para o banco de dados SciELO e *ScienceDirect*, no google acadêmico foram obtidos 19 resultados, no Banco de Teses e Dissertações da CAPES foi obtido 1 resultado e no BDTC foram obtidos 6 resultados.

Os resultados obtidos no banco de dados *ScienceDirect* foram estratificados por ano de publicação e representados na Figura 1. Observou-se um aumento do número de publicações relacionadas ao “*beer aging*” nos últimos dois anos.

A base de dados Scopus forneceu uma análise dos resultados quanto ao país da publicação, ano que foi publicado e instituição de afiliação da publicação. Esta análise está representada nas Figuras 2, 3 e 4.

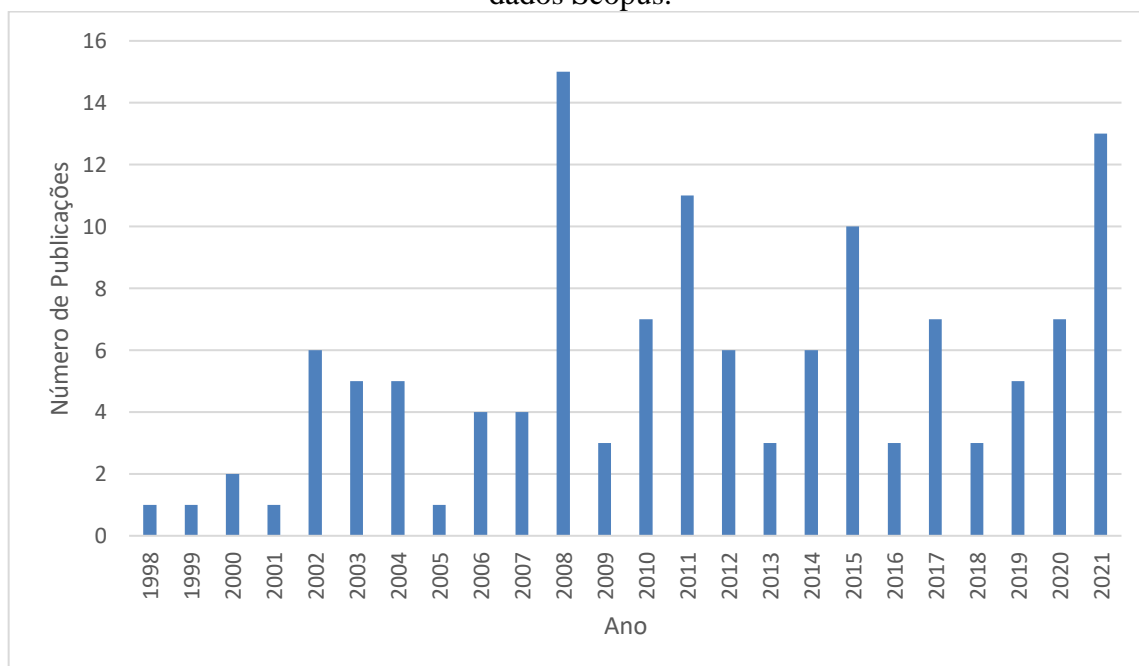
Figura 1: Evolução do número de publicações relacionadas ao “*beer aging*” no banco de dados *ScienceDirect*



Fonte: próprio autor.

No banco de dados Scopus as publicações não seguem uma tendência de incremento ou decréscimo, o ano que houve um maior número de publicações foi 2008, possivelmente devido a múltiplos artigos publicados por dois autores.

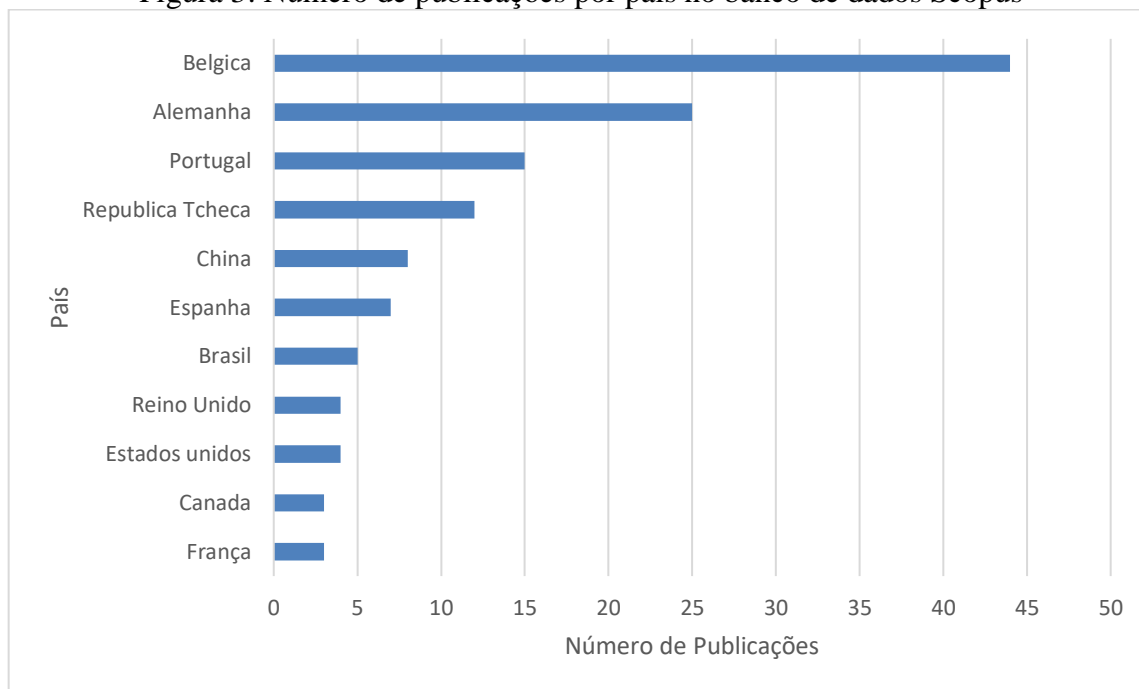
Figura 2: Evolução do número de publicações relacionadas ao “*beer aging*” no banco de dados Scopus.



Fonte: Banco de dados Scopus

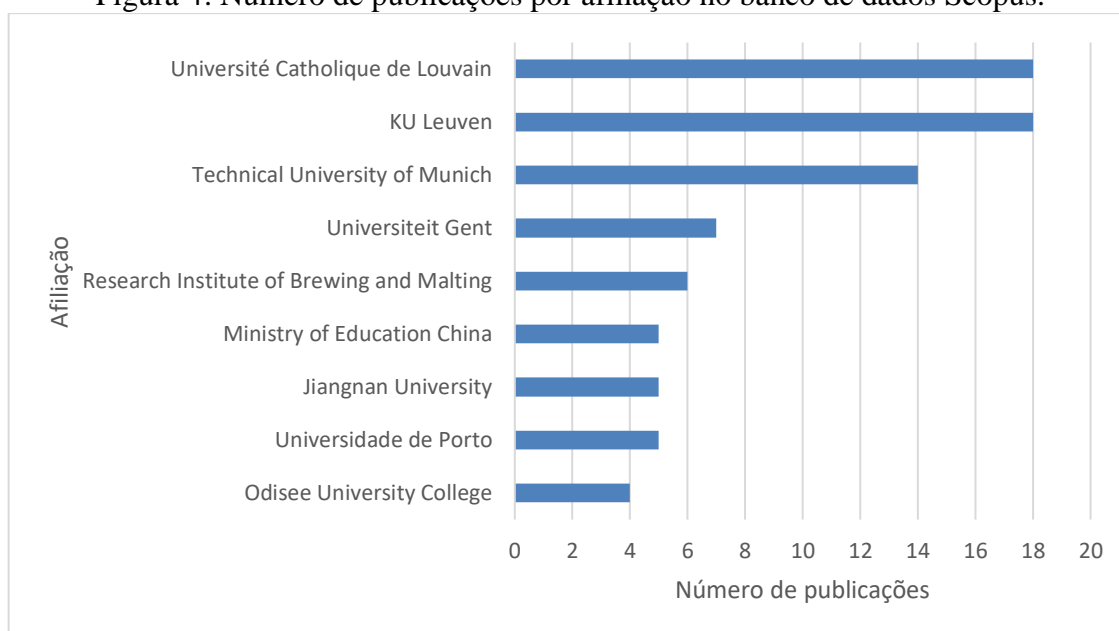
Há uma concentração de número de publicações na Bélgica, tradicionalmente conhecida por produzir cervejas tipo Trapista dentro das abadias localizadas no país, e na Alemanha, país conhecido por produzir cervejas estilo lagers. A observação se repete nas filiações das publicações.

Figura 3: Número de publicações por país no banco de dados Scopus



Fonte: Banco de dados Scopus

Figura 4: Número de publicações por afiliação no banco de dados Scopus.



Fonte: Banco de dados Scopus

## 5 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### 5.1 PRODUÇÃO DE CERVEJAS

#### 5.1.1 Fatores históricos

Indícios levam a crer que o homem produz cerveja desde 6000 A.C. O antropólogo Alan D. Eames (1947 – 2007) desenvolveu uma teoria, junto ao professor Solomon Katz, da universidade da Pensilvânia, de que a cerveja teve um papel fundamental na criação e no estabelecimento da sociedade civilizada (MORADO, 2009).

Algumas tábuas foram decifradas pelo arqueólogo checo Bedrich Hrozny em 1913, onde há registros comprovando, que os sumérios consumiam uma bebida chamada *sikaru*. Quase vinte tipos diferentes eram produzidos e eram utilizados como remédio, salário de trabalhadores e oferenda a deuses (MORADO, 2009).

Há também registros de produção de cerveja de painço pelos chineses por volta de 2000 A.C. Outro registro da importância social da cerveja é o código de Hamurabi, escrito por volta de 1730 A.C. Um fato interessante é que o documento continha um código que previa o afogamento do cervejeiro na própria cerveja, caso esta fosse intragável (HORNSEY, 2003).

O nome cerveja deriva do nome latino *cerevisia*, que foi uma homenagem à deusa Ceres, deusa da sabedoria e da fertilidade. A bebida recebeu esse nome na obra *Naturalis Historia*, de Plínio, o Velho, autor romano que viveu entre 23 a 79 D.C. (MORADO, 2009).

Acredita-se que neste início da história da produção da cerveja, ela era produzida em ânforas de barro, isso devido à descoberta em sítios arqueológicos destas ânforas com vestígios da bebida. Não há registros históricos da transição da utilização da ânfora de barro para os barris de madeira, mas sabe-se que, na era medieval a cerveja era produzida e transportada em barris de madeira, de forma análoga ao vinho.

Na Idade Média foi onde iniciaram os estudos dos processos, desenvolvimento de técnicas e capacidade de registrar as receitas. Isso aconteceu devido à produção de cerveja ocorrer dentro de mosteiros, que eram locais de desenvolvimento do conhecimento. Nesta época a cerveja era utilizada como remédio, bebida inebriante e muitas vezes alternativa para o consumo de água, que na maioria das vezes não era potável. Tem-se o primeiro registro de uma

cervejaria com fins comerciais na Alemanha, no mosteiro de Weißenstephan, em Freising, cervejaria ainda em atividade (HORNSEY, 2003).

Com o início da revolução industrial e desenvolvimento de equipamentos houve a migração da produção de cerveja em barris de madeira para equipamentos inertes feitos em aço inox e, com isso, o aparecimento de cervejarias multinacionais e a difusão de cerveja claras e leves conhecidas como *lager* (HINDY, 2015).

Por volta da década de 1970 nos EUA iniciou-se a dita Revolução da Cerveja Artesanal, onde começaram a aparecer pequenos produtores e cervejeiros caseiros, em resposta ao domínio massivo do mercado cervejeiro pelas Pilsen leves e claras. No mesmo período, surgiu na Inglaterra a CAMRA (*Campaign for a Real Ale*) ou Campanha pela Real Ale, um movimento, também, em resposta ao mercado dominado pelas Pilsen. Estes movimentos se caracterizaram pela busca de novos sabores nas cervejas e/ou retomada de características sensoriais de cervejas complexas. Isso trouxe à tona, novamente, o uso de barris de madeira, agora com a finalidade de atribuir aromas e sabores à cerveja, contribuindo para a complexidade sensorial da bebida (MORADO, 2009).

### 5.1.2 Estilos de cervejas

Atualmente pode-se encontrar no mercado uma variedade enorme de estilos, além de variações de um mesmo estilo de cerveja, que proporciona uma infinidade de possibilidades de degustações para o cliente.

Existem alguns guias de estilo de cervejas que foram desenvolvidos, inicialmente, para estabelecer critérios para concursos de cervejas, enquanto outros somente trazem características sensoriais de cada estilo com a finalidade de guiar o apreciador a explorar os aromas das cervejas. Os dois guias de concurso mais conhecidos hoje são o BJCP (*Beer Judge Certification Program*) e o BA (*Beer Association*). Em 2021 o BJCP publicou sua última atualização que conta com 128 estilos de cerveja distribuídos em 35 categorias. Além destes, é importante ressaltar o trabalho do jornalista e crítico de cervejas Michael Jackson, que publicou diversos livros sobre estilos de cerveja.

Os guias de estilo trazem informações importantes para o cervejeiro elaborar suas cervejas, estabelece parâmetros e ingredientes para os estilos de cervejas, dentre eles: graduação



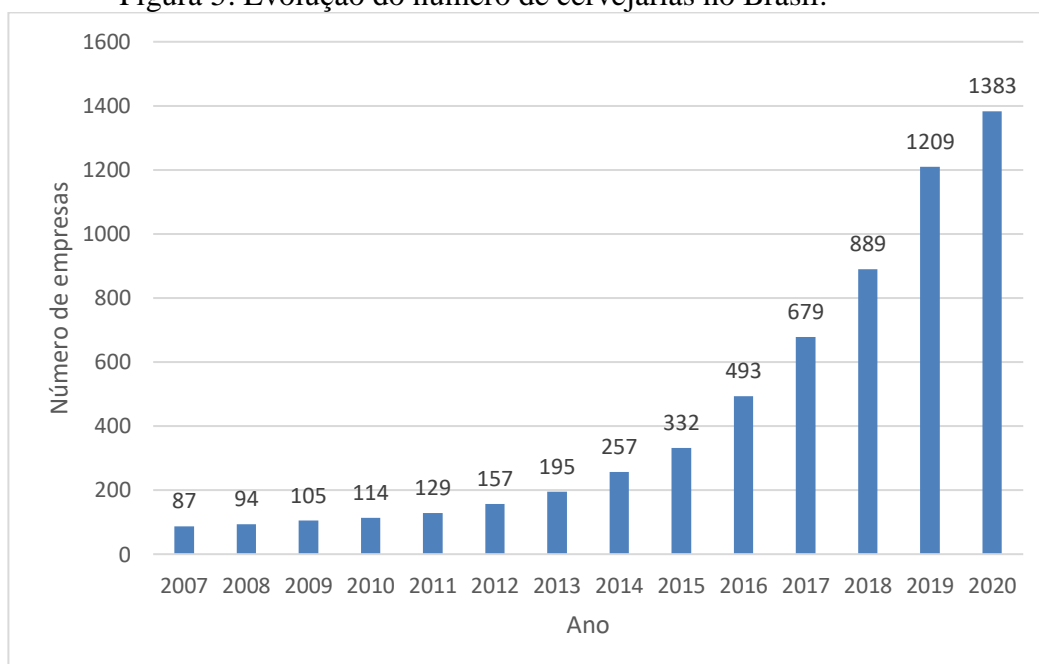
alcoólica, amargor, extrato inicial, extrato final, características de cor, aroma, sabor e sensação na boca, e ingredientes que são aceitos no estilo.

O envelhecimento de uma cerveja está intrinsicamente ligado à escolha do estilo de cerveja que será envelhecida e aos ingredientes e processos que deverão ser utilizados na confecção da cerveja (DAWSON, 2014).

### 5.1.3 Mercado atual de cervejas

As micro e nano cervejarias, isto é, cervejarias com produção mensal de até 200 mil litros, vêm ocupando espaço no mercado brasileiro de cerveja. Como pode ser observado na Figura 5, houve um aumento considerável no número de novas cervejarias nos últimos anos. De acordo com o Sebrae, o mercado brasileiro de cervejas especiais está em ascensão, e o consumo de cervejas especiais irá aumentar ainda mais nos próximos anos (MAPA, 2021).

Figura 5: Evolução do número de cervejarias no Brasil.



(Fonte: MAPA, 2021)

Estima-se que o mercado de cervejas especiais no Brasil represente 1,5 % do consumo em volume de cerveja, e a perspectiva é de aumento nos próximos anos (SEBRAE, 2019). Com o mercado em expansão, a procura de novas experiências pelo consumidor, o resgate de antigas técnicas e a busca por desenvolvimento de novas técnicas, o envelhecimento proposital e o uso

de madeiras na fabricação de cervejas, aparecem como uma alternativa para o desenvolvimento de novos aromas e sabores.

#### **5.1.4 Etapas de fabricação de cervejas**

Os processos envolvidos na produção de cerveja podem ser divididos nas seguintes etapas: malteação, moagem, brassagem, fervura, filtração, fermentação, maturação e envase (PALMER, 2006).

A malteação, apesar de atualmente não ser uma etapa realizada pelo cervejeiro, tem grande importância no processo de fabricação do mosto, pois é nela que há liberação de enzimas responsáveis pela conversão do amido do cereal em açúcares menores, de melhor fermentabilidade pelas leveduras. Este processo, geralmente conduzido em uma maltaria, consiste em umidificar o grão e submetê-lo a uma condição em que possa germinar. Durante a germinação, existe a produção de enzimas modificadoras de amido (KUNZE, 1983). Após o início da germinação, o grão é seco novamente e torrado para parar o processo e adicionar ou não aroma e sabor ao cereal, agora “maltado”. O termo Malte utilizado na indústria cervejeira se refere aos grãos que passaram pelo processo de malteação de forma a produzir uma grande gama de açúcares fermentescíveis (PALMER, 2006). No processo de secagem e torra são formadas melanoidinas, compostos que favorecem o envelhecimento de cervejas (DAWSON, 2014).

O malte é submetido à moagem para atingir a granulação ideal, neste processo o objetivo é expor a parte amilácea do malte de forma a favorecer a maior liberação possível de açúcares durante a etapa de brassagem sem danificar excessivamente a casca do malte. Uma moagem muito fina proporciona o entupimento da camada filtrante na etapa de filtração e a extração de compostos indesejados da casca, como taninos (KUNZE, 1983).

A brassagem ou mosturação consiste em adicionar os grãos de malte moídos a uma determinada quantidade de água aquecida. Durante esta etapa o cervejeiro estabelece rampas de temperatura e tempo de forma a favorecer a atuação das enzimas específicas. No caso de cervejas onde se deseja ter dulçor residual após a fermentação, a atuação da  $\alpha$ -amilase é favorecida (enzima responsável em hidrolisar o amido em maltose, maltotriose e dextrinas). Por sua vez, no caso de cervejas mais secas e menos encorpadas, a atuação da  $\beta$ -amilase é favorecida, enzima que atua na hidrólise do amido em glicose. (KUNZE, 1983).

Após a conversão do amido em açúcares, há a separação do caldo obtido, agora chamado de mosto, das cascas dos grãos em uma etapa de filtração e de lavagem das cascas. O mosto segue então para a fervura, na qual fica no mínimo 60 min com a intenção de evaporar o excesso de água, esterilizar o mosto, volatilizar substâncias indesejadas como dimetilsulfeto, extrair compostos aromáticos do lúpulo (que é adicionado nesta etapa) e converter  $\alpha$ -ácido do lúpulo (que é incorporado ao preparo neste momento) em iso- $\alpha$ -ácido, substância que confere amargor a cerveja (PALMER, 2006).

Terminada a fervura, o mosto é resfriado e inoculado com as leveduras que serão responsáveis pela fermentação, processo bioquímico no qual os açúcares do mosto são metabolizados e transformados em energia para a célula da levedura que excreta álcool e CO<sub>2</sub>, além de outros metabólitos, como ésteres e fenóis que conferem sabor e aroma à cerveja (HUGHES, 2013).

Subsequentemente à fermentação, há uma etapa comumente chamada de condicionamento a frio, onde as leveduras e sólidos em suspensão são decantados e separados da cerveja por resfriamento (PALMER, 2006).

A carbonatação pode ser feita de duas formas: carbonatação forçada ou refermentação na garrafa (*priming*). Na primeira, o CO<sub>2</sub> é diretamente solubilizado na cerveja por diferença de pressão; na segunda, adiciona-se uma pequena quantidade de açúcar esterilizado na cerveja. As leveduras irão consumir esse açúcar e excretar o CO<sub>2</sub>. Como a garrafa estará tampada isso impede que o CO<sub>2</sub> saia da garrafa por fim solubilizando na cerveja. O método de *priming* é mais tradicional e comumente utilizado por cervejeiros caseiros e pequenas cervejarias e em cervejas com perfil sensorial mais complexos (KUNZE, 1983).

## 5.2 MATURAÇÃO

Bebidas destiladas apresentam características sensoriais intensas e forte percepção do sabor alcoólico. O recurso do envelhecimento e uso da madeira no processo contribuem em diversos aspectos para atenuar estas características, por isso tem se tornado mais comum nesses casos. A extração e evolução de compostos fenólicos, a oxidação da bebida e o surgimento do caráter amadeirado resultam em um maior valor agregado para a bebida por meio de sua contribuição para riqueza e complexidade de aroma e sabor (BORTOLETTO et al, 2013).

Alguns fatores de tratamento da madeira nas tanoarias, como corte, maturação e tosta, influenciam na qualidade sensorial da bebida (CONNER et al, 2003).

Por outro lado, conforme os movimentos de cervejeiros caseiros, micro e nano cervejarias crescem, aumenta a busca de novos métodos de atingir complexidade de sabores e aromas em cervejas. Inspirado em outras bebidas e nos métodos e estilos históricos a utilização de madeira em cervejas foi sendo retomada e reinventada, ainda de forma muito empírica.

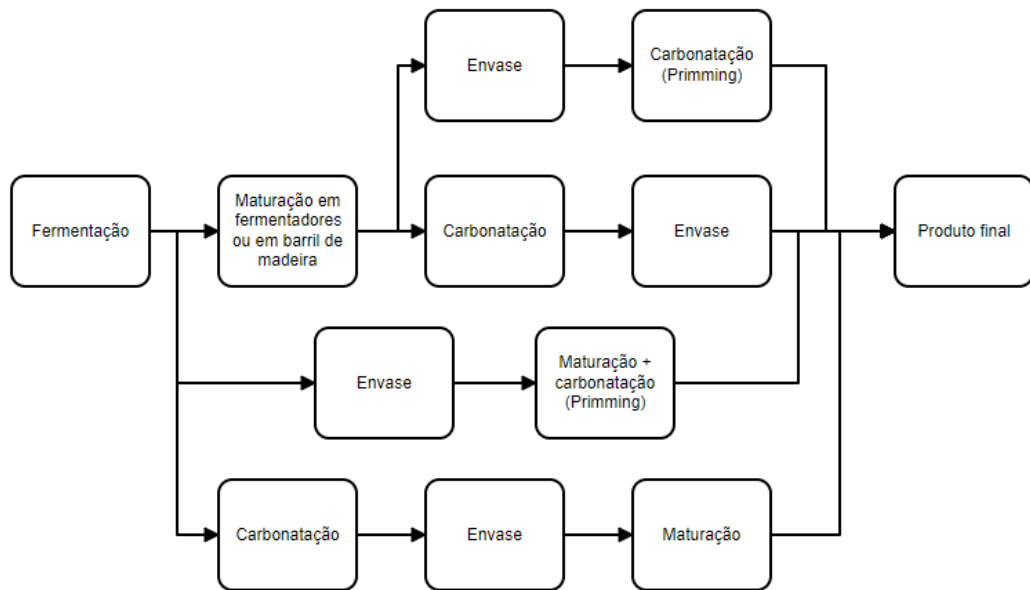
Em termos químicos a cerveja é uma solução de água-etanol com centenas de diferentes moléculas dissolvidas. Termodinamicamente, uma garrafa de cerveja é um sistema fechado que irá tentar atingir um estado de mínima energia e máxima entropia. Consequentemente, as moléculas irão reagir entre si, o que irá determinar as características do envelhecimento da cerveja (VANDERHAEGEN, 2006).

Inicialmente acreditava-se que o (E) 2-nonenal seria a única molécula responsável pela degradação sensorial da cerveja. Porém, com o avanço nos estudos, pode-se observar que o processo de degradação de cerveja é extremamente complexo e envolve uma gama enorme de compostos e características (VADERHAEGEN, 2006).

Uma cerveja pode ser maturada por diferentes motivos, entre eles são citados: induzir a fermentação secundária para carbonatação da cerveja, maturação de sabores e aromas, redução e eliminação do potencial de turvação, ajustar compostos que influenciam na formação da espuma e ajustar aroma, sabor e cor da cerveja (MOSHER,2017).

O processo de maturação pode ser inserido em diferentes momentos na fabricação de cerveja, adicionalmente pode acontecer simultaneamente com outros processos. A figura 6 apresenta as diferentes possibilidades de emprego da maturação na fabricação de cervejas.

Figura 6: Fluxograma de diferentes aplicações do processo de maturação na fabricação de cerveja.



Fonte: Próprio autor

A partir do resultado da pesquisa realizada, buscando publicações com o termo *beer aging*, e selecionando os trabalhos de maior relevância para o estudo do processo, pode-se assumir que as recentes publicações envolvem majoritariamente o estudo da degradação sensorial da cerveja e o impacto de maturação de cervejas em contato com madeira, como pode-se observar no Quadro 1.

Quadro 1 Características de cervejas e parâmetros de processo de maturação estudados nos últimos 10 anos

Características da cerveja		Parâmetros do processo			
Estilo da cerveja	Graduação alcoólica (v/v)	Madeira Utilizada	Tempo de armazenamento	Temperatura de armazenamento	Referencia
<i>Belgian Dark Strong Ale</i>	9%	Carvalho (vinho do porto)	3 meses	Ambiente	(COELHO, 2019)
			11 meses		
			16 meses		
<i>35 Ales e Lagers diversas</i>	-	-	8 meses	22 °C	(GIBSON, 2018)
			7 dias	37 °C	
<i>Blond Ale</i>	-	-	3 meses	30 °C	(TRUEBA, 2021)
<i>Amber Ale</i>					
<b>Bock</b>	-	-	7 dias	37 °C	(FERREIRA, 2022)
			14 dias	37 °C	
			3 meses	20 °C	
			6 meses	20 °C	
<i>Stout</i>	9,6%	Carvalho	38 semanas	Ambiente	(BOSSAERT, 2021)
<i>Blond Ale</i>	3,1%				
<i>Blond Ale</i>	8,8%				
<i>Flanders Red Ale</i>	6,2 %	Carvalho	3 meses	Ambiente	(ANGELONI, 2016)
			5 meses		

Fonte: Próprio autor

“-“: Não informado.

## 5.2.1 Influência dos parâmetros do processo na maturação de cervejas

### 5.2.1.1 Temperatura de armazenamento

A temperatura de armazenamento da cerveja durante o envelhecimento afeta diretamente suas características sensoriais, por afetar as reações químicas envolvidas. A velocidade de uma reação química aumenta com o acréscimo da temperatura, dependendo da energia de ativação da reação. Essa energia de ativação difere em cada reação química, conseqüentemente, diferentes temperaturas de armazenamento irão resultar em diferentes gerações de compostos e assim diferentes perfis sensoriais (VANDERHAEGEN, 2006).

Segundo Briggs (2004), a temperatura ideal de uma adega é entre 10 e 17 °C. Esta faixa de temperatura satisfaz a necessidade de prevenção de contaminação microbiológica, evita o desenvolvimento de sabores desagradáveis e permite efetiva fermentação secundária na garrafa, se for o caso.

Cervejas envelhecidas em temperaturas acima de 20 °C tendem a desenvolver características desagradáveis ao paladar, sendo que a faixa de temperatura recomendada para envelhecimento de cervejas está na faixa entre 11 e 13 °C (OLIVER, 2012).

Em estudo desenvolvido por Vanderhaegen (2003), onde o autor observou a evolução de compostos de interesse em uma cerveja de fermentação alta (Pale Ale) acondicionada em diferentes temperaturas e com diferentes composições de atmosfera, pode ser observada a mudança na composição da cerveja de acordo com as condições empregadas. Na tabela 1 estão representados os resultados do referido estudo.

Tabela 1 Concentração de compostos de sabor em envelhecimento de cervejas tipo *Pale Ale*.

		6 MESES DE ENVELHECIMENTO					
		0°C		20°C		40°C	
COMPOSTO	LS	Fresca	CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub>	Ar	CO <sub>2</sub>	Ar
	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)	(µg/l)
Acetato de etila	21000	28099	27578	27747	26711	22340	22650
Acetato de isoamila	1200	1967	1972	1712	1659	760,2	788,6
Hexanoato de etila	210	264,7	266,2	239,3	214	125,9	100,0
Acetaldeídos	25000	1052	1258	1377	3211	1943	3961
Diacetil	150	2,0	6,4	24,8	58,6	72,0	109,7
Trans-2-nonenal	0,11	0,08	0,07	0,10	0,10	0,10	0,10

Limite sensorial (LS)

Fonte: (VANDERHAEGEN, 2003)

### 5.2.1.2 Madeira

Historicamente os barris de madeira eram utilizados para a fermentação e maturação da cerveja; com a industrialização, os equipamentos foram substituídos por outros de aço inoxidável. Alguns cervejeiros descobriram que a utilização de madeira para o armazenamento de cerveja adiciona alguns sabores e aromas complementares que contribuem para a complexidade da cerveja (DAWSON, 2014). Geralmente, o uso atual de madeira no envelhecimento de cervejas visa transferir características de bebidas que foram previamente envelhecidas nos barris de madeira. Porém, algumas características da própria madeira serão transmitidas para a cerveja e irão contribuir significativamente para o perfil sensorial (LENTZ, 2018).

Os métodos comumente utilizados para maturação de cerveja com madeira são: barris virgens, barris reaproveitados de destilarias ou vinícolas, chips ou cubos de madeira (NEVES, 2018).

Vários fenômenos ocorrem quando uma cerveja é envelhecida em madeira, por exemplo, a extração de compostos da madeira, evaporação de compostos da cerveja, oxidação de compostos da cerveja e reação entre compostos da cerveja e compostos da madeira. A extração de compostos da madeira depende de alguns fatores, entre eles, concentração do composto na madeira, tempo e área de contato da cerveja com a madeira, condições de armazenamento e composição da cerveja (COELHO, 2019).

Várias madeiras podem ser utilizadas para adicionar esses aromas e sabores na cerveja, entre elas carvalho, cedro e castanheira, mais utilizadas no hemisfério norte (DAWSON, 2014). Alguns estudos no Brasil indicam que madeiras brasileiras são propícias ao uso em cervejas como amburana, cumaru, ipê, putumuju, bálsamo e jaqueira (NASCIMENTO, 2017).

Um fator importante que deve ser observado em maturação de cervejas em barris de madeira é a alteração do teor alcoólico que pode ocorrer durante o processo. Isso pode ocorrer devido a microbiota original do barril, oriunda da própria madeira ou de bebidas anteriormente envelhecidas no barril. Tal microbiota (tipicamente *Brettanomyces/Dekkera* sp) pode fermentar os açúcares residuais presentes na cerveja (COELHO, 2019).

Uma grande variedade de compostos voláteis é transferida para a cerveja quando envelhecida com uso de madeira, entre eles a vanilina, o ácido vanílico e guaiacol. Os compostos extraídos podem variar com a espécie da madeira e da região de origem da madeira



(LENTZ,2018). A maioria destes aromas e sabores são provenientes de compostos taninos, a exemplo da vanilina que proporciona sabor de baunilha, lactonas (coco e pêssego), eugenol (cravo) e canela (guaicol) (NASCIMENTO, 2017).

Ainda, pode-se observar que o tempo de armazenamento da cerveja no barril de madeira pode alterar a composição de compostos voláteis presentes na cerveja. Longos períodos de tempo tendem a produzir uma grande variedade de compostos voláteis, tanto oriundo de fermentação quanto de extração de compostos do barril. Por outro lado, em curtos períodos de envelhecimento em barris, a cerveja tende a ter somente compostos voláteis que foram extraídos da madeira além dos compostos originais da cerveja (COELHO, 2019).

## **5.2.2 Parâmetros de acompanhamento**

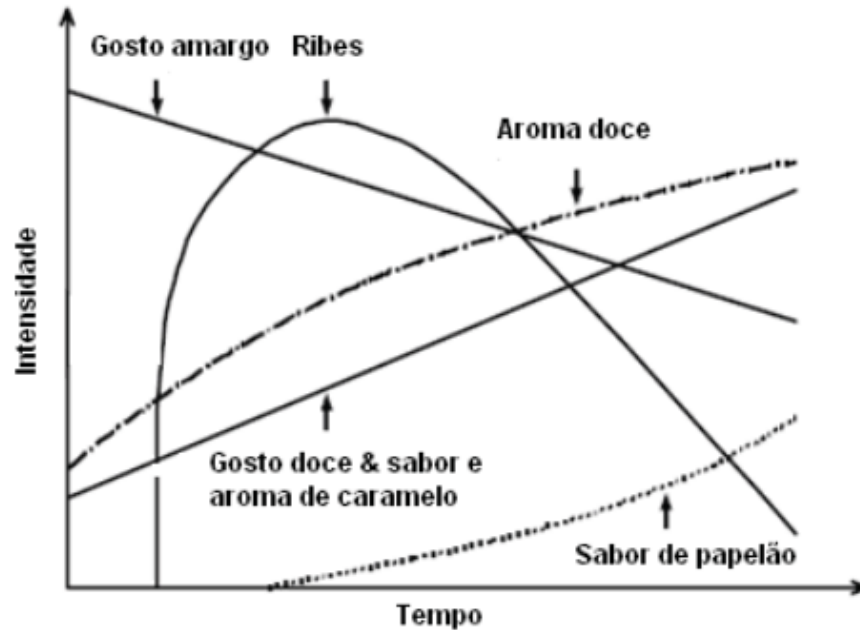
### *5.2.2.1 pH*

Em seu estudo onde uma cerveja estilo Lager foi adicionada de cubos de madeiras brasileiras por um período de 90 dias, Nascimento (2017) observou que não houve variação de pH em cervejas envelhecidas com a adição de madeira. Porém, cabe ressaltar que o pH é um parâmetro utilizado como indicador de contaminação microbiológica, assim, por sua simplicidade de medição pode ser um parâmetro a ser observado durante o processo.

### *5.2.2.2 Fator sensorial*

De forma generalizada, Dalglish (1977) descreve o comportamento sensorial de cervejas como aumento do aroma adocicado com o decorrer do tempo, a diminuição do sabor amargo, o aparecimento, incremento e posterior decréscimo da presença de aroma de folha de groselha negra e, por fim, o aparecimento e incremento do sabor de papelão, como apresentado na Figura 7. É importante comentar que, embora seja um estudo realizado há bastante tempo, diversos pesquisadores ainda usam o gráfico para descrever a evolução dos perfis sensoriais da cerveja.

Figura 7: Evolução da intensidade de perfis relacionados às características da cerveja.



Fonte: DALGLIESH (1977)

Frequentemente, o envelhecimento de cervejas é relacionado com o desenvolvimento de sabor de papelão e o “declínio” das características sensoriais boas da cerveja. Entretanto, o envelhecimento de cervejas tipo *Ale* fortes podem desenvolver características de aroma e sabor agradáveis (VANDERHAEGEN, 2006).

#### 5.2.2.3 Espectrometria de absorção molecular

Compostos fenólicos que atuam como antioxidantes, são componentes presentes em cervejas que podem ser avaliados em um processo de envelhecimento de cerveja, uma vez que sofrem decaimento durante o processo. Para determinação da atividade antioxidante dos componentes presentes na bebida, uma reação química é realizada em uma amostra e a absorvância da mesma é medida em um espectrofotômetro de absorção molecular UV-VIS (MAS) (Oñate-jaén, 2006).

Porém, por se tratar de um método com altos custos, torna-se inviável o seu uso em cervejarias.

### 5.2.3 Influência das matérias primas na maturação de cervejas

A escolha correta de matérias primas pode influenciar as características sensoriais da cerveja tanto positivamente quanto negativamente. Ainda podem influenciar no perfil sensorial da cerveja a escolha de perfis de produção e/ou escolha de microrganismos que irão fermentar a cerveja (LENTZ, 2018). A seguir, são destacados os principais pontos a considerar.

#### 5.2.3.1 Malte

Uma etapa muito importante da malteação é a tosta do malte. Nesta etapa, o grão é aquecido para desenvolver sabores e aromas únicos como caramelo, chocolate e café (KUNZE, 1983). As substâncias de interesse no malte torrado para fins de maturação são as melanoidinas e outros subprodutos da reação de *Maillard* gerados durante a torra do malte. Essas substâncias são redutoras, isso significa que necessitam de oxigênio para estabilizar a cerveja durante o tempo de armazenamento. Devido à presença das melanoidinas, podem ocorrer na cerveja envelhecida aromas e sabores de cereja, madeira e amareto (DAWSON, 2014).

Maltes escuros possuem antioxidantes provenientes da reação de *Maillard* e da caramelização de açúcares durante a malteação, e a estabilidade de aromas e sabores na cerveja durante seu armazenamento é proporcional a sua capacidade redutora proveniente destes antioxidantes. Assim maltes escuros contribuem para a estabilidade da cerveja (VANDERHAEGEN, 2006).

Outra preocupação, que está presente em diversos alimentos, e também na cerveja, é a rancidez oxidativa. Na cerveja são encontrados com significância o ácido linoleico (C18:2) e ácido linolênico (C18:3), ambos provenientes da malteação. Estudos indicam que após o envase da cerveja, a oxidação lipídica é inibida, embora esse processo ainda não esteja bem definido (VANDERHAEGEN, 2006).

#### 5.2.3.2 Lúpulo

Historicamente, o uso do lúpulo em cervejas ocorreu devido a sua capacidade de estender seu prazo de validade. Com o tempo, o uso do lúpulo migrou para interesses de aroma

e sabor (DAWSON, 2014). Os iso- $\alpha$ -ácidos produzidos durante a fervura degradam com o tempo de envelhecimento da cerveja, sendo o exemplo mais comum a degradação para trans-2-nonenal, que é característica por proporcionar o sabor indesejado conhecido como papelão. Por outro lado, os  $\beta$ -ácidos, que inicialmente não contribuem para o amargor da cerveja, com o tempo oxidam em compostos chamados huluponas que contribuem para o amargor. Assim é importante para o cervejeiro que irá projetar uma cerveja para o envelhecimento levar em consideração a razão  $\alpha/\beta$ -ácido do lúpulo que será utilizado, desta forma a cerveja permanece equilibrada durante o período de armazenamento (DAWSON, 2014).

### 5.2.3.3 Microbiota

Majoritariamente, as cervejas são produzidas com levedura *Saccharomyces cerevisiae*, porém existem estilos de cerveja que usufruem de outros microrganismos para as fermentações primária, secundária, mista ou selvagem. Estes microrganismos são: *Acetobacter*, *Lactobacilos*, *Pediococcus* e *Brettanomyces*. Cada um deles tem um comportamento completamente diferente na presença de oxigênio e dos açúcares do mosto, além de serem influenciados pela temperatura de armazenamento da cerveja (DAWSON, 2014).

É conhecido que a fermentação com *Brettanomyces* tem uma alta contribuição para os aromas e sabores de uma cerveja devido à formação de compostos fenólicos. Porém, essa formação de compostos fenólicos ainda não está bem caracterizada, além de se mostrar muito complexa (LENTZ, 2018).

Um efeito importante a ser estudado é o decréscimo da estabilidade da espuma em cervejas que sofrem o processo de refermentação na garrafa. Devido à presença de leveduras e ação bioquímica destas, com o passar do tempo as proteínas presentes na cerveja são degradadas pelas proteases das leveduras, fazendo com que a espuma da cerveja perca estabilidade (VANDERHAEGEN, 2006).

Com relação à *S. cerevisiae*, é importante ressaltar que longos períodos de envelhecimento podem proporcionar que a levedura sofra autólise, processo onde há a morte da levedura e sua parede celular é rompida, liberando as substâncias presentes dentro da célula na cerveja. As substâncias intracelulares liberadas reagem com compostos provenientes do malte. Este fenômeno pode proporcionar a formação de aromas de tinta, e molho de soja, no

caso de cervejas com maltes torrados e umami no caso de cervejas com maltes caramelados (DAWSON, 2014).

Cervejas tipo *Ale* contem altos níveis de ésteres produzidos pela levedura durante a fermentação, isso cria agradáveis aromas e sabores de frutas (VANDERHAEGEN, 2007).

#### **5.2.4 Influência das características da cerveja na maturação**

##### *5.2.4.1 Presença de ésteres e fenóis na cerveja*

Ésteres e fenóis são subprodutos da fermentação pois durante o processo de metabolização dos açúcares do mosto as leveduras produzem diversas substâncias que influenciam no processo de envelhecimento da cerveja (DAWSON, 2014).

Os cervejeiros estão interessados em compostos fenólicos, principalmente por sua capacidade antioxidante e sua contribuição para aromas e sabores da cerveja (SCHOLTES, 2014).

Geralmente, as leveduras são classificadas em 2 categorias, tipo *Ale* e tipo *Lager*. Algumas características da fermentação diferenciam estes dois tipos, como a produção de ésteres, óleo fusel e fenóis. A produção destas substâncias também está associada com a temperatura de fermentação e com a cepa da levedura (DAWSON, 2014)

Ésteres são característicos por seu aroma de frutas, formados geralmente pela reação entre álcoois e ácidos orgânicos. As frutas *in natura* possuem seus aromas característicos devido aos ésteres formados por ácidos orgânicos e álcoois produzidos na célula. A exemplo, na maçã, o aroma característico é proveniente do acetato de etila; na banana, do acetato de isoamila (DAWSON, 2014)

Uma extensa gama de compostos fenólicos presentes na cerveja é extraída das matérias primas durante a fabricação. Isso inclui compostos fenólicos complexos que majoritariamente contribuem para a sensação de boca, turbidez, propriedades antioxidantes e retenção de espuma da cerveja. Por sua vez, compostos fenólicos simples impactam majoritariamente no aroma e sabor da cerveja (LENTZ, 2018).

Ésteres são produzidos majoritariamente como subprodutos da fermentação e conferem à cerveja características sensoriais de frutas frescas. Foi observado que os principais ésteres, iso-amil acetato, etil acetato e etil hexanoato, apresentam um decréscimo nas suas

concentrações durante o envelhecimento da cerveja. Alguns ficam com índices abaixo do limiar de percepção (VANDERHAEGEN, 2007).

Os fenóis, apesar de geralmente não serem substâncias desejadas em cervejas, em alguns estilos podem acrescentar complexidade aos aromas, como aroma de defumado, cravo e pimenta, que são derivados do malte e da fermentação, evoluem para aromas de tabaco ou couro, adocicado e baunilha, respectivamente (DAWSON, 2014).

Ainda, em cervejas ácidas, pode-se observar a presença de etil-lactato, um ester proveniente da reação entre o etanol e o ácido láctico (VANDERHAEGEN, 2007).

#### 5.2.4.2 *Gravidade final*

Gravidade final é um indicador de açúcares residuais na cerveja após a fermentação. O teor de açúcares residuais em uma cerveja é um importante fator a ser considerado para escolha de uma cerveja para ser envelhecida, pois esses açúcares reagem com o oxigênio e diminuem o potencial oxidativo da cerveja (DAWSON, 2014).

A oxidação de açúcares em processo de maturação de cervejas é pouco relatada na literatura. Entretanto, sabe-se que em monossacarídeos o carbono da carbonila linear é oxidado a um grupo carboxila. Em polissacarídeos, no final da cadeia que contém um carbono que não está ligado a outro açúcar, chamado carbono anomérico livre, é comumente chamado de final redutor (NELSON, 2019).

#### 5.2.4.3 *Álcool*

A produção de etanol é o principal objetivo da fermentação do mosto, mas durante esse processo as leveduras produzem, também, outros tipos de álcoois, chamados de óleos fusel (álcool isoamílico) e outros álcoois superiores. Estas substâncias são responsáveis por uma característica negativa em cervejas que devem ser servidas frescas, normalmente associada à sensação de calor alcoólico, apimentado e formigamento (DAWSON, 2014). Porém, os óleos fusels e outros álcoois superiores sofrem reações químicas principalmente com ésteres e fenóis formando aldeídos responsáveis pelo aroma de *toffee* e amêndoas, além de produzir novos ésteres com características sensoriais de vinho do porto, cereja e frutas secas (DAWSON, 2014).

Outro fator importante a ressaltar com relação ao teor de álcool na cerveja é a questão de conservação. Como a intenção é manter essa cerveja por longos períodos em uma temperatura amena, é importante que esta cerveja tenha um teor alcoólico acima de 8% (v/v), para que se mantenha a estabilidade microbiológica da cerveja (CALAGIONE, 2006)

Os álcoois superiores e óleo fusel, comuns em cervejas tipo ale de alto teor alcoólico, oxidam durante o armazenamento por longos períodos e produzem aldeídos, estes de diferentes aromas como amareto, toffee e caramelo (VANDERHAEGEN, 2006).

#### *5.2.4.4 Presença de oxigênio*

Ponto importante ressaltado por Dawson, é a questão da oxidação em cervejas destinadas ao envelhecimento. Oxidação é um processo químico onde uma molécula que contém oxigênio perde um elétron para outra molécula, assim a molécula que perde o elétron é oxidada. Apesar do vinho que possui uma grande quantidade de moléculas antioxidantes a cerveja possui uma quantidade menor destas substâncias (DAWSON, 2014).

A presença de oxigênio na cerveja causa uma rápida degradação dos aromas e sabores presentes. Contudo, alguns estudos sugerem que existem reações não oxidativas que fazem parte da degradação da cerveja durante o envelhecimento (VANDERHAEGEN, 2006).

O oxigênio inerente à cerveja pode reagir com os ácidos graxos do malte e produzir composto trans-2-nonenal, que é característico por seu aroma rançoso, ou reagir com melanoidinas e produzir aromas e sabores de cereja e vinho do porto. A temperatura de armazenamento pode influenciar a via oxidativa, uma cerveja armazenada a 30 °C irá apresentar sabor predominante de papelão, enquanto a mesma cerveja armazenada a 20 °C tende a apresentar sabor adocicado e caramelo (KANEDA, 1995).

A molécula de oxigênio não se demonstra muito reativa na cerveja, porém os níveis de ROS (espécies reativas de oxigênio) são determinados pela concentração de oxigênio. A formação de ROS ocorre quando o oxigênio recebe elétrons de íons metálicos ( $\text{Cu}^+$  e  $\text{Fe}^{2+}$ ) presentes na cerveja (VANDERHAEGEN, 2006).

A degradação dos  $\alpha$ -ácidos, por sua vez, é predominantemente negativa. O amargor da cerveja tende a decrescer com o tempo deixando a cerveja desbalanceada, ressaltando os aromas provenientes do malte e da fermentação (DAWSON, 2014).

O terceiro maior efeito citado é a oxidação dos ésteres provenientes da fermentação. Os novos ésteres formados são mais voláteis, o que contribui para a complexidade do aroma da cerveja e, ainda, apresentam aromas de frutas secas ao invés de frutas frescas (DAWSON, 2014).

## 6 VANTAGENS E DESVANTAGENS

Verifica-se que o envelhecimento de cerveja é um processo complexo por se tratar de um alimento complexo e por apresentar diversas variáveis que influenciam no resultado. Entre eles, os ingredientes como malte, lúpulo e levedura, influenciam no fornecimento de compostos que irão sofrer alterações durante o tempo de envelhecimento.

Adicionalmente, as variáveis do processo de fabricação da cerveja, como a temperatura de mosturação, que influencia no fornecimento de carboidratos não fermentescíveis que irão se oxidar durante o processo de envelhecimento, a oxigenação da cerveja depois de fermentada, que influencia diretamente na oxidação de compostos durante o envelhecimento, e a fração de álcool da cerveja, que irá influenciar na estabilidade microbiológica, além de oxidar durante o processo, fornecem componentes de aroma e sabor.

Outros fatores observados são a madeira a ser utilizada e de que forma essa madeira será utilizada no processo, além da embalagem que a cerveja será estocada. Por fim, ainda podemos citar outros fatores externos à cerveja, como o próprio tempo e a temperatura a qual a cerveja será estocada durante o envelhecimento.

Com todos esses fatores levados em consideração o cervejeiro pode projetar o processo que irá proporcionar a melhor experiência para o consumidor final.

### 6.1 CERVEJAS PROPÍCIAS AO ENVELHECIMENTO

Levando em consideração todos os parâmetros que podem influenciar no envelhecimento de cervejas, pode-se escolher alguns estilos que se mostram mais indicados para o processo. Consultando os guias de estilo citados pode-se citar alguns estilos de cerveja que possuem potencial para envelhecimento, como: *Imperial Stout* (8,0 a 12,0% abv), *Barley Wine* (8,0 a 12,0% abv), *Quadrupels* Belgas (9,0 a 12,0% abv), *Dark Strong Ale* (8,0 a 12,0%



abv), *Flandres Red e Brown Ale* (4,6 a 6,5 % abv), *Lambics* (5,0 a 6,5% abv) e *Goeuzes* (5,0 a 8,0% abv).

As cervejas citadas com potencial para envelhecimento possuem, em geral, características como alto teor alcoólico, presença de ésteres e fenóis e presença de compostos de *Maillard*, que contribuem para o envelhecimento.

O estilo *Dark Strong Ale*, estilo mundialmente conhecido como cervejas extremamente complexas e com alto valor agregado. Conhecidamente o estilo é produzido em abadias, em sua maioria na Bélgica. Os monges cervejeiros muitas vezes utilizam o processo de envelhecimento como um método de amenizar a presença de óleo fusel e outros álcoois superiores nesse estilo de cerveja, como exemplo pode-se citar a abadia de *Sint-Sixtus* que produz a *Westvleteren 12*, cerveja com teor alcoólico de 10,2% abv, já eleita a melhor cerveja do mundo e que é maturada 24 meses na adega da cervejaria antes de prosseguir para a comercialização (HIERONYMUS, 2005).

## 6.2 DESVANTAGENS

Pode-se citar como desvantagens do processo de envelhecimento de cerveja a alta complexidade das reações envolvidas, fator que dificulta o controle do processo, os custos de armazenamento desta cerveja em adegas próprias e a defasagem em estudos relacionados ao envelhecimento proposital de cervejas.

## 6.3 VANTAGENS

O processo de maturação de cervejas tem como vantagens o alto valor agregado ao produto final, a produção de cervejas complexas e únicas e o aumento contínuo de procura por produtos que proporcionam experiências únicas.

Adicionalmente, o conhecimento do processo de envelhecimento pelo cervejeiro permite corrigir pequenos defeitos de fermentação a exemplo da produção de fusels e álcoois superiores pela levedura, os quais são degradados no processo de maturação.

## 7 CONCLUSÃO

A maturação de cervejas se mostra como uma técnica de importância dentro da tecnologia cervejeira. O processo já é utilizado em pequenas cervejarias, ainda que de forma empírica. É possível encontrar produtos que utilizam-se desta técnica para desenvolver sabores e aromas únicos de forma a agregar valor.

Muitos estudos foram desenvolvidos para investigar o declínio sensorial da cerveja, uma vez que o mercado mundial é majoritariamente consumidor de cervejas *lager*. Outrossim, com o crescimento do consumo de cervejas especiais, é importante estudar a relevância específica das reações envolvidas no processo de envelhecimento de cervejas.

Estudar as reações envolvidas no processo de envelhecimento de cervejas ainda é um desafio futuro. Adicionalmente se mostra necessário desenvolver estudos do metabolismo de microrganismos que podem estar envolvidos em caso de utilização de madeira no processo.

Observou-se nesse estudo que o interesse em pesquisar os fatores que influenciam o processo de envelhecimento de cerveja vem aumentando no decorrer dos anos, uma vez que se pode observar o aumento de publicações. Adicionalmente observou-se que grande parte dos estudos se concentra em dois países, Bélgica e Alemanha, países tradicionalmente conhecidos pela produção de cervejas.

Por fim, foi possível através deste estudo, apresentar os fatores envolvidos no processo de maturação de cervejas, de forma a elucidar e auxiliar no processo decisório da utilização da referida técnica durante a fabricação de uma cerveja.

## REFERÊNCIAS

ALVES, V.; GONÇALVES, J.; FIGUEIRA, J. A.; et al. Beer volatile fingerprinting at different brewing steps. **Food Chemistry**, v. 326, p. 126856, 2020. Elsevier.

ANGELONI, Luís Henrique Poletto. **Cerveja envelhecida em barril de madeira, aspectos químicos e microbiológicos**. Orientador: Prof. Dr. ANDRÉ RICARDO ALCARDE. 2016. Tese (Doutor em Ciências) - Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2016.

BAMFORTH, Charles. **Beer**: Tap into the art and science of brewing. 2. ed. New York: Oxford University Press, 2003. 232 p. ISBN 0-19-515479-7.

BOSSAERT, S.; WINNE, V.; VAN OPSTAELE, F.; et al. Description of the temporal dynamics in microbial community composition and beer chemistry in sour beer production via barrel ageing of finished beers. **International Journal of Food Microbiology**, v. 339, p. 109030, 2021. Elsevier.

BRIGGS, Dennis E; BOULTON, Chris; BROOKES, Peter; STEVENS, Roger. **Brewing**: Science and practice. 1. ed. Boca Raton, FL: CRC Press, 2004. ISBN 0-937-381-96-9.

BUSTILLO TRUEBA, P.; JASKULA-GOIRIS, B.; DITRYCH, M.; et al. Monitoring the evolution of free and cysteinylated aldehydes from malt to fresh and forced aged beer. **Food Research International**, v. 140, p. 110049, 2021. Elsevier.

CALAGIONE, Sam. **Extreme Brewing**: An enthusiast's guide to brewing craft beer at home. 1. ed. Gloucester, Massachusetts: Quayside Books, 2006. 184 p. ISBN 1-59253-293-4.

COELHO, E.; MAGALHÃES, J.; PEREIRA, F. B.; et al. Volatile fingerprinting differentiates diverse-aged craft beers. **LWT**, v. 108, p. 129–136, 2019. Academic Press.

COELHO, E.; TEIXEIRA, J. A.; TAVARES, T.; DOMINGUES, L.; OLIVEIRA, J. M. Reuse of oak chips for modification of the volatile fraction of alcoholic beverages. **LWT**, v. 135, p. 110046, 2021. Academic Press.

DAWSON, Patrick. **Vintage Beer**. 1. ed. North Adams, MA: Storey Publishing, 2014. 149 p.

FERREIRA, Ines M. *et al.* Impact of temperature during beer storage on beer chemical profile. **LWT: Food Science and Technology**, [s. l.], n. 154, 2021.

FERREIRA, I. M.; FREITAS, F.; PINHEIRO, S.; et al. Impact of temperature during beer storage on beer chemical profile. **LWT**, v. 154, p. 112688, 2022. Academic Press.

GIBSON, B.; AUMALA, V.; HEINIÖ, R. L.; MIKKELSON, A.; HONKAPÄÄ, K. Differential evolution of Strecker and non-Strecker aldehydes during aging of pale and dark beers. **Journal of Cereal Science**, v. 83, p. 130–138, 2018. Academic Press.

HINDY, Steve. **A revolução da cerveja artesanal**: como um grupo de microcervejeiros está transformando a bebida mais apreciada no mundo. 1. ed. São Paulo: Tapioca, 2015. 352 p. ISBN 978-85-6736-210-6.

HUGHES, Grag. **Cerveja feita em casa**: Tudo sobre os ingredientes, os equipamentos e as técnicas para produzir cerveja em vários estilos. 1. ed. São Paulo: Publifolha, 2016. 224 p. ISBN 978-85-7914-533-9.

KUNZE, Wolfgang. **Technology brewing and malting**. 3. ed. atual. Berlin: Westkreuz-Druckerei Ahrens, 2004. 948 p. ISBN 3-921690-49-8.

KINČL, T.; DOSTÁLEK, P.; BRÁNYIK, T.; OLŠOVSKÁ, J. High-gravity brewing without adjuncts – The effect on beer parameters. **LWT**, v. 148, p. 111755, 2021. Academic Press.

LENTZ, Michael *et al.* The Impact of Simple Phenolic Compounds on Beer Aroma and Flavor. **Fermentation**, Jacksonville, 2018.

MASCIA, I.; FADDA, C.; KARABÍN, M.; DOSTÁLEK, P.; DEL CARO, A. Aging of craft durum wheat beer fermented with sourdough yeasts. **LWT - Food Science and Technology**, v. 65, p. 487–494, 2016. Academic Press.

MORADO, Ronaldo. **Larousse da cerveja**. 1. ed. São Paulo: Editora Lafonte Ltda, 2009. 357 p. ISBN 978-85-8186-167-8.

MOSHER, Michael. **Brewing science**: A multidisciplinary approach. 1. ed. Cham: Springer International Publishing Switzerland, 2017. 408 p. ISBN 978-3-319-46393-3

Mutz YS, Rosario DKA, Conte-Junior CA. Insights into chemical and sensorial aspects to understand and manage beer aging using chemometrics. *Compr Rev Food Sci Food Saf.* 2020;1–28

NASCIMENTO, Jessica Ferreira do. **Estudo da composição química de madeiras advindas do cerrado para aplicação em envelhecimento de cerveja**. Orientador: PROF<sup>a</sup>.

Dra. GRACE FERREIRA GHESTI. 2017. Trabalho de conclusão de curso (Bacharel em Química Tecnológica.) - Universidade de Brasília, Brasília, 2017.

NELSON, David L.. **Princípios de Bioquímica de Lehninger**. 7.ed. ed. Porto Alegre: Artmed/Panamericana Editora Ltda, 2019.

NEVES, Luis Eduardo Pereira. **Identificação de Compostos Voláteis Associados à Maturação de Cerveja em Madeira**. Orientador: PROF<sup>a</sup>. Dra. GRACE FERREIRA GHESTI. 2018. Dissertação (Mestre em Tecnologias Química e Biológica) - Universidade de Brasília, Brasília, 2018.

OLIVER, Garrett. **The Oxford companion to beer**. 1. ed. New York: Oxford University Press, 2012. ISBN 978-0-19-536713-3.

PALMER, John. **How to brew**. 3. ed. [S. l.]: Brewer Publications, 2006

SCHOLTES, Caroline; NIZET, Sabrina; COLIN, Sonia. Guaiacol and 4-Methylphenol as Specific Markers of Torrefied Malts. Fate of Volatile Phenols in Special Beers through Aging. **Journal of agricultural and food chemistry**, Louvain-la-Neuve, p. 9522-9528, 2014.

SILVA, Carlos Henrique Pessoa de Menezes e. **Microbiologia da cerveja: Do básico ao avançado, um guia definitivo**. 1. ed. São Paulo: Editora Livraria da física, 2019. 369 p. ISBN 978-85-7861-613-7.

STRONG, Gordon. **Beer judge certification program**. 1. ed. [S. l.]: BJCP, inc, 2021.

VANDERHAEGEN, B.; DELVAUX, F.; DAENEN, L.; VERACHTERT, H.; DELVAUX, F. R. Aging characteristics of different beer types. **Food Chemistry**, v. 103, n. 2, p. 404–412, 2007. Elsevier.

VANDERHAEGEN, B.; NEVEN, H.; VERACHTERT, H.; DERDELINCKX, G. The chemistry of beer aging – a critical review. **Food Chemistry**, v. 95, n. 3, p. 357–381, 2006. Elsevier.

VANDERHAEGEN, BART *et al.* Evolution of Chemical and Sensory Properties during Aging of Top-Fermented Beer. **Journal of agricultural and food chemistry**, Heverlee, p. 6782-6790, 2003.

WHITE, Cris; ZAINASHEFF, Jamil. **Yeast: The practical guide to beer fermentation**. 1. ed. Boulder, Colorado: Brewer Publications, 2010. ISBN 0-937-381-96-9.

YANG, D.; GAO, X. Research progress on the antioxidant biological activity of beer and strategy for applications. **Trends in Food Science & Technology**, v. 110, p. 754–764, 2021. Elsevier.