

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ**

**RAFAEL HENRIQUE VAZ PINTO**

**ESTUDO DE VARIAÇÕES NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE UMA  
CERVEJA ARTESANAL, DO TIPO *LAGER* AO LONGO DO TEMPO DE  
PRATELEIRA (*SHELF-LIFE*)**

**2023**

**RAFAEL HENRIQUE VAZ PINTO**

**ESTUDO DE VARIAÇÕES NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE UMA  
CERVEJA ARTESANAL, DO TIPO *LAGER* AO LONGO DO TEMPO DE  
PRATELEIRA (*SHELF-LIFE*)**

**STUDY OF VARIATIONS IN QUALITY PARAMETERS OF A CRAFT LAGER  
BEER OVER SHELF-LIFE**

Trabalho de conclusão de curso, apresentado à Banca Avaliadora do Curso de Bacharelado em Química da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), Campus Pato Branco, como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel em Química.

Orientador: Prof. Edilson da Silva Ferreira

Pato Branco - PR  
2023



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/)

Esta licença permite download e compartilhamento do trabalho desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es), sem a possibilidade de alterá-lo ou utilizá-lo para fins comerciais. Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.



Ministério da Educação  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná  
Pato Branco  
Departamento de Química  
Curso de Bacharelado em Química



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ESTUDO DE VARIAÇÕES NOS PARÂMETROS DE QUALIDADE DE UMA CERVEJA ARTESANAL, DO TIPO *LAGER* AO LONGO DO TEMPO DE PRATELEIRA (*SHELF-LIFE*)

por

**RAFAEL HENRIQUE VAZ PINTO**

Este Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) foi apresentado(a) em 16 de junho de 2023 às 10 horas e 20 minutos como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Química. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

---

Edilson Da Silva Ferreira  
Prof. Orientador

---

Leandro Zatta  
Membro titular

---

Nathanna Azevedo Lage  
Membro titular

Nota: O Documento original e assinado pela Banca Examinadora encontra-se no SEI processo 23064.027279/2023-24 e documento 3509145.

## DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho especialmente a toda a minha família, que esteve financeira e emocionalmente comigo, durante toda a minha jornada acadêmica, “sendo meu sol e minha água” (Rainha Elizabeth II, 1992), sendo minha razão de luta e orgulho, sendo o motivo da minha felicidade e meu apoio diário, sendo minha família, todos os dias da minha vida.

## AGRADECIMENTOS

Querida família e amigos,

Hoje, sinto-me profundamente grato e emocionado por ter a oportunidade de expressar minha gratidão a todos vocês que têm desempenhado um papel essencial na minha jornada de vida. Cada um de vocês, Pai, Mãe, Nah... tem contribuído de maneiras únicas e significativas, moldando a pessoa que sou hoje. E, gostaria de dedicar algumas palavras especiais à minha amada vó Ardige, aos meus professores, com destaque para o Edilson, e amigos especiais.

Vó Ardige, desde o momento em que nasci, você sempre foi uma fonte inesgotável de amor, apoio e crença em mim. Suas palavras de encorajamento sempre ressoaram profundamente em meu coração, alimentando minha confiança e me fazendo acreditar que eu era capaz de qualquer coisa que me propusesse a fazer. Sua presença constante em minha vida e suas sábias orientações moldaram os valores que carrego comigo. Sei que, independentemente dos obstáculos que eu possa enfrentar, você sempre estará ao meu lado, me incentivando a seguir em frente. Agradeço a Deus todos os dias pela bênção de ter uma avó tão maravilhosa como você.

Aos meus queridos professores, Davi, Zatta, Zorel, e Angel, e todos os demais que participaram da minha vida acadêmica, sou imensamente grato por sua dedicação em nutrir meu conhecimento e despertar minha paixão pelo aprendizado. Vocês foram mais do que simples educadores, foram mentores inspiradores que me guiaram em minha jornada acadêmica e pessoal. Suas aulas envolventes, suas palavras de sabedoria e o apoio inabalável que recebi de vocês fizeram toda a diferença em minha vida. Vocês me ensinaram a questionar, a explorar e a sempre buscar o conhecimento. Cada lição que aprendi com vocês se tornou um alicerce sólido em minha formação e continuará a me guiar ao longo de toda a minha vida.

Ao meu querido orientador do TCC, Edilson, sou imensamente grato por sua dedicação em orientar e nutrir meu conhecimento acadêmico. Você foi mais do que um simples orientador, foi um mentor inspirador que me guiou em minha jornada de pesquisa. Suas orientações especializadas, seu comprometimento em me desafiar a alcançar meu potencial máximo e sua paciência incansável foram fundamentais para o sucesso do meu trabalho de conclusão de curso. Agradeço por compartilhar seu

conhecimento e experiência, além de me incentivar a crescer como acadêmico e profissional.

Ao meu grande amigo, Rafael Ruaro, o que possibilitou uma jornada de muito conhecimento e superação, me oferecendo não apenas uma oportunidade de trabalho em sua cervejaria, não somente disponibilizando as amostras e o embasamento para esse TCC, mas também por sua amizade.

Por fim, mas não menos importante, agradeço à minha amiga Edenes, que durante os dois anos de estágio compartilhou conhecimentos valiosos comigo. Sua amizade e disposição em me ensinar superaram todas as minhas expectativas. Cada conversa que tivemos foi enriquecedora e estimulante, e sou grato por todos os insights e perspectivas que você trouxe para a minha vida. Sua generosidade em compartilhar seu conhecimento e sua disposição em me ajudar a desenvolver minhas habilidades profissionais foram fundamentais para o meu crescimento e aprendizado durante esse período.

Minha família, meu orientador Edilson, e meus amigos, sei que minhas palavras nunca serão capazes de expressar completamente minha gratidão por tudo que vocês fizeram por mim. Cada um de vocês desempenhou um papel crucial em minha vida, e sou eternamente grato por ter tido a bênção de contar com seu apoio, amor e orientação.

## EPÍGRAFE

"A cerveja é a prova de que Deus nos ama e quer nos ver felizes." - Benjamin Franklin

## RESUMO

O crescimento das cervejas artesanais nos últimos 6 anos no Brasil foi exponencial, levando a um indiscutível aumento na oferta e demanda por esses produtos, e por conseguinte, aumento na competitividade e qualidade. Diversos estudos já estão comparando as diferenças das cervejas artesanais, em relação a qualidade, aspectos sensoriais, durabilidade e estabilidade, em comparação as cervejas comerciais. Muitos desses estudos demonstram que, cervejas artesanais possuem uma boa estabilidade, e por conseguinte, bom tempo de duração, embora menor que as cervejas comerciais, pasteurizadas e filtradas. Durante o período dessa pesquisa, analisou-se alguns parâmetros, como teor alcoólico, densidade relativa, pH, cor e turbidez, a fim de, dialogar sobre as variáveis que podem influenciar a estabilidade desses parâmetros, sejam durante a produção ou estocagem. E por fim, dizer se a mesma se encontra dentro da qualidade e valores legais, definidos por lei, no final do tempo de análise. Oferecendo uma noção de tempo de prateleira, para a cerveja estudada nesse trabalho.

**Palavras-chave:** Cerveja artesanal; tempo de prateleira; teor alcoólico; pH; densidade relativa; cor; turbidez; durabilidade; estabilidade.



## ABSTRACTS

The growth of craft beers in Brazil over the past 6 years has been exponential, leading to an undeniable increase in the supply and demand for these products, and consequently, an increase in competitiveness and quality of these beers. Several studies are already comparing the differences in craft beers in terms of quality, sensory aspects, durability, and stability, compared to commercial beers. Many of these studies demonstrate that craft beers have good stability and, therefore, a good shelf life, although shorter than pasteurized and filtered commercial beers. During the research period, various parameters were analyzed, such as alcohol content, specific gravity, pH, color, and turbidity, in order to discuss the variables that can affect the stability of these parameters, whether during production or storage. Finally, it will be determined if the beer meets the quality and legal standards defined by law at the end of the analysis period, offering an estimation of the shelf life for the beer studied in this work.

**Keywords:** Craft beer; shelf life; alcohol content; pH; specific gravity; color; turbidity; durability; stability.

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Tipos de torras dos grãos de cevada .....	21
Figura 2: Estruturas de amilose (acima) e amilopectina (abaixo).....	22
Figura 3: Esquemática do processo de maltagem (“malteação”).....	24
Figura 4: Lúpulo in natura (a), lúpulo seco para uso em produção (b) .....	26
Figura 5: Estrutura molecular dos alfa-ácidos .....	28
Figura 6: Processo bioquímico de conversão da glicose em álcool .....	32
Figura 7: Processo de produção de cervejas .....	34
Figura 8: Gráfico de cervejarias no Brasil .....	38
Figura 9: Gráfico produção em bilhões de litros de cerveja por ano no Brasil.....	39
Figura 10 Mecanismo da genérico da reação de <i>Maillard</i> .....	46
Quadro 1: Organização e período de análise das amostras.....	48
(Equação 1).....	51
(Equação 2).....	52

**LISTA DE TABELAS**

Tabela 1: Tipos de maltes mais encontrados e utilizados no Brasil.....	24
Tabela 2: Compostos mais recorrentes no lúpulo .....	27
Tabela 3: Tipos de lúpulos mais encontrados e utilizados no Brasil.....	28
Tabela 4: Características de estilos de cervejas mais conhecidas.....	36
Tabela 5: Composição das substâncias químicas nas cervejas, em g/100ml .....	42
Tabela 6: Ácidos mais comuns às cervejas em mg/L.....	43
Tabela 7: Componentes químicos que interferem na coloração das cervejas.....	46
Tabela 8: Dados resultantes das análises físicas e físico-químicas .....	53
Tabela 9: Análise dos valores de teor alcoólico .....	55
Tabela 10: Análise dos valores de densidade relativa da cerveja .....	57
Tabela 11: Análise de valores de pH.....	59
Tabela 12: Análise dos valores de Turbidez (NTU) .....	60
Tabela 13: Análise dos valores de cor (EBC).....	62

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 GERAL .....	17
2.2 ESPECÍFICOS .....	18
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>19</b>
3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS .....	19
3.2 MATÉRIAS-PRIMAS .....	19
3.2.1 Grãos maltados e adjuntos.....	21
3.2.2 Lúpulo .....	26
3.2.3 Água .....	29
3.2.4 leveduras.....	30
3.3 PROCESSOS FERMENTATIVOS .....	32
3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE CERVEJA .....	35
3.5 MERCADO DE CERVEJA ARTESANAL BRASILEIRO .....	37
3.5.1 Cerveja no Brasil .....	37
3.6 ANÁLISES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS .....	41
3.6.1 Teor alcoólico .....	41
3.6.2 Densidade relativa.....	42
3.6.3 Determinação do valor de pH.....	43
3.6.4 Turbidez .....	44
3.6.5 Cor (EBC).....	45
<b>4 MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>47</b>
4.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES .....	47
4.2 AMOSTRAS .....	47
4.3 ANÁLISES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS .....	49
4.3.1 Teor Alcoólico.....	51
4.3.2 Densidade Relativa .....	51
4.3.3 Determinação do valor de pH.....	52
4.3.4 Turbidez .....	52
4.3.5 Cor (EBC).....	52
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b> .....	<b>53</b>
5.1 ANÁLISE DE TEOR ALCOÓLICO.....	54

5.2 ANÁLISES DE DENSIDADE RELATIVA.....	56
5.3 ANÁLISE DE VALORES DE PH.....	58
5.4 ANÁLISE DE TURBIDEZ (NTU).....	60
5.5 ANÁLISE DE COR (EBC).....	61
<b>6 CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>63</b>
<b>7 REFERÊNCIAS.....</b>	<b>65</b>
<b>APÊNDICE A – TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS .....</b>	<b>75</b>
<b>APÊNDICE B – DADOS DE ABSORBÂNCIA E CONVERSÃO EBC.....</b>	<b>81</b>

## 1 INTRODUÇÃO

Na literatura há relatos que comprovam a presença da cerveja na alimentação e cultura humana a cerca de 9000 anos atrás (WANG et al. 2021). Antigas civilizações como a chinesa, suméria, hitita, assíria, armênia, egípcia e babilônica, dentre outras, que utilizavam, em grande parte, cereais na sua base alimentar, já possuíam essa bebida fermentada entre seus povos (MEGA et al. 2011). Inclusive, acredita-se que o processo fora descoberto por acaso, tendo em vista a larga escala de produção de grãos, e a falta de tecnologia de estocagem que existe hoje em dia, favorecendo muitas vezes a fermentação natural em silos, ou outros sistemas de armazenagem (CURRY, 2021).

Há registros antigos, que mostram que trabalhadores da cidade de Uruk (atual Iraque), recebiam seu pagamento laboral mediante jarras de cerveja (SOUZA, 2018). Na idade média, as mulheres que eram responsáveis pela produção caseira da cerveja, a qual era servida a toda família, inclusive no desjejum. Era uma opção mais barata e acessível que o vinho (DESALLE; TATTERSALL, 2019). Apenas juntando-se esses fatos, temos uma forte relação cultural do consumo de cerveja, entre povos distintos.

Durante a dominação do império romano, mais precisamente entre os povos bárbaros que ocupavam a Europa, por volta do século IV, há um destaque para os germânicos, na produção de cerveja (LEGRAS et al. 2007). Região onde, teve-se por muitos séculos as bebidas alcoólicas (vinho e cerveja) como quase que única fonte segura de água potável, sendo consumida por todas as classes, etnias e idades (POELMANS; SWINNEN, 2011). As doenças transmitidas pela água eram, na época, responsáveis pelos altos índices de mortalidade, tornando a cerveja muito popular, e uma forma mais segura para o consumo de água (NELSON, 2005). Há diversos aspectos que incorporam a cerveja e seu consumo a história humana. Por volta do século VI, os monges que dominavam a leitura e escrita, desenvolveram técnicas e receitas em seus mosteiros que melhoraram a qualidade e sabor das cervejas. Foram os pioneiros na produção em larga escala desse tipo de bebida. (SILVA et al. 2016).

E toda essa história culminou em diversas escolas cervejeiras, com uma infinidade de rótulos e estilos. De cervejas leves e claras, às extremamente maltadas e com um elevado grau alcoólico (RAIHOFER et al. 2022). Escolas como a belga, que utiliza diferentes técnicas e adjuntos como frutas, por exemplo, em sua produção, afim

de se chegar a sabores únicos (MORADO, 2017). Ou a escola alemã, que desde o ano de 1516 se baseia na produção de diversos estilos sem fugir dos 4 ingredientes básicos: Água, malte, lúpulo e a levedura (reconhecida mais tarde apenas) (SILVA et al. 2016). A cerveja também está relacionada a benefícios a saúde, e a interação social. A mesma pode tanto ser apreciada por seu aspecto histórico, quanto por um simples “*happy hour*” entre amigos e colegas, no cotidiano de muitos brasileiros também (LEGRAS et al. 2007).

No Brasil, a relação cervejeira fora iniciada em 1808, com a chegada da família Real Portuguesa, ao que, devido as relações econômicas e militares da época, a Inglaterra fora a primeira a introduzir a cerveja, na antiga colônia de Portugal, na época, reino do Brasil (MEGA et al. 2011). A primeira produtora no país, fora criada em 1853, pelo alemão Henrich Kremer, de acordo com Ronaldo Morado, que é cervejólogo (termo para especialistas em cerveja), consultor, empresário e autor do livro *Larousse da Cerveja*. Em seguida, em 1888 a segunda, e em 1889 a terceira cervejaria (MORADO, 2017). E todo esse avanço trouxe consigo uma diversidade enorme de rótulos e opções dos mais diferentes gostos. O mercado brasileiro ainda é dominado pelas grandes cervejarias, de produções industriais, hoje com as principais marcas brasileiras, em números absolutos de venda, em posse do grupo Ambev (FERRARI, 2008). Mas, ainda sim, nos anos 2000, as micro cervejarias e cervejarias artesanais ganharam força. No período compreendido entre 2015-2020, o número de produtores de cervejas artesanais, no Brasil, cresceu significativamente, segundo dados do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. (BRASIL, 2021) O anuário também traz informações referentes a distribuição dessas cervejas em âmbito nacional, com o destaque para a região sul e sudeste, dominando juntos 85,6% dos empreendimentos produtores de cerveja. De acordo com Muller, coordenador-geral de Vinhos e Bebidas, as regiões sul e sudeste possuem uma grande concentração de descendentes de europeus (onde há maior cultura em produção de cerveja), o que leva a uma maior propensão de atividades relacionadas a produção de cervejas. (BRASIL, 2021)

Com isso, um diferencial dentro desse grande e concorrente mercado de hoje, está na qualidade apresentada. E o intuito desse trabalho foi fazer análises físicas e físico-químicas aplicada a cerveja do tipo *Lager*, comercializada por uma dessas micro cervejarias brasileira, nascida em 2020, e instalada no sudoeste do estado do Paraná, na cidade de Pato Branco. Levantamento esse que será usado tanto para uma análise

e melhoria, dos produtos em questão, como para uma avaliação analítica dos componentes químicos dessas cervejas produzidas artesanalmente. Além de um estudo controlado de tempo de prateleira, possibilitando a mesma viabilizar vendas externas, com maior controle de qualidade oferecido.



## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GERAL

O objetivo deste trabalho foi analisar parâmetros físicos e físico-químicos da cerveja artesanal, do tipo *Lager*, produzida por uma microcervejaria situada no sudoeste do estado do Paraná, e observar, ao longo de 7 semanas de análise, as possíveis variações dos parâmetros. A fim de discutir causas ou fatores que possam modificar os valores dos parâmetros observados, no decorrer da pesquisa e, assim, definir se a cerveja estudada se enquadra no perfil de qualidade exigido por lei ao final do período em questão.

## 2.2 ESPECÍFICOS

- Determinar os valores de teor alcoólico, densidade relativa, pH, cor e turbidez.
- Observação dos parâmetros físico e físico-químicos analisados ao longo de 7 semanas de análise
- Tratar os dados, mediante teste ANOVA, verificando se houve alterações significativas em cada parâmetro, ao longo do experimento.
- Discutir fatores e variáveis que possibilitam alterações desses parâmetros em cervejas artesanais, ao longo do tempo de prateleira
- Definir se os valores dos parâmetros de qualidade garantem que a cerveja artesanal estudada mantém suas características, ao longo do tempo de prateleira definido no trabalho.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 DEFINIÇÃO E CARACTERÍSTICAS

A cerveja é uma bebida obtida pelo processo de fermentação alcoólica, do mosto cervejeiro proveniente do malte de cevada (majoritariamente) e água potável, por ação de leveduras e adição de lúpulo; De acordo com o artigo 36 do decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, o qual regulamenta a Lei nº 8.918 de 14 de junho de 1994 (ANVISA/MAPA).

Ainda de acordo com o mesmo decreto, parte do malte de cevada pode ser substituído por adjuntos cervejeiros (cevada e outros cereais aptos ao consumo humano, maltados ou não, assim como amido e açúcares de origem vegetal), o qual é limitado a uma quantidade máxima específica. Sendo enquadrada como uma cerveja própria ao consumo se, composta em média por 2% a 6% de álcool (há exceções como as *Eisbock*, que ultrapassam a marca de 50% em graduação alcoólica), 2 a 6% de extrato residual, 0,35 a 0,50% de dióxido de carbono e 90 a 95% de água (ROSA; AFONSO, 2015). Devem ter perfil levemente acidificado, mantendo seu valor de pH entre 4,2 e 4,6 (CIONT et al. 2022). Ainda podendo haver exceções com estilos que requerem paliativamente perfis mais acidificados. Embora não exista um parâmetro legal para valores de densidade relativa (relacionada a FG, *Final Gravity*), são encontrados valores entre 1,005 e 1,015, para cervejas em geral (KOLLER; PERKINS, 2022).

Quanto a cor, e quantidade de material particulado (turbidez), também não há valores de indicação legal para as cervejas de tipo *Lager*. Porém é comum que sejam encontrados valores entre 2-12 (EBC) para a escala de cores de cervejas desse estilo, assim como dificilmente seriam encontrados valores de turbidez acima de 35 NTU (Unidades Nefelométricas de Turbidez), tendo uma faixa mais comum entre 5-35 NTU (ARAÚJO et al. 2003).

#### 3.2 MATÉRIAS-PRIMAS

A escolha da matéria-prima é de total relevância a qualidade da cerveja a ser produzida. A cerveja, como anteriormente citado, é uma bebida fermentada, carbonata, que possui um teor alcoólico médio entre 2% à 6% (relação mássica),

proveniente da mistura de maltes selecionados, lúpulo, água e leveduras (BAIANO, 2020). Dentre as mais diversas opções desses ingredientes, pode-se resultar em diferentes tipos e qualidades de cerveja. Assim sendo, é de suma importância ao mestre cervejeiro o conhecimento das variedades de grãos (maltados) a serem utilizados, desde maltes de cevada, trigo, aveia *etc*, e adjuntos (não maltados), como o milho, que é muito utilizado, por exemplo, dos quais devem ser indicados na rotulagem das cervejas (DORETTO et al. 2018).

O que dá a cerveja seu sabor característico, é quase que especificamente referente ao grão maltado (amiláceo) utilizado na produção, carregando aspectos gustativos em proporção de cada fonte de açúcar fermentável (BARROS; GHESTI, 2016). As diversas variedades de lúpulos ofertados no mercado hoje, também possibilitam a criação de uma infinidade de sabores as cervejas, podendo ser esses mais cítricos, amargos ou com perfis de cacau, café, etc. Misturas de diferentes tipos de lúpulo, na produção de uma mesma cerveja, também é comum, a fim de procurar um sabor único e diferenciado (SILVA et al. 2019).

As leveduras empregadas também devem ter sua devida atenção, uma vez que partem delas a conversão dos açúcares dos grãos, em gás carbônico e etanol, a serem fermentados (BOKULICH; BAMFORTH, 2013). E são fundamentais na formação dos aromas presentes na cerveja, além é claro, do sabor. Se há contaminação, sendo ela cruzada ou direta, pode haver interferência nas proporções finais de grau alcoólico, carbonatação e padrões sensoriais (CHERUBIN, 2003).

E por fim, mas não menos importante, está a água. A qual está presente em todos as ramificações da linha produtiva cervejeira. Sua importância ao processo é tanta, que se a indústria de cerveja não possuir um controle rigoroso em sua qualidade, todos os aspectos de qualidade de seu produto serão afetados (COELHO NETO et al. 2020). Cabe ao mestre cervejeiro a escolha do tipo e qualidade de água a ser empregado em sua produção, sendo que, inclusive as quantidades de sais presentes na mesma, pode contribuir positiva ou negativamente aos fatores sensoriais (como sabor e odor) da cerveja (PARRON et al. 2011).

### 3.2.1 Grãos maltados e adjuntos

O malte cervejeiro é um dos itens principais na escolha da cerveja a ser produzida. O qual contribui fortemente na cor, paladar da bebida, corpo e espuma da cerveja (SLEIMAN et al. 2010). E o mesmo é obtido pelo processo de maltagem, que consiste na ativação e formação enzimáticas dos grãos. Essas enzimas (em sua maior parte a maltase) irão atuar sobre as fontes de reserva energética do grão principalmente o amido (maior porcentagem é a maltose), e as proteínas, quebrando em moléculas de menor peso molecular, para posterior ação fermentativa (MEUSSDOERFFER, 2009). Na Figura 1 pode-se analisar as diferenças de coloração e torra dos grãos de cevada, indo mais claro tipo de malte, o *Pilsen*, ao tom mais escuro, o *Carafa*, ou *Carahell* (BETTENHAUSEN et al. 2018).

Figura 1: Tipos de torras dos grãos de cevada.



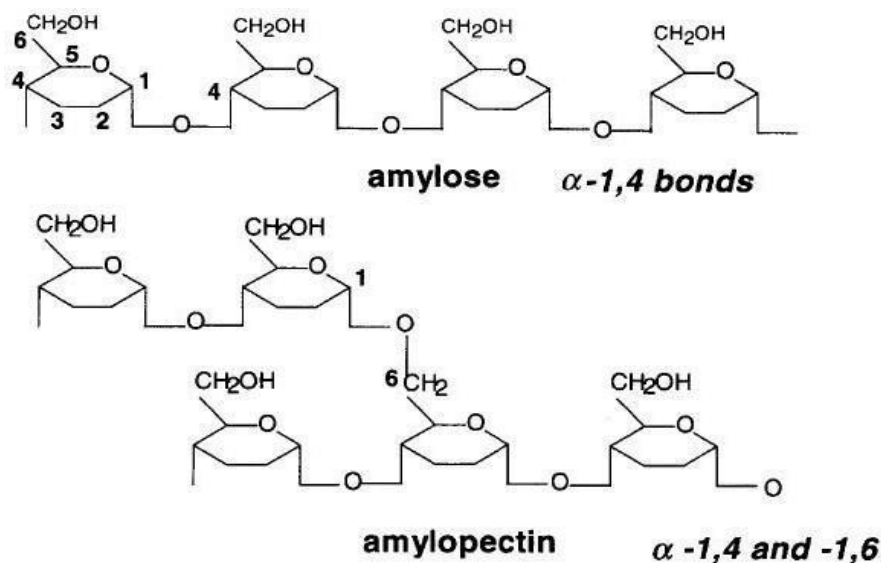
Fonte: <https://www.lamasbrewshop.com.br/blog/2018/04/especial-de-maltes-malte-base-x-malte-especial.html>

Os grãos são constituídos, em sua maior parte, por amidos, proteínas, hemicelulose, substâncias graxas, lipídeos, minerais, celulose, dentre outras moléculas em menor concentração (FOX, 2009). E são as variações, desses tipos e quantidades desses constituintes, que proporcionam as infinitas combinações de sabores, cores, corpo e aroma das cervejas (BARTH, 2013).

O amido é o polissacarídeo formado por monômeros de glicose, e além de ser a principal forma de armazenamento de energia do grão (a qual será utilizada no processo fermentativo, transformada em álcool e CO<sub>2</sub>), também é a substância mais abundante, sendo cerca de 55% a 65% da constituição mássica do grão (FOX, 2009). Esses monômeros formam 2 tipos de moléculas, a amilose e amilopectina. Suas estruturas moleculares podem ser melhor visualizadas na Figura 2. Ambas são grandes cadeias de glicose, porém as de amilose são relativamente menores (cerca de 60 a 2000 monômeros), e são solúveis, além de serem formadas por diversas moléculas de glicose com ligações do tipo  $\alpha(1,4)$ . (LIGUORI et al. 2021)

A amilose, devido as suas ligações glicosídicas, possui conformação linear, e representa cerca de 20% a 25% do total constituinte do amido. Por sua vez, as moléculas de amilopectina são maiores (cerca de 6000 a 37000 monômeros) e ramificadas, por possuírem tanto ligações dos monômeros do tipo  $\alpha(1,4)$  e  $\alpha(1,6)$ , sendo a segunda responsável pela ramificação em cadeia, além de apresentar caráter insolúvel e alta viscosidade em solução (FOX, 2009).

Figura 2: Estruturas de amilose (acima) e amilopectina (abaixo)



Fonte: Hughes; Baxter (2001)

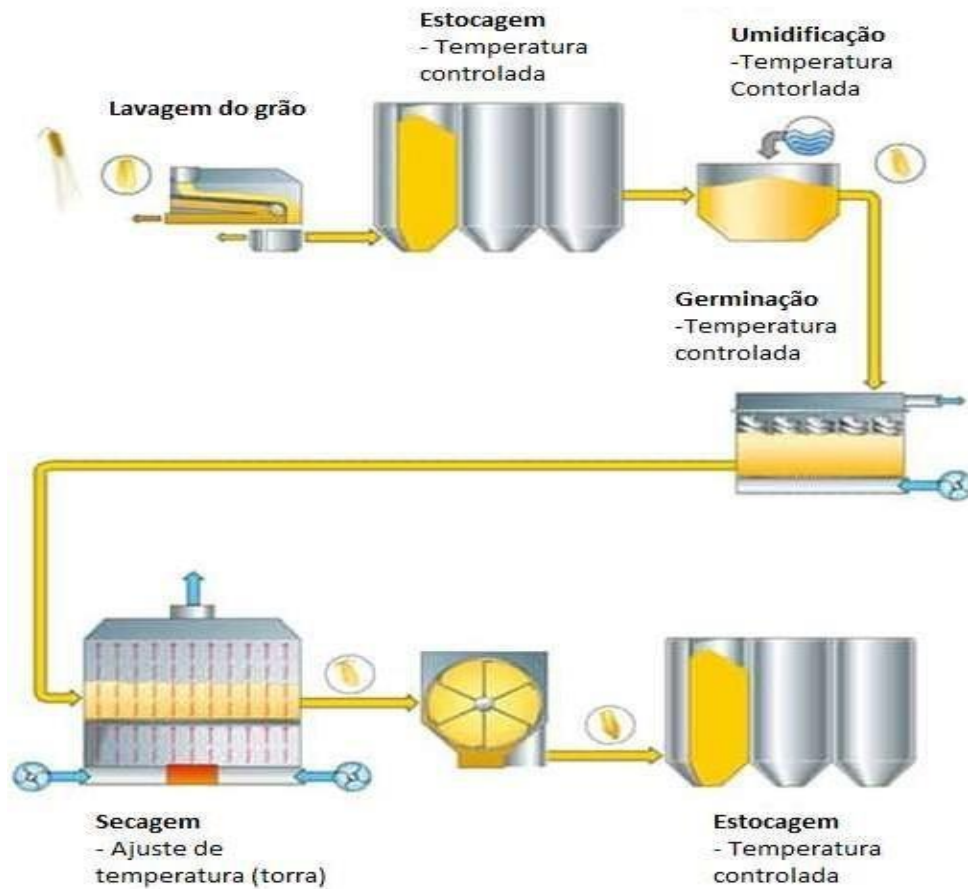
Outro constituinte de grande importância do grão são as proteínas. As quais representam entre 8% e 13% da composição total do malte de cevada, e são

responsáveis pela aromatização, espuma e corpo da cerveja (BETTENHAUSEN et al. 2018). O glúten é uma mistura de proteínas que é justamente encontrado em sementes da cevada, milho e centeio. As proteínas que constituem o glúten, podem ser divididas em duas principais classes, baseado na solubilidade, as gluteínas e prolaminas. Do total formador das proteínas, aproximadamente 50% são de prolaminas (sendo a maior parte de hordeína, para a cevada), com as demais sendo albuminas, globulinas e gluteínas (WIESER, 2007)

E para se extrair todo esse material constituinte do grão, há um processo de preparo do grão, muito importante, que é a maltagem ou malteação. Na sequência, para simplificar, há uma esquematização, na Figura 3, da cadeia produtiva, correspondente ao processo de maltagem. Processo o qual se divide em três etapas:

- (1) **Umidificação** (chamada de maceração), onde o grão é retirado do estado de dormência, elevando seu teor de umidade para entre 35% a 45%, por meio de lavagens, e sistemas de manutenção de umidade controlados. Sem esse acréscimo de umidade, o grão não iria germinar (MADIGAN et al. 2016).
- (2) **Germinação** (parte de ativação enzimática), que é o processo de transformação, da semente em uma planta. No qual, a planta utiliza-se de suas reservas energéticas como fonte de alimento, mediante lise enzimática dessas fontes de energia, favorecendo a quebra de diversas moléculas (açúcares e proteínas) maiores, para de menor peso molecular, facilitando a ação fermentativa das leveduras (NELSON; COX, 2002).
- (3) **Secagem** (momento de interrupção da germinação) que finaliza a etapa de germinação, onde o grão deixa de sofrer transformações e se torna estável, e pronto para ser armazenado. Esse processo possibilita a criação de vários maltes, que são diferenciados em características de aroma e sabor, de acordo com as variações de temperatura e tempo de secagem, a que o grão verde (germinado) é submetido (MORADO, 2017).

Figura 3: Esquemática do processo de maltagem (“malteação”).



Fonte: Adaptado de <http://cervejeiraiz.com.br/malte-tudo-o-que-voce-precisa-saber/>

Na Tabela 1, tem-se alguns tipos de maltes conhecidos, e mais utilizados pelas diversas escolas cervejeiras do mundo, que passam justamente pelo processo assim descrito, estando prontos para produção das mais diversas cervejas encontradas hoje em dia (BETTENHAUSEN et al. 2018).

Tabela 1: Tipos de maltes mais encontrados e utilizados no Brasil

(continua)

Malte	Descrição sensorial	Cor (EBC)	Estilo
<i>Pilsen</i>	Mosto claro/brilhante	2.5 - 4.0	Base todos estilos
<i>Munich</i>	Aroma e sabor de malte	12.0 - 18.0	Varios estilos
<i>Viena</i>	Mais corpo/dourado	6.0 - 9.0	<i>Marzen / Viena</i>
Defumado	Sabor defumado	3.0 - 6.0	<i>Bamber/Rauch</i> Exceto cervejas
<i>Pale Ale</i>	Equilibrado	5.5 - 7.5	claras



(conclusão)

<b>Malte</b>	<b>Descrição sensorial</b>	<b>Cor (EBC)</b>	<b>Estilo</b>
<i>Wheat</i>			
Trigo claro	aroma típico de trigo	3.0 - 5.0	cervejas de trigo
<i>Carahell</i>	cor escuro e sabor caramelo	20.0 - 30.0	Varios estilos
<i>Carared</i>	cor avermelhada e sabor caramelo	40.0 - 60.0	<i>Bock</i> ambar / <i>Red</i> ale
<i>Caramunich</i> I e II	cor avermelhada e doçura	80.0 - 100.0	Varios estilos
Melanoidina	cor avermelhada e sabor biscoito tostado	60.0 - 80.0	<i>Bock</i> ambar / <i>Red</i> ale
<i>Carafa</i>	cor escuro e sabor chocolate	800.0 - 1200.0	cervejas escuras
Acidificado	Acidifica o pH intensifica cor e fermentação	3.0 - 6.0	Varios estilos

Fonte: Adaptado de Barros; Ghesti (2016)

### 3.2.2 Lúpulo

Dá família *cannabaceae*, conhecida de outras plantas com inflorescências, como a *Cannabis sativa*, o lúpulo (*Humulus lupulus L.*), ou “pé-de-galo”, é amplamente usado na produção das cervejas. Nativo da Europa, Ásia ocidental e América do norte, é hoje encontrado em mais de 100 tipos diferentes (SPÓSITO et al. 2019). Na Figura 4, pode-se observar as duas formas comerciais encontradas de lúpulo. Ao lado esquerdo (a), a primeira imagem representa o lúpulo *in-natura*, provavelmente recém colhido, e ainda não tratado, e ao lado direito (b), a imagem retrata a forma mais comercial do lúpulo, que é tratado, seco e condicionado ao formato e pesagem padronizados, a fim de possibilitar maior facilidade de manejo na produção (GONZÁLEZ-SALITRE et al. 2022).

Figura 4: Lúpulo in natura (a), lúpulo seco para uso em produção (b)



(a)



(b)

Fonte: <https://www.freepik.com/free-photos-vectors/hops>

Em 1516, o duque alemão, Guilherme IV da Baviera, decreta que os únicos ingredientes a serem usados na produção da cerveja, pela lei da pureza (*Reinheitsgebot* em língua alemã), são água, malte e lúpulo, entrando mais tarde as leveduras, que não eram conhecidas cientificamente ainda, na época. Ou seja, não se poderia mais ser utilizado nenhum outro ingrediente adicional, na escola de produção de cervejas alemã (BEHRE, KE., 1999). A partir desse momento, o lúpulo é o único ingrediente a propiciar amargor a cerveja, antes feito não somente com ele.

O lúpulo possui uma região em sua formação estrutural chamada lupulina, que abriga substâncias químicas que garantem amargor, aroma e propriedades antioxidantes. Associada a lupulina pode-se encontrar resinas, óleos essenciais, proteínas, ceras e polifenóis (DURELLO et al. 2019).

A química do lúpulo começou a ser estudada no século XIX, por Hayduck, Lintner e Schnell, que extraíram e isolaram os  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos presentes (GERHARDS et al. 2020). Porém, fora apenas em 1925, com Wollmer e Wieland, que a elucidação das estruturas e características dos ácidos amargos do lúpulo se dera por feita. Além das principais moléculas estudadas do lúpulo, diversas outras substâncias químicas também estão presentes, em todas as variedades dessa planta. Na Tabela 2, pode-se verificar esses compostos, os quais foram listados, estudados e catalogados (SPÓSITO et al. 2019). Encontrada nas resinas do lúpulo, em maior parte, coexistem os  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos, que atuam diretamente no amargor ( $\alpha$ -ácidos), moléculas conhecidas como humulonas, e na propriedade antimicrobiana ( $\beta$ -ácidos), por moléculas do tipo lupulonas (ALGAZZALI; SHELLHAMMER, 2016).

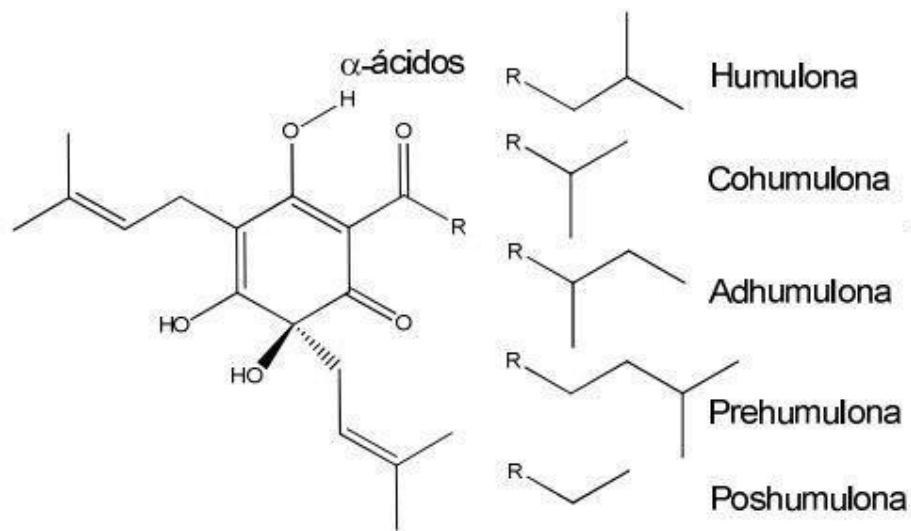
Tabela 2: Compostos mais recorrentes no lúpulo

<b>Compostos</b>	<b>Porcentagem em peso</b>
$\alpha$ Ácidos	2-12%
Amino Ácidos	0.1%
B Ácidos	1-10%
Celulose	40-50%
Clorofila	-
Óleos Essenciais	0.5-5%
Monossacarídeos	2%
Óleos e Ácidos Graxos	25%
Pectinas	2%
Polifenóis (Taninos)	2 - 5%
Sais	10%
Água	8 - 12%
Ceras e Esteroides	-

Fonte: Adaptado de Verzele; Keukeleire (1991)

Dentre todos esses compostos, os  $\alpha$ -ácidos são os mais importantes, devido as suas propriedades e características por isso, não é surpresa serem os mais estudados (DURELLO, R. et al. 2019). Abaixo, podemos identificar na Figura 5, a estrutura molecular da humulona e as diversas conformações dos  $\alpha$ -ácidos, (estruturas que podem se ligar a estrutura principal, humulona; R sendo a ramificação) as quais proporcionam as mais complexas combinações de aromas e sabores (NELSON; COX, 2002).

Figura 5: Estrutura molecular dos alfa-ácidos



Fonte: Adaptado de Silva (2020)

Dentro das inúmeras variedades de lúpulos no mercado hoje, pode-se chegar em diferentes sabores, tanto pelas próprias variações entre os  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos presentes, como na combinação de dois ou mais tipos de lúpulos, obtendo um sabor único (ALGAZZALI; SHELLHAMMER, 2016). Na Tabela 3, se pode identificar as principais variedades comerciais de lúpulos, hoje, disponibilizados e utilizados em larga escala nas produções cervejeiras no Brasil (SPÓSITO et al. 2019):

Tabela 3: Tipos de lúpulos mais encontrados e utilizados no Brasil

(continua)

Lúpulo	Aroma	Uso	Estilo
<i>Amarillo</i>	Cítrico/Floral	Aroma	<i>IPAs / Ales</i>
<i>Brewers Gold</i>	Frutado/Picante	Amargor e Aroma	<i>Ales e Lagers</i>
<i>Cascade</i>	Cítrico/Floral	Aroma ( <i>dry hopping</i> )	<i>IPAs e Porters</i>

(conclusão)

Lúpulo	Aroma	Uso	Estilo
<i>Cluster</i>	Leve picante	Amargor e Aroma	<del>Lager (amargor) IPAs</del>
<i>Columbus</i>	Agradável/Pungente	Amargor ( <i>dry hopping</i> )	(aroma) IPAs e Stouts
<i>Hallertau Mittelfruh</i>	Herbal	Aroma	Lager, Bock, Trigo, Pilsner
<i>Nugget</i>	Herbal	Amargor	Lager leves
<i>Saaz</i>	Floral/Picante	Aroma	Pilsner, Lager, Trigo
<i>Galaxy</i>	Frutado/Cítrico		IPAs / Ales

Fonte: Adaptado de Algazzali; Shellhammer (2016)

### 3.2.3 Água

Um ingrediente de extrema importância em todo o processo, sem dúvidas é a água. A qual representa aproximadamente 90% da composição mássica da cerveja, e com grande influência na qualidade da mesma (DORETTO et al. 2018). Basicamente há dois tipos de água utilizada para produção de cerveja: água cervejeira, e água de serviço (AMILCAR, 2016). A primeira, água cervejeira, é usada no preparo da moagem do malte, transferência de produtos, da elaboração, rinsagem final na lavagem de barris, garrafas, latas ou utensílios. E, a água de serviço, é utilizada em procedimentos ou locais, que não entraram em contato com o produto (TOLEDO et al. 2016). Toda essa água deve se enquadrar em certos requisitos, para que possa ser usada na produção de cerveja. São alguns aspectos a serem levados em conta dessa qualidade de água (MENEZES, 2018):

**Turbidez:** Essa água deve ser livre de turbidez, pois a turbidez pode ser caracterizada por pequenas partículas em suspensão, sendo essas orgânicas ou inorgânicas (SKOOG et al. 2009). As quais podem interferir nos processos fermentativos, uma vez que essas partículas possam servir como fonte de alimentos para outros micro organismos, que podem participar negativamente nos resultados, produtivos ou sensoriais (HUGHES; BAXTER, 2001)

**pH:** O valor do pH deve ser controlado (entre 5,0 e 9,5), pois o mesmo tem influência direta como processos como: regulação enzimática, solubilização de certos componentes, alteração da cor, e coagulação de solúveis proteicos do mosto (De LIMA et al. 2022).

**Microbiota:** Para controle de um padrão microbiológico, se faz necessário um plano de higienização e controle rigoroso na planta industrial, que garantam a água

todas essas características necessárias: límpida, inodora, insípida e livre de micro-organismos (CIONT et al. 2022)

Dureza Total: Outro detalhe importantíssimo a respeito da água, são os tipos e quantidades de íons presentes. Considerando a classificação de dureza da água, pode-se obter maior sintonia entre os sabores das cervejas a serem produzidas, baseado na qualidade de água empregada. Uma vez que certas quantidades de  $\text{Ca}^+$ ,  $\text{Mg}^+$ ,  $\text{SO}_4^{-2}$  (sulfatos),  $\text{HCO}_3^-$  (bicarbonatos), dentre outros podem atuar direta ou indiretamente no sabor e qualidade (ALVES et al. 2020).

Águas com maiores teores de sulfato de cálcio, por exemplo, estão associadas a cervejas mais amargas. Já com maiores quantidades de carbonato de cálcio, propicia a produção de cervejas mais escuras e adocicadas. Uma grande representante dessa importância é a *Pils*, ou *Pilsen* (mais comum), original da Tchecoslováquia (Hoje atuais Repúblicas Tcheca e Eslováquia), é um estilo nascido com a necessidade da água mole, ou seja, com baixo percentual de Ca (cálcio) e Mg (magnésio) para sua produção. Gerando uma cerveja clara e com leve amargor, e cor característica (PARRON et al. 2011).

### 3.2.4 leveduras

As leveduras são micro-organismos capazes de metabolizar os açúcares, presentes no mosto cervejeiro, transformando os açúcares presentes em etanol e outras substâncias químicas, assim como também em  $\text{CO}_2$  (gás carbônico) (ROSA; AFONSO, 2015). Uma vez que a maltose (carboidrato predominante), é inicialmente quebrada em duas moléculas de glicose, por ação enzimática proveniente das enzimas presentes nos próprios grãos, as leveduras cervejeiras entram realmente em ação (MADIGAN et al. 2016). Primeiramente quebrando a glicose em duas moléculas de menor peso molecular (piruvato), com 3 carbonos, dando-se início ao ciclo fermentativo (NELSON; COX, 2002).

As mais empregadas são as do gênero *Saccharomyces*: a *Saccharomyces cerevisiae* e a *Saccharomyces uvarum* (GALLONE et al. 2016). Características como sabor e aroma estão também ligados a escolha e qualidade das leveduras, uma vez que o álcool não é o único produto da metabolização. Pode haver outras substâncias provenientes da excreção metabólica secundária que, por sua vez, interfere nesses parâmetros de qualidade (BRUNELLI et al. 2014).

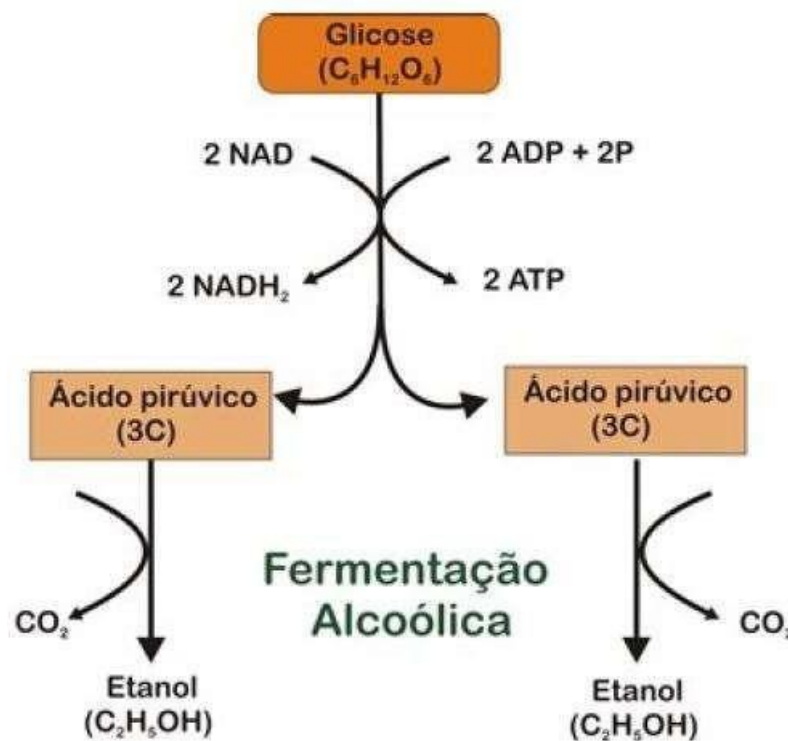
Outros fatores, como a linhagem das leveduras, temperatura e controle do valor de pH do fermentador, assim como a proporção do mosto, qualidade e tipo de fermentador, podem interferir na quantidade na forma de metabolização dessas substâncias (WALKER; STEWART, 2016). Algumas diferenças bioquímicas são levedas em consideração, quanto a escolha das leveduras. Sabe-se que as cepas de *S. uvarum* (*carlsbergensis*), do tipo *lager* possuem em sua estrutura molecular os genes “MEL”, que caracterizam a produção da enzima  $\alpha$ -galactosidase (melibiase), permitindo o uso como fonte energética do dissacarídeo melibiose (glicose-galactose), com crescimento restrito com temperaturas acima dos 34 graus Celsius (OLIVEIRA, 2011). Entretanto, cepas da *S. cerevisiae*, do tipo *ale*, não possuem esse gene (MEL), impossibilitando a utilização desse mesmo açúcar, acima citado, porém, com crescimento registrado com temperaturas até 37 °C (GIANNAKOU et al. 2020).

Devido a sua grande importância na qualidade, sabor e aroma, as leveduras devem ser selecionadas, seguindo o maior grau de pureza possível, ou seja, isentas de outros micro organismos contaminantes (bactérias ou outros tipos de leveduras), que poderiam competir com as mesmas (LODOLO et al. 2008).

### 3.3 PROCESSOS FERMENTATIVOS

O processo fermentativo é a etapa mais importante da produção de quaisquer bebidas alcoólicas. E, sobre os processos fermentativos envolvidos na produção cervejeira, há duas divisões distintas: *Ale* (alta fermentação) e *Lager* (baixa fermentação) (LODOLO et al. 2008). Ambos os processos partem do mesmo princípio, a conversão do açúcar dos grãos maltados (maltose parte maior; pós atividade enzimática glicose) em álcool (etanol) e dióxido de carbono, mediante a utilização das leveduras (NELSON; COX, 2002). As quais são micro-organismos eucarióticos, praticamente unicelulares, que fazem parte do reino *fungi* (MADIGAN et al. 2016). Elas possuem a habilidade de metabolizar de forma eficiente os constituintes do mosto cervejeiro, que é o caldo resultante da mistura de malte e água, fervidos, rico em açúcares fermentáveis (SILVA et al. 2019). Na Figura 6 tem-se a representação do processo bioquímico, da conversão inicial da glicose (monômero da maltose), ao produto final desejado, o etanol.

Figura 6: Processo bioquímico de conversão da glicose em álcool.



Fonte: adaptado de Madigan et al. (2016)



O balanço energético para a fermentação alcoólica é tal que, para cada molécula de glicose (Formula molecular:  $C_6H_{12}O_6$ ; Massa Molar: 180 g/mol) são formadas duas moléculas de etanol (Formula molecular:  $C_2H_5OH$ ; Massa Molar: 46 g/mol), mais duas moléculas de dióxido de carbono (Formula molecular:  $CO_2$ ; Massa Molar: 44 g/mol) (SKOOG et al. 2009).

A cadeia produtiva, se inicia no processo de “preparação” do grão, através da maltagem, ou malteação (BOKULICH; BAMFORTH, 2013). Seguido com o processo cervejeiro, tem-se a etapa de moagem, onde os grãos maltados são triturados (com casca), afim de melhor extrair seus açúcares no processo seguinte da produção (FOX, 2009). A moagem do malte não pode ser muito fina, dificultando a filtragem do mosto, e nem muito grosseira, que por sua vez, interfere negativamente na hidrólise do amido (BETTENHAUSEN et al. 2018).

A mosturação, processo seguinte, é o início da extração dos açúcares do malte cervejeiro, onde é feita a mistura do malte moído com água. O objetivo aqui é hidrolisar o amido, onde até 65% dos sólidos totais do malte, em dissolução na água, serão constituintes do mosto para fermentação (D. JUNIOR et al. 2009). Na sequência, tem-se a filtração, processo ao qual, usa-se para separar o bagaço do malte do mosto líquido (etapa geralmente não efetuada em produções artesanais). Após filtrado, o mosto é submetido à fervura, com lúpulo, o que estabiliza e inativa as amilases e proteases presentes no meio, coagulando as proteínas, que floculam durante o processo. Terminando-se o período de fervura (em média 2 horas), o mosto é submetido a resfriamento, para dar-se início a fermentação e, também, aerar o mosto de maneira estéril, mantendo oxigênio em quantidades aceitáveis (MORAES et al. 2018).

Por fim, inoculam-se as leveduras, no fermentador, para onde é transferido o mosto pós resfriamento, etapa chamada de fermentação, onde será feita a transformação dos açúcares presentes em subprodutos desejados (MEYER et al. 2017). Quando se atinge o tempo específico de cada produção cervejeira (variando de estilos e objetivos gustativos), as leveduras são retiradas na parte inferior do fermentador cônico, em seguida a cerveja (em caso de baixa fermentação; em alta, a cerveja que é retirada primeiro do fermentador), a qual é transferida para barris (ou nos próprios fermentadores), para maturação, que consiste em deixar a cerveja “descansar”, afim de obter melhores condições de sabor e aromas (BAMFORTH, 2017). Abaixo, na Figura 7, podemos observar a representação visual dos diferentes

estágios da fermentação, evidenciando as etapas-chave do processo bioquímico (WALKER; STEWART, 2016).

Figura 7: Processo de produção de cervejas



Fonte: Adaptado de <https://microambiental.com.br/analises-de-agua/por-que-monitorar-a-qualidade-da-agua-na-industria-de-cerveja/>

As leveduras mais utilizadas nesse processo são as *Saccharomyces cerevisiae* e a *Saccharomyces uvarum*. Como já descrito no início desse trabalho, o processo fermentativo do tipo *lager* é aquele que trabalha em menores temperaturas, entre 7°C-15°C (*Saccharomyces uvarum*), e o qual as leveduras floculam, e se acumulam no fundo do fermentador, no estágio final da fermentação primária, em torno de 7 a 10 dias, sendo posteriormente coletadas ao final do processo. Já as leveduras de alta fermentação (*Saccharomyces cerevisiae*), são melhores empregadas em temperaturas maiores, em torno de 18°C e 22°C, e no final do processo fermentativo, em torno de 3 a 5 dias, as mesmas são carregadas por moléculas de gás carbônico até a superfície do mosto, e por fim recuperadas (WALKER; STEWART, 2016).

Embora o processo seja anaeróbico (ausência de oxigênio), o oxigênio encontrado na atmosfera do fermentador é essencial, participando no início da inoculação (NELSON; COX, 2002). Uma vez que é utilizado pela levedura, afim de produzir esteróis e ácidos carboxílicos insaturados, necessários para síntese da membrana celular microbiana. Sem essa pequena, porém necessária participação do oxigênio, o crescimento celular seria prejudicado, causando uma fermentação anormal, a qual, pode interferir no sabor e aroma da cerveja (VERBELEN et al. 2009).

### 3.4 CLASSIFICAÇÃO DOS TIPOS DE CERVEJA

A classificação das cervejas é dependente quanto ao seu extrato primitivo, cor, teor de álcool, proporção entre malte de cevada e também, pelo tipo de fermentação. Sobre seu extrato primitivo, a classificação inicia na categoria de cervejas leves quando seu extrato fica entre 5% e 10,5%. Extratos entre 10,5% e 12% são classificadas como cervejas comuns, e cervejas do tipo extra, quando o extrato está entre 12% e 14%. Por fim, cervejas classificadas com extra forte, quando seu extrato supera os 14% (SOUZA; ANDRADE, 2017).

Seguindo com as classificações, outro aspecto de diferenciação é a cor. A qual pode ser feita mediante uma escala, a E.B.C (*European Brewers Convention*). Onde a cerveja clara deve conter menos de 20 unidades de EBC e uma escura, por sua vez, quantidade igual ou superior a 20 unidades de EBC. Além da EBC, outra escala amplamente reconhecida é a SRM (*Standard Reference Method*), utilizada principalmente nos Estados Unidos (STONE; MILLER, 1949). A SRM também é empregada para medir a cor da cerveja, e segue uma lógica semelhante à EBC, com uma variação de valores que representam diferentes tonalidades (KOREN et al. 2020). Ambas as escalas (EBC e SRM) são importantes ferramentas para a análise e comunicação de características sensoriais da cerveja, permitindo uma padronização e comparação consistentes entre diferentes produtos cervejeiros. (D. JUNIOR et al. 2009).

Para a classificação, baseada em teores alcoólicos das bebidas comercializadas em território nacional, tem de estar de acordo com a legislação brasileira, onde diz que, cervejas com teor alcoólico abaixo de 0,5% são classificadas como cervejas sem álcool, e acima desse valor, são consideradas alcoólicas, onde, deve-se rotular a mesma com o teor alcoólico (RESENDE, 2021).

Quanto a proporção de malte de cevada, temos as cervejas classificadas como puro malte, que possuem 100% de malte de cevada como fonte de carboidrato. Aquelas que possuem acima de 50% de malte de cevada, são classificadas como cerveja apenas, e abaixo disso, entre 20 e 50% de malte de cevada, temos cerveja de “nome do amiláceo predominante”, com o nome do vegetal predominante, como fonte de açúcar, utilizado na produção dessa cerveja (D. JUNIOR et al. 2009). Na Tabela 4, podemos verificar a variedade do mercado em geral, estão descritos os principais tipos de cerveja, disponíveis nos mais diversos rótulos e marcas:

Tabela 4: Características de estilos de cervejas mais conhecidas.

<b>Cerveja/Estilo</b>	<b>Aroma e Sabor</b>	<b>Coloração</b>
Pale Lager	Sabor suave e refrescante	Clara/Dourada
Blonde Ale	Leve sabor de malte e médio amargor	Amarelo Dourada
Hefeweizen	Turva, bastante corpo e com notas de banana e canela	Ouro
Pale Ale	Robusto aroma de lúpulo e médio amargor	Âmbar
IPA	Perfil de lúpulo bem constante	Âmbar
Amber Ale	Malte com amargor equilibrado	Âmbar
Irish Red Ale	Malte com notas de caramelo	Avermelhada
Brown Ale	Malte escuro, notas de caramelo e café	Marrom
Porter	Notas de cacau e torrado	avermelhada
Stout	Fortemente torrado com notas de café	Escura

Fonte: Adaptado de Carvalho; Guido (2021)

## 3.5 MERCADO DE CERVEJA ARTESANAL BRASILEIRO

### 3.5.1 Cerveja no Brasil

A história da cerveja no Brasil, remonta ao século XVII, por volta do ano de 1650, quando a Companhia da Índias Orientais enviou ao Brasil, juntamente com os holandeses que acompanharam a viagem, amostras dessa bebida, além de estrutura, equipamentos e receitas necessárias para produção da cerveja (KAMLOT; CALMON, 2017). Porém, fora apenas no século XIX, no ano de 1808, que, realmente começaram a aumentar as importações, e o consumo de cerveja, com a chegada da família Real Portuguesa ao Brasil (MEGA et al. 2011). Impulsionando o mercado, mas ainda demoraria mais de 40 anos para a criação da primeira cervejaria brasileira. O que ocorreu em 1853, com a criação da Bohemia Cervejaria, e em sequência, 1888 nascia a Brahma, e em 1889 a Antártica (FERRARI, 2008).

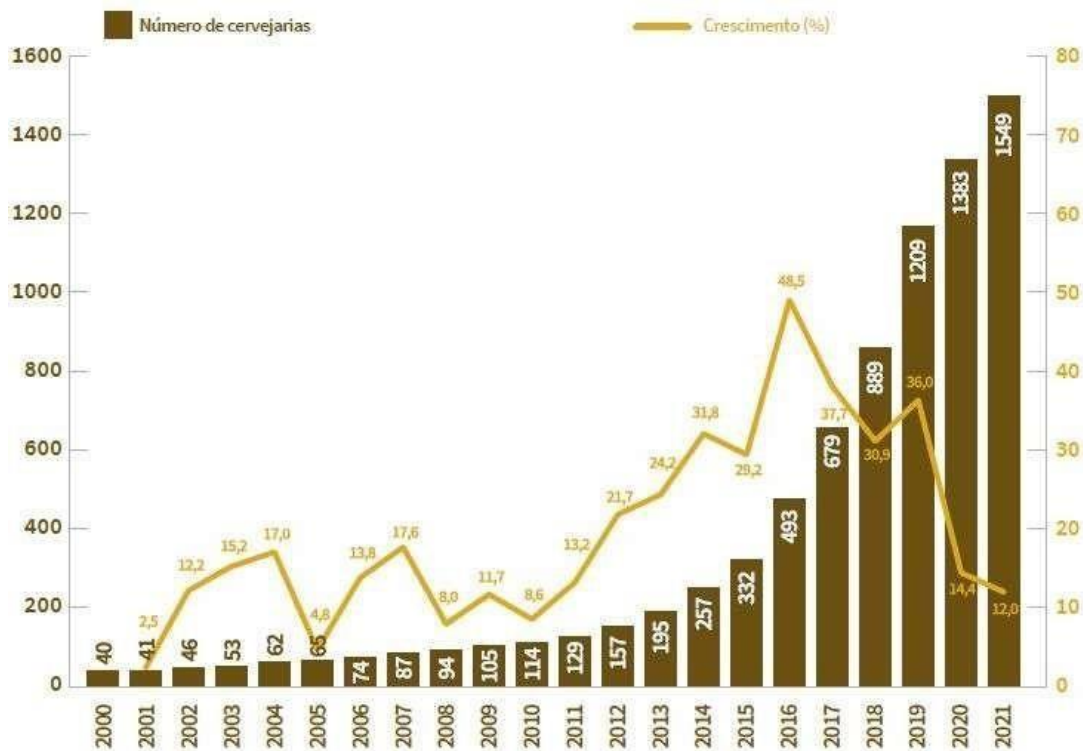
No início da década de 1950, apreciadores de cerveja e empreendedores do ramo, começaram a unir forças e ideais, afim de explorar esse mercado crescente. Como resultado, começaram a surgir diversas micro cervejarias pelo país. Nos anos 1995 e 1996 nasciam duas importantes micro cervejarias, respectivamente, a *Dado Bier* (Porto Alegre/RS) e a *Colorado* (Ribeirão Preto/SP) (MEGA et al. 2011). Assim, no início dos anos 2000, as fusões e aquisições de micro cervejarias por grandes empresas, foram se tornando mais comum, dando mais poder de mercado as corporações como a *Ambev/InBev*, que já possuíam um grande número de marcas nacionais e internacionais associadas (SILVA et al. 2016).

Dados da Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (*CervBrasil*), mostram que existem três grandes grupos líderes no mercado cervejeiro brasileiro, a *Ambev*, *Heineken*, e a cervejaria *Petrópolis*, que detém, juntas, cerca de 95% de toda produção cervejeira no Brasil. Segundo um levantamento do Sindicato Nacional da Indústria e Cerveja (SINDCERV), em 2016, o Brasil atingiu o terceiro lugar mundial em produção dessa bebida, com 14,7 bilhões de litros produzidos, ficando atrás apenas dos Estados Unidos com 22,1 bilhões de litros e a China, com 46 milhões de litros de cerveja produzida, naquele ano. Sendo a produção brasileira de cerveja nesse ano responsável sozinha por quase 2% do PIB nacional, e representando 14% da indústria de transformação. Gerando mais de R\$ 77 bilhões em faturamento e R\$ 25 bilhões em impostos (SINDICERV, 2019).

### 3.5.2 Análise de mercado

Todo esse monopólio de mercado, das grandes produtoras de cerveja, não impediu a expansão do ramo das micro cervejarias, pois, cada vez mais o mercado consumidor procurava novos e diversificados produtos. O que estimulou mais uma vez a criação de cervejarias de pequeno porte, regionais, altamente competitivas, que atendem a critérios mais distintos e rigorosos de sabor e qualidade (KROHN, 2018). Na segunda metade dessa década, o número de produtores de cervejas artesanais no Brasil, verificado na Figura 8, onde tem-se o gráfico de crescimentos dessas cervejarias, saindo de 332 em 2015, para 1549 em 2021, segundo dados do Anuário de Cervejas, de 2021, do Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA), lançando em setembro de 2022 (MAPA, 2021).

Figura 8: Gráfico de cervejarias no Brasil

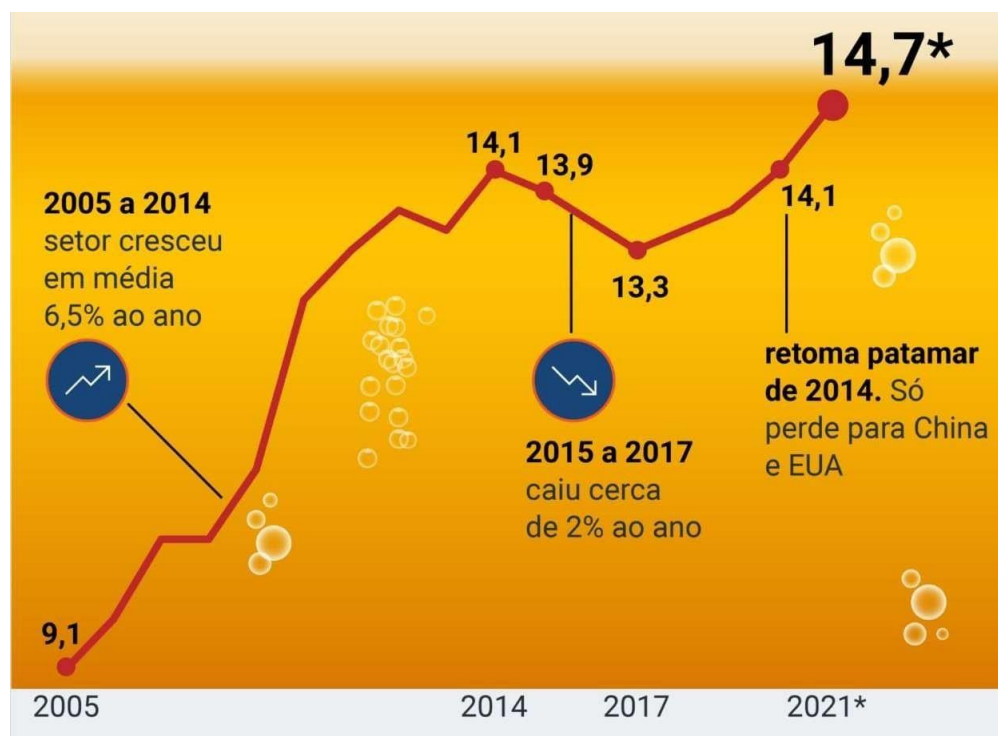


Fonte: MAPA, Brasil (2021)

O mercado desse tipo de cervejas convencionais, por si só, já apresentou crescimento nos últimos anos, ainda mais com as cervejas especiais. Um levantamento da *Euromonitor*, em 2020, nos mostra que o volume de produção de

cervejas no Brasil em 2021 foi o maior dos últimos anos, atingindo a marca dos 14,7 bilhões de litros, atrás apenas de 2020 e 2014, ano que o Brasil sediou a Copa do Mundo de Futebol. Na Figura 9, tem-se claramente a visão de crescimento destacado nesses anos, e segundo a mesma empresa, anteriormente citada, o volume de vendas de cerveja no Brasil teve um crescimento anual de 5,3%, no ano de 2020. Se considerarmos o quesito faturamento, esse número é ainda mais expressivo, com um aumento de 9,9% em comparação a 2019, com as vendas totalizando cerca de R\$ 184,5 bilhões, justamente impulsionado pelas vendas das cervejas taxadas como *Premium*, ou artesanais, que possuem maior valor agregado, que por conseguinte maior valor de mercado (MAPA, 2021); (BRASIL, 2021).

Figura 9: Gráfico produção em bilhões de litros de cerveja por ano no Brasil



Fonte: Adaptado de CERVBASIL

Nesse trabalho, também se levou em conta o mercado regional. Uma vez que existem mais de 15 microcervejarias espalhadas pela região do sudoeste paranaense, com diversos rótulos e estilos. Dados do ano de 2021, fornecidos pela própria cervejaria, a qual foram fornecidas as amostras, apontam a cerveja do tipo *Lager*, com

mais de 15.000 litros produzidos e vendidos entre janeiro de 2021, e dezembro do mesmo ano, como a cerveja mais requisitada e vendida pelo estabelecimento, além de estar presente (a marca) em diversos eventos em Pato Branco/PR e região, no ano que se seguiu, pós liberação da restrições, causadas pela COVID 19, o que impulsionou o crescimento e a presença dessa microcervejaria, na região que atua



### 3.6 ANÁLISES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

Foram analisados parâmetros físicos e físico-químicos como, o teor alcoólico, densidade relativa, valor de pH, turbidez e cor, os quais, são regulamentados pelo Decreto Nº 6.871 de 2009, que padroniza e classifica a produção e comércio de bebidas no Brasil.

#### 3.6.1 Teor alcoólico

O conteúdo alcoólico da cerveja é, geralmente, usado como medida de “força” entre os estilos existentes; usualmente as cervejas possuem teor alcoólico de etanol variando entre 2 e 5%, enquanto *Strong Ales* (e vinhos de cevada), por exemplo, podem conter concentrações superiores a 10% de álcool etílico (em v/v) (CASE et al. 2000). Na Alemanha, cervejas como a *Bock*, em sua maioria, contem graduações alcoólicas por volta dos 6%, as *Doppel* ou *Double Bock* com mais de 7,5%, ou seja, há uma relação entre graduação alcoólica e estilos de cerveja (BARTH, 2013).

O etanol, como é o principal metabólito (existem outros vários álcoois diferentes em solução, porém em quantidades muito pequenas) resultante da fermentação cervejeira, é um parâmetro importante para averiguação de qualidade e do controle de processo fermentativo (LOGAN et al. 1999). Uma vez que, o cervejeiro responsável já calcula previamente (antes de fermentação) a quantidade de açúcar fermentável presente; e como já se possui um valor a ser atingido de conversão desses açúcares em álcool, tem-se um maior controle dos resultados desejados á cerveja fabricada em questão (BAIANO, 2020).

Muitos produtores de cerveja utilizam o “*Grau Plato*” (com tabelas originalmente calculadas de soluções de sacarose; análogo tem-se o *Brix*, também muito utilizado), para assim, estipular a graduação alcoólica final (BAMFORTH, 2017). Onde se faz uma medição da densidade relativa do mosto antes da fermentação, e outra quando o processo se encerrar, justificando a conversão numérica dos açúcares em etanol. Sendo assim, o teor alcoólico é um parâmetro essencial para o cervejeiro para o controle de produção, além de ser um fator determinante de estilos próprios de cervejas (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

### 3.6.2 Densidade relativa

A cerveja é uma mistura complexa, com mais de 400 compostos diferentes, os quais são caracterizados por conter macromoléculas como proteínas, ácidos nucleicos, carboidratos e lipídeos (CARVALHO; GUIDO, 2021). Alguns desses constituintes da cerveja são derivados das matérias primas usadas em sua produção, e os quais, sobreviveram intactos a etapa de fervura. Outros são resultados de transformações químicas e bioquímicas do processo cervejeiro (RODRIGUES et al. 2010). Juntos, todos esses constituintes formam as características físicas e químicas de cada tipo de cerveja. Na Tabela 5, pode-se verificar as quantidades dos principais componentes químicos da cerveja (HUGHES; BAXTER, 2001). No geral, diferentes cervejas possuem diferentes proporções desses compostos, fornecendo uma bebida mais límpida ou turva, mais adocicada ou maltada, assim como outras propriedades e características da cerveja (BARTH, 2013).

Tabela 5: Composição das substâncias químicas nas cervejas, em g/100ml

<b>Substância química</b>	<b>Gramas/100ml de cerveja</b>
Água	92-95
Álcool	2-5
Carboidratos Totais	1,5-3
Proteínas Totais	< 0,2
Peptídeos, Aminoácidos	0,2, 0,6
Lipídeos	-
Minerais	0,2-0,3
Vitaminas e outros micronutrientes	0,002
Fibra Alimentar	0,3-1
Polifenóis	0,002-0,06

Fonte: Adaptado de Hughes; Baxter (2001)

Essas diferentes combinações também criam propriedades físicas diferentes, uma das quais é a densidade que cada cerveja deve apresentar. Densidade essa, a qual, está relacionada as proporções e tipos de substâncias encontradas no corpo da cerveja, além da graduação alcóolica, que interfere diretamente nessa variável (BLANCO et al. 2016). Assim sendo, para cada estilo de cerveja, há uma tolerância referente a densidade relativa, podendo ser indicativo de erros no processo cervejeiro,

por contaminação e alterações na biota fermentativa, ou por falta de controle térmico durante qualquer etapa do processo (HUGHES; BAXTER, 2001).

### 3.6.3 Determinação do valor de pH

Outras substâncias que também estão presentes, e que participam com grande importância na qualidade das cervejas, são as variedades dos ácidos presentes. Sendo esses provenientes dos grãos de malte, de processos bioquímicos e, principalmente, derivados do lúpulo (GONZÁLEZ-SALITRE et al. 2022). Pode-se verificar na Tabela 6, a distribuição média desses compostos, que são mais comumente presentes em quaisquer tipos de cervejas. São encontrados altos níveis de  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos, que proporcionam amargor, sabor e aroma as cervejas, provenientes das resinas amargas presentes nos lúpulos (CABALLERO et al. 2009). Há também ácidos carboxílicos alifáticos, mais simples, (OLŠOVSKÁ et al. 2018), que estão muitas vezes presentes, em pequenas quantidades, nas resinas do lúpulo, assim como a presença de cadeias ácidas ramificadas (como o ácido 2 metilbutanoico ou o ácido pentanoico / 4 metilpentanoico), derivados da oxidação de  $\alpha$  e  $\beta$  ácidos, além de outros compostos oxidados do próprio etanol, como o ácido acético, por exemplo (VERZELE; KEUKELEIRE, 1991).

Tabela 6: Ácidos mais comuns às cervejas em mg/L

Ácido	Limite sensibilidade	Média nas cervejas	Descrição do sabor
Acético	175 (mg/l)	30-200 (mg/l)	Ácido, Vinagre
Propanóico	150 (mg/l)	1-5 (mg/l)	Vinagre, Leite
Butanóico	2,2 (mg/l)	0,5-1,5 (mg/l)	Manteiga, Queijo
2 Metil Propanóico	30 (mg/l)	0,1-2 (mg/l)	Adocicado, Azedo
Pentanóico	8 (mg/l)	0,03-0,1 (mg/l)	Adocicado
2-Metil Butanóico	2 (mg/l)	0,1-0,5 (mg/l)	Queijo velho
3-Metil Butanóico	1,5 (mg/l)	0,1-2 (mg/l)	-
Octanóico	15 (mg/l)	2-12 (mg/l)	Queijo, Leite
Láctico	400 (mg/l)	20-80 (mg/l)	Ácido
Pirúvico	300 (mg/l)	15-150 (mg/l)	Salgado
Succínico	-	16-140 (mg/l)	-

Fonte: Adaptado de Hughes; Baxter (2001)

As quantidades desses ácidos estão relacionadas aos tipos de lúpulos utilizados, e as proporções dessas variedades empregadas. Uma porção significativa dos ácidos amargos do lúpulo estão associados a baixos valores de pH (OLŠOVSKÁ et al. 2018). Valores baixos, entre 4,2, proporcionam uma maior estabilidade da formação da espuma da cerveja. Isso devido aos ácidos do lúpulo serem mais hidrofóbicos, que podem ser adsorvidos em superfícies mais eficientemente (JORGE; TRUGO, 2003).

A estabilidade correta do valor de pH é um fator importante a cerveja, uma vez que o mesmo afeta tanto sensorial como visualmente as mesmas. Valores considerados ideais de pH para cervejas, estão entre 4,2 e 4,6 (LEHNHARDT et al. 2019). Valores abaixo de 4,2, pode-se acrescentar um sabor ácido a cerveja, os quais geralmente são evitados, salvo estilos de cervejas como a *Berliner Weizen*, que possui um caráter sensorial mais ácido (KANEDA et al. 1997). Além disso, o pH baixo está diretamente ligado a estabilidade da espuma, pois, os grandes números de ácidos provenientes do lúpulo ficam indissociáveis em intervalo de pH baixo, fazendo com que os mesmos adsorvam melhor, ou seja, mantem mais consistente a espuma no copo (CABALLERO et al. 2009).

Outras quantidades menores de vários outros ácidos, também estão presentes nas cervejas, sendo provenientes, em sua maior parte, do processo fermentativo e do lúpulo (BAIANO, 2020). E, para cada estilo de cerveja também há um nível adequado de acidez, própria ao consumo, salvo alguns estilos, como o exemplo da *Berliner Weizen*, que naturalmente é uma cerveja mais acidificada e carbonatada. Níveis superiores de acidificação das cervejas podem indicar problemas no processo fermentativo, ou falta de controle de temperatura em alguma etapa dos processos, gerando quantidades anormais de ácidos no meio (KORDIALIK-BOGACKA, 2022).

#### 3.6.4 Turbidez

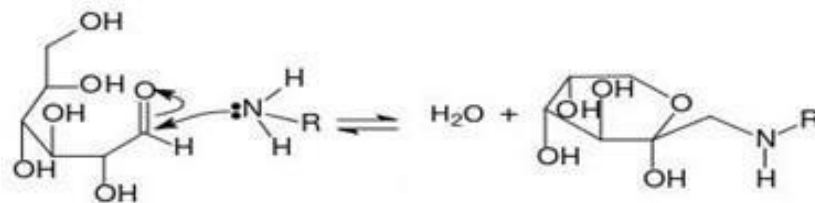
Em análises de física, a turbidez se refere a capacidade de passagem de luz através de um líquido qualquer (VOGEL, 2012). E mais especificamente sobre a cerveja, a turbidez está relacionada a qualidade do estilo da bebida, uma vez que há estilos com cervejas mais claras e límpidas, filtradas, e outros onde a cerveja possui grande quantidade de material dissolvido, podendo ser proteínas, vitaminas, açúcares, ou simplesmente pela não filtração da cerveja (mais comum em produções

artesanais, por não passarem pelos processos de filtração, clarificação e pasteurização) (BAIANO, 2020). Classifica-se como límpida as cervejas as quais há passagem de luz pela amostra de bebida, de forma completa ou com pouca absorção. Já para cervejas com maior turbidez, são classificadas como turvas, por obstruírem a passagem da luz em seu meio (LUND et al. 2012). Há estilos propriamente carregados de material particulado, ou seja, turvas, com bastante “corpo”, sendo as mais conhecidas as cervejas de trigo (*Wheat Beer, Witbier, Hefeweizen*), que possuem muito mais material proteico, por exemplo, devido ao tipo de grão empregado (HUMIA et al. 2019).

A turbidez também é considerada uma métrica de controle de qualidade da cerveja produzida. Uma vez que estilos que produzem cervejas límpidas podem ter alterações no processo e apresentar turbidez indesejada no produto final. Podendo essa turvação ser proveniente de processos biológicos ou erros na cadeia produtiva, a serem observados pelo mestre cervejeiro (STEINER et al. 2010).

### 3.6.5 Cor (EBC)

A coloração das cervejas se dá, majoritariamente, por 4 formas, as quais estão descritas na Tabela 7, justificando as possíveis alterações nos níveis de cor das cervejas. Primeiramente, devido a reação de *Maillard* (é uma reação química entre aminoácidos, ou uma proteína, e um carboidrato redutor, obtendo-se substâncias químicas que dão cor e aroma a alimentos) (NELSON; COX, 2002), a qual pode ocorrer durante a germinação e torra do malte (processo de malteação), e na fervura, formando os melanoides (AREDES et al. 2020). A formação desses melanoides é favorecida por elevadas temperaturas. Um exemplo são as reações que ocorrem entre o aminoácido prolina e a maltose (açúcar presente no mosto), mecanismo bem descrito na Figura 10, abaixo, onde o grupo carbonila do açúcar reage com o grupo amino do aminoácido, produzindo glicosilamina N-substituída e água, reação a qual possibilita alteração na coloração obtida (SHIBAO et al. 2011). Para cada estilo de produção de cerveja, deve se considerar o teor de prolina presente no mosto, mediante o tipo e quantidade de grão escolhido, os quais irão afetar a coloração da mesma (KOREN et al. 2020).

Figura 10 Mecanismo da genérico da reação de *Maillard*

Fonte: Adaptado de Shibao et al. (2011)

O segundo recurso significativo para obtenção de cor nas cervejas é a oxidação de polifenóis presentes no mosto, que pode ocorrer naturalmente, ou por excessos de oxigênio na etapa fermentativa (PATRA et al. 2020). A terceira maneira de se obter cor nas cervejas é a presença de metais (e interação desses com outras substâncias) na água cervejeira (YANG et al. 2016). Quantidades de metais como o cobre (Cu) ou ferro (Fe), podem induzir a oxidação de produtos químicos presentes no mosto, e alterar a coloração final das cervejas (SCHUBERT et al. 2022). E, por último, há a presença da vitamina B<sub>2</sub>, a Riboflavina, que em concentrações acima de 1µg podem contribuir para a cor amarelo pálido das *Lagers* (HUGHES; BAXTER, 2001).

A cor da cerveja é um determinante fator para diferenciação de estilos, e também de controle produtivo, em quesito qualidade. Uma vez que alterações em cervejas com coloração padrão ao estilo, podem indicar contaminação ou erro no processo produtivo (KOREN et al. 2020).

Tabela 7: Componentes químicos que interferem na coloração das cervejas

Componentes	Matéria prima	Processo	Cor
Melanoidinas	Maltes	Fervura/Torra	Amarelo/Âmbar
Oxidação Polifenóis	Maltes e Lúpulo	Oxigenação	Vermelho/Marrom
Metais (Fe e Cu)	Água, Maltes	-	-
Riboflavina	Malte, Levedura	Fermentativo	Amarelo

Fonte: Adaptado de Hughes; Baxter (2001)

## 4 MATERIAIS E MÉTODOS

### 4.1 LOCAL DE REALIZAÇÃO DAS ANÁLISES

As análises foram realizadas nos laboratórios de ensino e pesquisa, pertencentes ao Departamento de Química (DAQUI), Campus Pato Branco, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Nos quais cedidos fornecidos materiais pertinentes as análises.

### 4.2 AMOSTRAS

Todas as amostras, foram tiradas do mesmo barril, e do mesmo lote de produção, com data de envase do barril em 03/04/2023. E retiradas diretamente do barril (assim como é feito para envase de garrafas e *growlers*), no dia 05/04/2023, e devidamente armazenadas em geladeiras mercantis (temperatura constante 6°C e ambiente protegido de luz, conforme especificação para venda e armazenamento) na própria cervejaria. Dando início as atividades em laboratório no dia 06/04/2023. Com as amostras subdivididas em 7 grupos de análises, sendo essas analisadas a cada 7 dias, totalizando 42 dias de estocagem, até a último ensaio laboratorial, que se deu no dia 18/05/2023. O estilo analisado fora o *Lager*, e os grupos foram divididos em A1, para primeira análise (semana 1), A2 para a análise de 7 dias (semana 2), A3 para a análise de 14 dias (semana 3), A4 para a análise de 21 dias (semana 4), A5 para a análise de 28 dias (semana 5), A6 para a análise de 35 dias (semana 6) e A7 para a análise de 42 dias (semana 7). Configuração melhor demonstrada no Quadro 1. Todas as amostras analisadas, foram previamente descarbonatas, utilizando-se de um agitador magnético, afim de se remover todo o gás carbônico (CO<sub>2</sub>), conforme especificado no protocolo de análises do IAL, além de climatizadas, a temperatura ambiente (por volta de 20-25°C).

Durante as 7 semanas, as amostras foram submetidas as análises destacadas, fornecendo semanalmente dados dos parâmetros físicos e físico-químicos estudados nesse trabalho. Por fim, com os resultados, pôde-se discutir a relação dos valores obtidos, com possíveis causas e soluções propostas.

Quadro 1: Organização e período de análise das amostras

<b>ANÁLISE</b>	<b>DATA</b>	<b>AMOSTRA</b>	<b>TEMPO DE ESTOCAGEM</b>
SEMANA 1	06/04/2023	A1	0 DIAS
SEMANA 2	13/04/2023	A2	7 DIAS
SEMANA 3	20/04/2023	A3	14 DIAS
SEMANA 4	27/04/2023	A4	21 DIAS
SEMANA 5	04/05/2023	A5	28 DIAS
SEMANA 6	11/05/2023	A6	35 DIAS
SEMANA 7	18/05/2023	A7	42 DIAS

Fonte: Autoria própria (2023)



### 4.3 ANÁLISES FÍSICAS E FÍSICO-QUÍMICAS

Foram analisados parâmetros como o teor alcoólico, densidade relativa, pH, turbidez e cor, os quais, são regulamentados pelo Decreto Nº 6.871 de 2009, que padroniza e classifica a produção e comércio de bebidas no Brasil.

Na indústria cervejeira, há diversos métodos de análise que são utilizados para garantir o controle de qualidade dos produtos. Esses métodos podem ser classificados em duas categorias principais: os nacionais e os internacionais. Os métodos nacionais são aprovados pelo Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento (MAPA) e definidos pelo Instituto Adolfo Lutz (IAL). Já os métodos internacionais são estabelecidos por organizações (mas igualmente reconhecidos pelo MAPA) como a *American Society of Brewing Chemists* (ASBC) e a *Analytical European Brewerz Convention* (EBC). Essas análises são altamente confiáveis e são consideradas padrões para o controle de qualidade nas cervejarias.

Todas as análises em questão foram realizadas em triplicata, seguindo as especificações do protocolo de análises físico-químicas. Para essas análises, utilizou-se o manual do Instituto Adolfo Lutz (IAL), de 2008. Assim como com utilização de materiais específicos, e seus respectivos manuais para ajustes e calibração adequadas, fornecidos pela UTFPR.

No presente estudo, optou-se por utilizar o teste estatístico ANOVA, devido às características específicas da pesquisa. A coleta de triplicatas de medidas para cada semana de análise visou garantir uma maior precisão e confiabilidade dos resultados obtidos. O uso do ANOVA permite analisar a variação entre as semanas e avaliar se há diferenças significativas nas médias dos grupos estudados.

Ao aplicar o teste, podemos realizar uma análise estatística abrangente, considerando tanto a variabilidade dentro das triplicatas (ou seja, a variação dentro dos grupos) quanto a variabilidade entre as médias das diferentes semanas (ou seja, a variação entre os grupos). Isso possibilita identificar se as diferenças observadas são estatisticamente relevantes e não apenas resultado de variações aleatórias. Além disso, o teste ANOVA é adequado para lidar com um número maior de grupos comparados, o que é relevante nesse nosso estudo, onde analisou-se diferentes semanas de coleta. Os dados foram coletados para cada grupo independente, com uma variável numérica associada a cada grupo. Em seguida, foram realizados cálculos estatísticos, incluindo a estatística de teste  $F$  e o *valor p* correspondente. A

estatística de teste F é calculada a partir da razão entre a variância observada entre os grupos e a variância observada dentro dos grupos. Para interpretar os resultados, foi definido um nível de significância ( $\alpha = 0,05$ ). Se o *valor p* obtido for menor que o nível de significância, rejeita-se a hipótese nula, concluindo que pelo menos uma das médias dos grupos é estatisticamente diferente. Por outro lado, se o *valor p* for maior que o nível de significância, não há evidências suficientes para rejeitar a hipótese nula, indicando que não existem diferenças significativas entre as médias dos grupos. Todos os resultados do teste estatístico, para cada análise, se encontram no apêndice desse trabalho

#### 4.3.1 Teor Alcoólico

O teor alcoólico foi determinado utilizando-se o método de destilação, conforme os "Métodos físico-químicos para análise de alimentos" desenvolvidos pelo Instituto Adolf Lutz, que é o método oficial para a definição do teor alcoólico. Esse método compreende uma destilação preliminar da bebida fermentada, com a finalidade de separar os compostos voláteis e, posteriormente, determinar a densidade do destilado resultante, relativo à água. Para tal, uma amostra de 250 ml de cerveja foi transferida para um conjunto de destilação e destilado até aproximadamente 75% do volume inicial. O qual foi recolhido para a determinação da densidade relativa a 20°C por meio do uso de um picnômetro de vidro, de acordo com as especificações do IAL (2008). A densidade relativa da amostra, fora calculada mediante Equação 1:

$$\frac{M_2 - M_0}{M_1 - M_0} = \text{densidade}$$

(Equação 1)

Sendo:

$M_0$  = Massa do Picnômetro de vidro, apenas

$M_1$  = Massa do Picnômetro + Água destilada (50 ml)

$M_2$  = Massa do Picnômetro + Amostra (50 ml)

#### 4.3.2 Densidade Relativa

A determinação da densidade das amostras foi efetuada empregando-se um picnômetro. A metodologia adotada consistiu em enxaguar o picnômetro com álcool e, posteriormente, com éter, seguida da secagem natural e pesagem do recipiente vazio. Em sequência, o picnômetro foi preenchido com água destilada, assegurando-se a ausência de bolhas, à temperatura de 20°C, e registrando-se a massa do conjunto. Posteriormente, o picnômetro foi seco e o procedimento anterior foi repetido com a amostra, novamente garantindo-se a ausência de bolhas (Conforme especificado pelo IAL, 2008).

#### 4.3.3 Determinação do valor de pH

A análise do pH foi realizada utilizando um equipamento Medidor de pH do tipo caneta, microprocessado, modelo PH-009(I) A, fabricado pela marca *MinyMix*.

#### 4.3.4 Turbidez

A análise de turbidez foi realizada em triplicata, utilizando um equipamento medidor de turbidez modelo Q 179-P, fabricado pela marca QUIMIS.

#### 4.3.5 Cor (EBC)

A determinação do parâmetro de cor foi conduzida utilizando o método espectrofotométrico, o qual é reconhecido como o método oficial de referência adotado pela *European Brewery Convention* (EBC), e foi desenvolvido para minimizar a subjetividade associada à avaliação visual (STONE; MILLER, 1949). A gama de comprimento de onda escolhida variou entre 400 e 700 nm. Seguindo a padronização de análises para cervejas, a cor da cerveja é melhor definida aos 430 nm (KOREN et al. 2020). Para tanto, a amostra foi filtrada por meio de filtros de membrana com porosidade de 0,48 µm, e a absorbância do filtrado resultante foi medida por espectrofotometria, utilizando uma cubeta retangular de vidro de 1 cm, para amostras líquidas. A cor, que foi expressa em unidades EBC, foi calculada a partir da conversão com um fator predefinido, baseado na absorbância obtida. O espectrofotômetro utilizado, fornecido pela instituição, foi o modelo *SP-2000UV UV-Vis Spectrophotometer*, da marca BEL Engineering®. A coloração da amostra, fora calculada mediante Equação 2:

$$\text{EBC} = 25 * (\text{FD}) * \text{A430nm}$$

(Equação 2)

Sendo:

FD = Fator de Diluição (1:1)

A430nm = Valor da absorbância medido (conforme tabela no apêndice, em valores de 1/A430nm)

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção do trabalho, são mostrados os resultados obtidos por meio das análises realizadas, ilustrados na Tabela 8, análises as quais foram feitas em triplicata, que tem importância fundamental para assegurar a robustez e a validade dos dados. Além disso, todas as medidas foram tratadas estatisticamente, mediante metodologia de testes ANOVA, para tratamentos dos dados brutos, utilizando-se a média dos valores obtidos, procedimento que visa reduzir eventuais efeitos causados por discrepâncias individuais entre as medidas, proporcionando uma visão mais precisa e geral das características estudadas.

O teste ANOVA, utilizado mediante software de tabelas da Microsoft, o Excel, calcula uma estatística denominada valor F, que é obtida pela razão entre a variação entre os grupos e a variação dentro dos grupos. Quanto maior for o valor F, maior será a evidência de que existe uma diferença significativa entre as médias dos grupos. Para avaliar a significância estatística do valor F, é necessário compará-lo com um valor crítico obtido a partir de tabelas de distribuição F ou por meio de softwares estatísticos (BLANCA et al. 2017).

Adotando-se rigorosamente as instruções do Instituto Adolfo Lutz (IAL, 2008), buscou-se garantir a qualidade da metodologia deste estudo, bem como a consistência com padrões científicos estabelecidos.

Tabela 8: Dados resultantes das análises físicas e físico-químicas.

<b>Análises Experimentais</b>	<b>Semana 1</b>	<b>Semana 2</b>	<b>Semana 3</b>	<b>Semana 4</b>	<b>Semana 5</b>	<b>Semana 6</b>	<b>Semana 7</b>
Teor alcoólico	4,80%	4,80%	4,80%	4,80%	4,85%	4,85%	4,85%
Densidade Relativa	1,0087	1,0087	1,0088	1,0089	1,0086	1,0087	1,0088
Turbidez (NTU)	35,52	35,72	36,04	36,36	36,44	36,84	36,88
Cor (EBC)	8,88	8,93	9,01	9,09	9,11	9,21	9,22
Valor de pH	4,4	4,3	4,3	4,2	4,3	4,3	4,2

Fonte: Autoria própria (2023)

## 5.1 ANÁLISE DE TEOR ALCOÓLICO

O processo de fermentação, algumas alterações podem ocorrer durante o armazenamento e afetar o teor alcoólico da cerveja (BOSSAERT et al. 2022). Além disso, a atividade enzimática pode contribuir para alterações no teor alcoólico da cerveja durante o armazenamento. Enzimas como as amilases, presentes no mosto, podem continuar a quebrar os açúcares não fermentados em açúcares fermentáveis, permitindo uma fermentação secundária e, conseqüentemente, um aumento no teor alcoólico (MEYER et al. 2017). Isso pode ocorrer especialmente em condições de armazenamento inadequadas, como temperaturas elevadas ou exposição à luz solar

De acordo Sousa (2014), que analisou algumas cervejas, e diversas condições de estocagem diferentes, constatou que ao final dos 105 dias de pesquisa, algumas amostras tiveram alteração no teor alcoólica, indicando fermentação secundária. Uma das principais causas de alterações no teor alcoólico é a atividade de leveduras selvagens ou contaminantes que podem estar presentes durante a fermentação ou mesmo no momento do engarrafamento da cerveja (CHERUBIN, 2003). Essas leveduras podem apresentar diferentes eficiências fermentativas e, conseqüentemente, produzir quantidades variáveis de álcool etílico (SILVA, 2015). Já, um outro trabalho que analisou algumas cervejas, dentre elas uma com excesso de leveduras, variando a temperatura de estocagem, e os tipos de compartimentos (*growlers* e *pets*), verificou que, ao final do experimento, todas as amostras apresentaram alterações no teor alcoólico, ainda mais acentuada na garrafa com excesso de leveduras (MOHAMMAD et al. 2020). A presença dessas leveduras pode resultar em uma fermentação secundária não planejada e aumentar ou diminuir o teor alcoólico da cerveja (HEUBERGER et al. 2012).

Porém, ao analisar a Tabela 9, a qual possui os dados com as medidas da amostra destilada, e a densidade relativa dessas medidas a água destilada, que por fim é convertida mediante tabela do IAL, em % de teor alcoólico, pode-se observar que não houve alteração na graduação alcoólica no decorrer das análises, de forma significativa, em termos de relevância estatística, o que não indicaria atividades fermentativas, durante o tempo de estocagem.

Tabela 9: Análise dos valores de teor alcoólico

Análise	Medida 1 (g)	Medida 2 (g)	Medida 3 (g)	Média (g)	Dens. Rel. Amostra	% Teor Alcoólico	Desvio padrão
Semana 1	86,2720	86,2730	86,2680	86,2710	0,9915	4,80	± 0,0026
Semana 2	86,2660	86,2750	86,2690	86,9367	0,9915	4,80	± 0,0046
Semana 3	86,2670	86,2620	86,2470	86,2587	0,9915	4,80	± 0,0014
Semana 4	86,2700	86,2700	86,2720	86,2707	0,9915	4,80	± 0,0012
Semana 5	86,2660	86,2660	86,2640	86,2653	0,9914	4,85	± 0,0012
Semana 6	86,2690	86,2620	86,2640	86,2650	0,9914	4,85	± 0,0036
Semana 7	86,2600	86,2690	86,2630	86,2640	0,9914	4,85	± 0,0046

Fonte: Autoria própria (2023)

É importante destacar que, embora alterações no teor alcoólico possam ocorrer durante o armazenamento, a cerveja geralmente é estável nesse aspecto (KROGERUS et al. 2021). Nesse trabalho verificou-se que, durante todo o tempo de análises, não se obteve uma modificação significativa nos valores do teor alcoólico. Não descartando que, há possíveis variações nas medições de laboratório, considerando diferentes temperaturas nas semanas de análise, calibração dos equipamentos, tempo de transporte e tempo de climatização das amostras, dentre outros fatores intrínsecos, que podem impactar sensorialmente nas análises (SOUSA, 2014). As mudanças significativas no teor alcoólico são mais prováveis de ocorrerem, devido a problemas durante a fermentação ou contaminações posteriores na estocagem. Portanto, o controle rigoroso das condições de fermentação, qualidade das leveduras e higiene geral do processo de produção são fundamentais para garantir a consistência do teor alcoólico da cerveja, assim como manter devidamente refrigerada e ao abrigo de luminosidade (CIONT et al. 2022). Segundo a legislação vigente no país, a cerveja analisada se encontra nos níveis aceitáveis de graduação alcoólica, assim como, nas convenções aceitas hoje em dia, também se enquadra ao estilo *Lager* (MYLES et al. 2022).

Em resumo, o teor alcoólico de cervejas pode sofrer alterações durante o processo de produção e armazenamento, devido à atividade de leveduras indesejáveis, enzimas e condições inadequadas de armazenamento. E com os dados obtidos nos 42 dias de análise, considerando a metodologia de tratamentos de dados ANOVA, a qual viabiliza matematicamente a sensibilidade das variâncias encontradas, pode-se concluir que as variações nos valores de teor alcoólico não são

significativas (ROUDER et al. 2016), levando a afirmar que essa cerveja se manteve dentro os padrões, em relação ao teor de etanol, no período analisado e, portanto, própria ao consumo ainda nos 42 dias de estocagem, sob as condições descritas anteriormente. É essencial adotar boas práticas de fermentação, utilizar leveduras de qualidade, monitorar a temperatura e a higiene e garantir condições adequadas de armazenamento, a fim de manter o teor alcoólico estável (De LIMA et al. 2022).

## 5.2 ANÁLISES DE DENSIDADE RELATIVA

Segundo Lefchak (2022), que analisou diversas cervejas artesanais do sudoeste do estado do Paraná, cervejas do mesmo estilo podem ter diferentes valores para densidade relativa, devido as diferentes receitas, pertinentes a cada cervejaria, e os insumos usados por cada uma delas, em suas produções. Durante o processo de fabricação de cervejas, a densidade é medida em diferentes etapas para monitorar a eficiência da fermentação. A densidade inicial, também conhecida como densidade do mosto (*Original Gravity* - OG), é a medida antes da fermentação e reflete a concentração de açúcares disponíveis para serem fermentados pelas leveduras. Após a fermentação, a densidade final é (FG - Final Gravity) medida para determinar o teor alcoólico da cerveja e verificar se a fermentação foi concluída de forma adequada (COELHO NETO et al. 2020). Nesse período, se espera estabilidade dessa variável.

Ao verificar-se os resultados obtidos nas análises na Tabela 10, nota-se que não houve alteração significativa nos valores finais de densidade, sendo que essa não foi indicativo de alteração na variável densidade, a qual é diretamente impactada em variações decorrentes da fermentação (CASE et al. 2000). Outra indicação que possa haver alterações pontuais geradas por fatores inerentes às análises, e por conseguinte as medidas obtidas, uma vez que os valores não oscilaram significativamente ao final dos 42 dias de análise, mantendo-se um padrão na densidade (ESTEVÃO; LOURENÇO, 2020).



Tabela 10: Análise dos valores de densidade relativa da cerveja

<b>Análises</b>	<b>Medida 1</b>	<b>Medida 2</b>	<b>Medida 3</b>	<b>Média</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Semana 1	1,0086	1,0087	1,0088	1,0087	± 0,0001
Semana 2	1,0087	1,0087	1,0087	1,0087	± 0,0001
Semana 3	1,0087	1,0087	1,0089	1,0087	± 0,0001
Semana 4	1,0088	1,0089	1,0089	1,0088	± 0,0001
Semana 5	1,0087	1,0086	1,0086	1,0086	± 0,0001
Semana 6	1,0087	1,0088	1,0087	1,0087	± 0,0001
Semana 7	1,0088	1,0088	1,0087	1,0087	± 0,0001

Fonte: Autoria própria (2023)

Segundo, CIONT et al. (2022) outro fator que pode influenciar a densidade da cerveja *Lager* durante o armazenamento é a presença de microrganismos contaminantes. Bactérias ou leveduras indesejáveis podem estar presentes na cerveja, mesmo que em quantidades muito baixas, e continuar a fermentar os açúcares residuais, ou degradar metabólitos secundários presentes no meio. Isso pode resultar em uma fermentação secundária não planejada e um aumento na densidade da cerveja.

Além disso, mudanças na densidade também podem ocorrer devido a reações químicas e físicas que acontecem durante o armazenamento da cerveja. A oxidação de compostos orgânicos, como os ácidos graxos insaturados, pode levar à formação de compostos mais complexos que contribuem para o aumento da densidade (BOKULICH; BAMFORTH, 2013). Da mesma forma, a precipitação de substâncias insolúveis, como proteínas ou polifenóis, pode afetar a densidade da cerveja pronta (HUMIA et al. 2019). É importante ressaltar que pequenas variações na densidade ao longo do tempo, por períodos mais longos, podem ser esperadas e fazem parte do processo de envelhecimento da cerveja (LEHNHARDT et al. 2018). No entanto, alterações significativas na densidade podem indicar problemas de fermentação incompleta, contaminações ou deterioração da qualidade (BETTENHAUSEN et al. 2018).

Segundo a legislação vigente no país, a cerveja analisada se encontra nos padrões de densidade relativa de cervejas, no período analisado e, portanto, própria ao consumo ainda nos 42 dias de estocagem, sob as condições descritas anteriormente. Assim como, nas convenções aceitas hoje em dia, também se enquadra ao estilo *Lager* (COELHO NETO et al. 2020).

### 5.3 ANÁLISE DE VALORES DE PH

Reações químicas que ocorrem durante o envelhecimento da cerveja também podem afetar o pH. A oxidação de compostos orgânicos, como os ácidos graxos insaturados, pode resultar na formação de ácidos orgânicos, aumentando o pH da cerveja (MOHAMMAD et al. 2020). A exposição ao oxigênio durante o armazenamento é um fator crítico nesse processo, e a presença de oxigênio dissolvido na cerveja pode acelerar as reações de oxidação. Além das alterações causadas por microrganismos e reações químicas, fatores relacionados à qualidade da água utilizada na produção da cerveja também podem desempenhar um papel no pH final (BETTENHAUSEN et al. 2018). A composição iônica da água, especialmente os níveis de íons de cálcio e magnésio, pode influenciar o pH da cerveja (BARTH, 2013). É importante ressaltar que essas alterações podem ser minimizadas por meio do tratamento adequado da água utilizada durante o processo de fabricação.

Ao analisarmos a Tabela 11, pode-se notar que quase houve uma leve alteração nos valores de pH com o passar do tempo, embora há uma diferença de 0,2 pontos ao final dos 42 dias, a cerveja se manteve dentro dos padrões aceitáveis de acidez (HUGHES; BAXTER, 2001).

De acordo com o tratamento estatístico utilizado nesse trabalho (ANOVA fator único) pode-se descobrir se essas alterações verificadas nas análises possuem ou não significância matemática, para inferir possíveis casualidades, que poderiam realmente modificar com significância esses valores com o passar do tempo. Ao final do tratamento, verificou-se que essas alterações, estão abaixo do fator determinante para serem consideradas com valor de significância, considerando o Valor *P*, ou seja, as alterações aqui obtidas não inferem nenhuma possível casualidade decorrente de fermentação secundária, contaminações, ou processos químicos que poderiam afetar os valores de pH com real sensibilidade (MCHUGH, 2011). Ressaltando que, todos os tratamentos estatísticos, se encontram no apêndice desse trabalho, podendo-se conferir a veracidade da informação técnica.

Tabela 11: Análise de valores de pH

Análise	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média	Desvio padrão
Semana 1	4,42	4,35	4,42	4,40	± 0,0404
Semana 2	4,35	4,38	4,30	4,34	± 0,0404
Semana 3	4,32	4,30	4,28	4,30	± 0,0200
Semana 4	4,25	4,22	4,20	4,22	± 0,0252
Semana 5	4,28	4,30	4,28	4,29	± 0,0115
Semana 6	4,33	4,30	4,29	4,31	± 0,0208
Semana 7	4,28	4,22	4,18	4,23	± 0,0503

Fonte: Autoria própria (2023)

Outro fator que onde o valor de pH é determinante, é na estabilidade e tempo de duração da espuma formada no copo. Valores acima de 4,6 podem reduzir o tempo e a permanência da espuma no copo. Pois valores baixos de pH favorecem a adsorção dos compostos presentes na espuma, com a parede do copo (OKADA et al. 2008). De acordo com a análise de dados aplicada nesse trabalho, pode-se aferir que as variações encontradas permeiam a normalidade esperada na estocagem de cervejas (RODRÍGUEZ-SAAVEDRA et al. 2020).

Em resumo, o pH de cervejas *Lager* prontas e estocadas pode sofrer alterações devido à atividade de microrganismos indesejáveis, reações químicas durante o envelhecimento e fatores relacionados à qualidade da água. É essencial inovar e persistir em boas práticas de higiene, a fim de evitar a contaminação microbiológica e monitorar o pH ao longo do processo de produção e armazenamento da cerveja, garantindo a qualidade e estabilidade do produto final (COELHO NETO et al. 2020). Segundo a legislação vigente no país, a cerveja analisada se encontra dentro dos valores de pH aceitáveis para cervejas, no período analisado e, portanto, própria ao consumo ainda nos 42 dias de estocagem, sob as condições descritas anteriormente. Assim como, nas convenções mundialmente reconhecidas hoje em dia, também se enquadra ao estilo *Lager* (SAISON et al. 2010), (INTELMANN; HOFMANN 2010).

#### 5.4 ANÁLISE DE TURBIDEZ (NTU)

A turbidez na cerveja *Lager* pode ser um sinal de deterioração e indicar a presença de contaminantes indesejáveis, como bactérias ou leveduras selvagens, de fermentação láctica ou acética (BOKULICH; BAMFORTH, 2013). Segundo Sousa (2014), aumentos consideráveis nos níveis de turbidez podem ocorrer devido a vários fatores, já que cervejas artesanais estão mais propensas a contaminações cruzadas na produção, alterações decorrentes nas condições de armazenamento, exposição à luz solar e variações de temperatura.

No entanto, mesmo com todos os cuidados tomados durante a produção, a cerveja *Lager* pode apresentar naturalmente uma turbidez ao longo do tempo (MUTZ et al. 2020). Ao verificarmos os resultados na Tabela 12, observa-se uma alteração detectada, e constante durante o tempo. Embora em valores significativos, tratados estatisticamente não sejam consideradas grandes alterações, considerando as diferenças entre o *F crítico* e *F obtido*, incorrendo que não houve contaminação, ou fermentação secundária nas garrafas, situações que aumentariam significativamente os níveis de turbidez, nesse período (CEJKA et al. 2013). É importante ressaltar que a turbidez em cervejas *Lager* não é necessariamente prejudicial à saúde ou indicação de que a cerveja está estragada. No entanto, a aparência turva pode afetar negativamente a percepção sensorial e a qualidade geral da cerveja. Portanto, é essencial que os produtores e revendedores de cervejas estejam cientes das possíveis causas da turbidez e adotem medidas adequadas para evitá-la (ŞANLIER et al. 2017).

Tabela 12: Análise dos valores de Turbidez (NTU)

<b>Análise</b>	<b>Medida 1 (NTU)</b>	<b>Medida 2 (NTU)</b>	<b>Medida 3 (NTU)</b>	<b>Média (NTU)</b>	<b>Desvio Padrão</b>
Semana 1	35,66	35,39	35,51	35,52	± 0,1353
Semana 2	35,78	35,69	35,70	35,72	± 0,0493
Semana 3	35,98	36,06	36,09	36,04	± 0,0569
Semana 4	36,49	36,29	36,32	36,37	± 0,1079
Semana 5	36,46	36,51	36,36	36,44	± 0,0764
Semana 6	36,95	36,70	36,82	36,82	± 0,1250
Semana 7	36,96	36,83	36,85	36,88	± 0,0700

Fonte: Autoria própria (2023)

Importante notar que os valores de turbidez em cervejas podem variar ao longo do tempo, especialmente quando armazenadas em condições inadequadas (LUND et al. 2012). Por exemplo, a exposição à luz solar pode causar reações químicas na cerveja, resultando em uma turvação conhecida como "*skunking*" ou "efeito *skunky*". Temperaturas altas ou variações extremas também podem contribuir para a turbidez ao acelerar a degradação das proteínas e aumentar a atividade microbiana (De LIMA et al. 2022). Segundo a legislação vigente no país, a cerveja analisada se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis de turbidez para cervejas, no período analisado e, portanto, própria ao consumo ainda nos 42 dias de estocagem, sob as condições descritas anteriormente. Assim como, nas convenções aceitas e reconhecidas hoje em dia, também se enquadra, em níveis de turbidez, ao estilo *Lager* (HUGHES; BAXTER, 2001).

## 5.5 ANÁLISE DE COR (EBC)

É importante destacar que a cor das cervejas pode sofrer alterações ao longo do tempo, especialmente durante o armazenamento inadequado (BERNER; ARNEBORG, 2012). Processos como a reação de *Maillard* podem ocorrer, mesmo que minimamente, devido a condições de alteração de temperatura durante a estocagem ou mesmo na produção cervejeira. O que ocasionaria uma ocorrência de escurecimento nas cervejas (SHIBAO et al. 2011). A exposição ao oxigênio pode levar ao desenvolvimento de compostos oxidados que podem escurecer a cerveja e alterar seu perfil de sabor. O armazenamento adequado em recipientes herméticos e com baixa exposição ao oxigênio é fundamental para evitar essas alterações indesejadas (STEINER et al. 2010). A exposição à luz, especialmente à luz ultravioleta, pode levar ao fenômeno conhecido como "*skunking*" ou "efeito *skunky*", onde a cerveja adquire uma cor amarelada e *off-flavors* devido a reações químicas entre os compostos do lúpulo e a luz solar (KANEDA et al. 1997). Ao observar os resultados na Tabela 13, pode-se verificar que houve uma alteração detectada, e constante durante o tempo, considerando os valores da primeira à última semana. Embora em valores significativos, embasados estatisticamente por tratamento dos dados obtidos, não sejam consideradas alterações com significância, tendo como base o valor *p*.

Alterações que sendo significativas poderiam ser decorrentes de processos e reações químicas, ou indicativos de contaminação (RODHOUSE; CARBONERO, 2017).

Tabela 13: Análise dos valores de cor (EBC)

Análise	Medida 1 (EBC)	Medida 2 (EBC)	Medida 3 (EBC)	Média (EBC)	Desvio Padrão
Semana 1	8,85	8,88	8,90	8,88	± 0,0252
Semana 2	8,97	8,93	8,90	8,93	± 0,0351
Semana 3	9,05	8,98	8,99	9,01	± 0,0379
Semana 4	9,12	9,09	9,05	9,09	± 0,0351
Semana 5	9,11	9,10	9,12	9,11	± 0,0100
Semana 6	9,18	9,22	9,23	9,21	± 0,0265
Semana 7	9,21	9,22	9,23	9,22	± 0,0100

Fonte: Autoria própria (2023)

Segundo a legislação vigente no país, a cerveja analisada se encontra dentro dos parâmetros aceitáveis de cor, em escala EBC para cervejas, no período analisado e, portanto, própria ao consumo ainda nos 42 dias de estocagem, sob as condições descritas anteriormente. Assim como, nas convenções aceitas e reconhecidas hoje em dia, também se mantém enquadrada, em níveis de cor, ao estilo *Lager* (KOLLER; PERKINS, 2022).

Em resumo, a cor das cervejas em geral pode sofrer alterações devido à exposição à luz, oxidação e armazenamento inadequado. Para preservar a cor e a qualidade da cerveja, é essencial protegê-la da luz, do oxigênio e armazená-la adequadamente (ROSA; AFONSO, 2015).

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente estudo, foi realizada uma análise acompanhada do tempo de prateleira de uma cerveja artesanal, com foco nas alterações ocorridas em sua composição e características físicas ao longo de um período de 7 semanas, estocadas em geladeiras a 6°C (temperatura constante) e ao abrigo de luz. Os resultados obtidos revelaram algumas mudanças, porém, não significativas, levando em consideração o tratamento estatístico (ANOVA fator único), que nos possibilita identificar se as diferenças observadas são estatisticamente relevantes e não apenas resultado de variações aleatórias.

Em relação à composição alcoólica, observou-se uma ligeira alteração ao longo do tempo, embora essa mudança tenha sido considerada não significativa. Isso indica que a cerveja artesanal estudada manteve sua estabilidade alcoólica dentro dos padrões esperados durante o período de análise, assim como esperado, considerando a temperatura de estocagem, boas práticas de produção e envase, impedindo a proliferação bacteriana, ou contaminação cruzada. E, considerando os dados obtidos na análise dos valores de densidade relativa da cerveja, o que não se encontrou diferença entre o valor da primeira com o da última semana, e também, considerando as diferenças entre as medidas semanais, que se mostraram constantes, dando a característica de estabilidade a cerveja, e endossando a teoria de não ter ocorrido fermentação secundária.

Em relação ao pH, foi notado uma redução gradual ao longo do tempo, embora tenha permanecido dentro do padrão aceitável para cervejas artesanais, e nos valores aceitáveis pela legislação brasileira. E, é importante ressaltar que a diminuição do pH não afetou negativamente a qualidade sensorial da cerveja, contando que uma leve e constante diminuição nos valores do pH são esperados durante os processos naturais de envelhecimento das cervejas.

No que diz respeito à cor e turbidez, observou-se uma alteração mais recorrente ao longo das 7 semanas de análise. Essas mudanças poderiam ser atribuídas a fatores como a possível fermentação, a precipitação de compostos suspensos, a formação de sedimentos ou a reações químicas que afetam a estabilidade coloidal da cerveja, porém, conforme tratamento estatístico realizado, não foram significativas ao ponto de inferirem essas causalidades. Essas alterações na cor e turbidez, caso significativas, podem influenciar a aceitação visual da cerveja

pelos consumidores, uma vez que a aparência desempenha um papel importante na percepção da qualidade.

Com base nos resultados obtidos, é possível garantir que durante o período analisada, a cerveja em questão sem manteve tanto dentro dos padrões e valores aceitáveis para a legislação brasileira, como também manteve as características esperadas para uma cerveja artesanal, tanto em estabilidade quanto em tempo de prateleira, sobre refrigeração constante, sendo considerada própria ao consumo, e adequada ao estilo, após os 42 dias de estocagem. Para evitar ou minimizar as alterações na cor e turbidez ao longo do tempo, recomenda-se aprimorar ou mesmo incluir as técnicas de filtração e clarificação durante o processo de produção, os quais reduziriam a quantidade de material particulado na cerveja. Além disso, é importante sempre garantir boas práticas de armazenamento, como manter a cerveja em temperaturas adequadas e evitar exposição à luz e ao oxigênio, o que pode contribuir significativamente para a estabilidade física e sensorial da cerveja. Ademais, é fundamental realizar análises periódicas do produto durante o tempo de prateleira, a fim de monitorar e compreender melhor as alterações que ocorrem ao longo do tempo. Isso permitirá um controle de qualidade mais efetivo e o desenvolvimento de estratégias de estocagem e produção mais precisas, visando a necessidade e estilo particular de cada cervejaria.

Em conclusão, este estudo destacou as alterações ocorridas no tempo de prateleira de uma cerveja artesanal, com ênfase na composição alcoólica, densidade, pH, cor e turbidez. Embora tenham sido observadas algumas mudanças ao longo do tempo, o embasamento matemático não inferiu significatividade aos valores analisados. Sendo consideradas dentro dos padrões aceitáveis para cervejas artesanais. Implementar medidas para melhorar a estabilidade física e sensorial da cerveja, como adotar boas técnicas como filtração e clarificação, além de práticas que mantem a vida útil de qualquer produto alimentício, como o processo de pasteurização podem ajudar na manutenção de vida útil de uma cerveja artesanal. Muito embora essas saídas possam diminuir características sensoriais positivas, pertinentes da produção artesanal, as quais conferem seu diferencial de aceitação com o público, cada vez mais exigente e diversificado, podendo por fim, desagregar valor final do produto.



## 7 REFERÊNCIAS

ALGAZZALI, V.; SHELLHAMMER, T. Bitterness intensity of oxidized hop acids: Humulinones and hulupones. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 74, n. 1, p. 36-43, 2016.

ALVES, W. DE S.; GOMES, MARIA LETÍCIA DE SOUSA MARTINS, G. A. S.; ROLIM, C. S. DOS S.; et al. Caracterização físico-química e avaliação e sensorial de cerveja pilsen produzida a partir de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz., 1766) submetida a diferentes adubações de solo. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 2, p. 7580-7599, 2020.

AMILCAR. Produção de cerveja artesanal. , p. 72, 2016. Disponível em: <<https://cervejasartesanais.wordpress.com/producao-de-cerveja-artesanal/>>. .

ARAÚJO, F. B.; SILVA, P. H. A.; MINIM, V. P. R. Perfil sensorial e composição físico-química de cervejas provenientes de dois segmentos do mercado brasileiro. **Ciencias de Tecnologia de Alimentos**, v. 23, n. 2, p. 121-128, 2003.

AREDES, R. S.; PEIXOTO, F. C.; SPHAIER, L. A.; MARQUES, F. F. DE C. Evaluation of craft beers through the direct determination of amino acids by capillary electrophoresis and principal component analysis. **Food Chem**, v. 344, p. 128572, 2020. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2020.128572>>. .

BAIANO, A. Craft beer: An overview. **Compr Rev Food Sci Food Saf**, v. 20, n. 2, p.1829-1856, 2020. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12693>>. .

BAMFORTH, C. W. Progress in Brewing Science and Beer Production. **Annu Rev Chem Biomol Eng**, v. 8, p. 161-176, 2017. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1146/annurev-chembioeng-060816-101450>>. .

BARROS, R. C.; GHESTI, F. G. **Malte: Essência Da Cerveja**. 1º ed. Brasília: Universidade de Brasília, 2016.

BARTH, R. **The chemistry of beer**. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2013.

BERNER, T. S.; ARNEBORG, N. The role of lager beer yeast in oxidative stability of model beer. **Lett Appl Microbiol**, v. 54, n. 3, p. 225-232, 2012. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/j.1472-765X.2011.03195.x>>. .

BETTENHAUSEN, H. M.; BARR, L.; BROECKLING, C. D.; et al. Influence of malt source on beer chemistry, flavor, and flavor stability. **Food Res Int**, v. 113, p. 487-504, 2018. Canada. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2018.07.024>>. .

BLANCA, M. J.; ALARCÓN, R.; ARNAU, J.; BONO, R.; BENDAYAN, R. Non-normal data: Is ANOVA still a valid option? **Psicothema**, v. 29, n. 4, p. 552-557, 2017. Spain. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7334/psicothema2016.383>>. .

BLANCO, C. A.; ANDRÉS-IGLESIAS, C.; MONTERO, O. Low-alcohol Beers: Flavor Compounds, Defects, and Improvement Strategies. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 56, n. 8, p. 1379-1388, 2016. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2012.733979>>. .

BOKULICH, N. A.; BAMFORTH, C. W. The Microbiology of Malting and Brewing. **Microbiology and Molecular Biology Reviews**, v. 77, n. 2, p. 157-172, 2013a. American Society for Microbiology.

BOSSAERT, S.; KOCIJAN, T.; WINNE, V.; et al. Beer ethanol and iso- $\alpha$ -acid level affect microbial community establishment and beer chemistry throughout wood maturation of beer. **Int J Food Microbiol**, v. 374, p. 109724, 2022. Netherlands. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.ijfoodmicro.2022.109724>>. .

BRASIL, M. Anuário da cerveja: 2021. **Ministério da agricultura, pecuária e abastecimento**, p. 24, 2021.

BRUNELLI, L. T.; MANSANO, A. R.; VENTURINI FILHO, W. G. Caracterização físico-química de cervejas elaboradas com mel. **Brazilian Journal of Food Technology**, v. 17, n. 1, p. 19-27, 2014.

CABALLERO, I.; AGUT, M.; ARMENTIA, A.; BLANCO, C. A. Importance of tetrahydroiso alpha-acids to the microbiological stability of beer. **J AOAC Int**, v. 92, n. 4, p. 1160-1164, 2009. England. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19714985>>. .

CARVALHO, D. O.; GUIDO, L. F. A review on the fate of phenolic compounds during malting and brewing: Technological strategies and beer styles. **Food Chem**, v. 372, p. 131093, 2021. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2021.131093>>. .

CASE, G. A.; DISTEFANO, S.; LOGAN, B. K. Tabulation of alcohol content of beer and malt beverages. **J Anal Toxicol**, v. 24, n. 3, p. 202-210, 2000. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/jat/24.3.202>>. .

CEJKA, P.; CULÍK, J.; HORÁK, T.; JURKOVÁ, M.; OLŠOVSKÁ, J. Use of chemical indicators of beer aging for ex-post checking of storage conditions and prediction of the sensory stability of beer. **J Agric Food Chem**, v. 61, n. 51, p. 12670-12675, 2013. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/jf403361h>>. .

CHERUBIN, R. A. **Efeitos da Viabilidade da Levedura e da Contaminação Bacteriana na Fermentação Alcoólica** Escola Superior de Agricultura Luiz da QUEIROZ, 2003.

CIONT, C.; EPURAN, A.; KEREZSI, A. D.; et al. Beer Safety: New Challenges and Future Trends within Craft and Large-Scale Production. **Foods**, 1. set. 2022. MDPI.

COELHO NETO, D. M.; FERREIRA, L. L. P.; SAD, C. M. S.; et al. Chemical concepts involved in beer production: A review. **Revista Virtual de Química**, v. 12, n. 1, p. 120-147, 2020.

CRAINE, E. B.; BRAMWELL, S.; ROSS, C. F.; FISK, S.; MURPHY, K. M. Strategic malting barley improvement for craft brewers through consumer sensory evaluation of malt and beer. **J Food Sci**, v. 86, n. 8, p. 3628-3644, 2021. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1750-3841.15786>>. .

CURRY, A. How ancient people fell in love with bread, beer and other carbs. **Nature**, v. 594, n. 7864, p. 488-491, 2021. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1038/d41586-021-01681-w>>. .

D. JUNIOR, A. A.; VIEIRA, A. G.; FERREIRA, T. P. Processo de Produção de Cerveja. **Revista Processos Químicos**, v. 3, n. 6, p. 61-71, 2009.

DESALLE, R.; TATTERSALL, I. **A natural history of beer**. YALE UNIVERSITY PRESS/ NEW HAVEN & LONDON, 2019.

DORETTO, D. D. A.; FIGUEIRA, R.; SARTORI, M. M. P.; VENTURINI FILHO, W. G. Análise Físico-Química E Sensorial De Cervejas Comerciais Brasileiras. **Energia Na Agricultura**, v. 33, n. 3, p. 268-274, 2018a.

DURELLO, R. S.; SILVA, L. M.; BOGUSZ, S. Química do Lúpulo. **Química Nova**, v. 42, n. 8, p. 900-919, 2019.

ESTEVIÃO, S. T.; LOURENÇO, F. R. Real-Time Monitoring of Beer Parameters Using Infrared Spectroscopy-A Process Analytical Technology Approach. **J AOAC Int**, v. 103, n. 6, p. 1654-1659, 2020. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1093/jaoacint/qsaa057>>. .

FERRARI, V. **O mercado de cervejas no Brasil** PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL FACE: FACULDADE DE ADMINISTRAÇÃO, CONTABILIDADE E ECONOMIA, 2008. PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DO RIO GRANDE DO SUL- PUC RS. Disponível em: <<http://www.ainfo.inia.uy/digital/bitstream/item/7130/1/LUZARDO-BUIATRIA-2017.pdf>>. .

FOX, G. P. Chemical composition in barley grains and malt quality. In: G. Zhang; C. Li (Orgs.); **Genetics and improvement of Barley Malt Quality**. p.63-98, 2009. Springer, Berlin, Heidelberg.

GALLONE, B.; STEENSELS, J.; PRAHL, T.; et al. Domestication and Divergence of *Saccharomyces cerevisiae* Beer Yeasts. **Cell**, v. 166, n. 6, p. 1397- 1410.e16, 2016. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.cell.2016.08.020>>. .

GERHARDS, S.; TALAVERANO, M. I.; ANDRÉS, A. I.; et al. Different dry hopping and fermentation methods: influence on beer nutritional quality. **J Sci Food Agric**, v. 101, n. 7, p. 2828-2835, 2020. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.10912>>. .

GIANNAKOU, K.; COTTERRELL, M.; DELNERI, D. Genomic Adaptation of *Saccharomyces* Species to Industrial Environments. **Frontiers in Genetics**, v. 11, n. August, p. 1-10, 2020.

GONZÁLEZ-SALITRE, L.; GUILLERMO GONZÁLEZ-OLIVARES, L.; ANTOBELLI BASILIO-CORTES, U. Humulus lupulus L. a potential precursor to human health: High hops craft beer. **Food Chem**, v. 405, n. Pt B, p. 134959, 2022. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.134959>>. .

HEUBERGER, A. L.; BROECKLING, C. D.; LEWIS, M. R.; et al. Metabolomic profiling of beer reveals effect of temperature on non-volatile small molecules during short-term storage. **Food Chem**, v. 135, n. 3, p. 1284-1289, 2012. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2012.05.048>>. .

HUGHES, P. S.; BAXTER, E. D. **Beer, quality, safety and nutritional aspects**. The Royal Society Of Chemistry, 2001.

HUMIA, B. V.; SANTOS, K. S.; BARBOSA, A. M.; et al. Beer molecules and its sensory and biological properties: A review. **Molecules**, v. 24, n. 8, 2019. MDPI AG.

INTELMANN, D.; HOFMANN, T. On the autoxidation of bitter-tasting iso-alpha-acids in beer. **J Agric Food Chem**, v. 58, n. 8, p. 5059-5067, 2010. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/jf100083e>>. .

JORGE, K.; TRUGO, L. C. Discrimination of different hop varieties using headspace gas chromatographic data. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 14, n. 3, p. 411-415, 2003.

KAHLE, E.-M.; ZARNKOW, M.; JACOB, F. Beer Turbidity Part 1: A Review of Factors and Solutions. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 79, n. 2, p. 99-114, 2021. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/03610470.2020.1803468>>. .

KAMLOT, D.; CALMON, P. DE Q. Os arquétipos na gestão de uma marca: aplicação à marca líder do mercado de cervejas brasileiro. **Intercom: Revista Brasileira de Ciências da Comunicação**, v. 40, n. 1, p. 97-120, 2017.

KANEDA, H.; TAKASHIO, M.; TAMAKI, T.; OSAWA, T. Influence of pH on flavour staling during beer storage. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 103, n. 1, p. 21-23, 1997.

KOLLER, H.; PERKINS, L. B. Brewing and the Chemical Composition of Amine-Containing Compounds in Beer: A Review. **Foods**, v. 11, n. 3, 2022. Switzerland. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/foods11030257>>. .

KORDIALIK-BOGACKA, E. Biopreservation of beer: Potential and constraints. **Biotechnol Adv**, v. 58, p. 107910, 2022. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2022.107910>>. .

KOREN, D.; HEGYESNÉ VECSEI, B.; KUN-FARKAS, G.; et al. How to objectively determine the color of beer? **Journal of Food Science and Technology**, v. 57, n. 3, p. 1183-1189, 2020.

KROGERUS, K.; EERIKÄINEN, R.; AISALA, H.; GIBSON, B. Repurposing brewery contaminant yeast as production strains for low-alcohol beer fermentation. **Yeast**,

v. 39, n. 1-2, p. 156-169, 2021. England. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.1002/yea.3674>>. .

KROHN, L. V. H. **Beber, Fazer, Vender: Formação do mercado de cerveja “artesanal” no Brasil**, 2018. Universidade de São Paulo - USP.

LEFCHAK, A. X. F. **Avaliação físico-química de cervejas artesanais do estilo pilsen produzidas na região sudoeste do estado do paraná.** 2022.

LEGRAS, J.-L.; MERDINOGLU, D.; CORNUET, J.-M.; KARST, F. Bread, beer and wine: *Saccharomyces cerevisiae* diversity reflects human history. **Mol Ecol**, v. 16, n. 10, p. 2091-2102, 2007. England. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.1111/j.1365-294X.2007.03266.x>>. .

LEHNHARDT, F.; GASTL, M.; BECKER, T. Forced into aging: Analytical prediction of the flavor-stability of lager beer. A review. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 59, n. 16, p. 2642-2653, 2018. United States. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2018.1462761>>. .

LEHNHARDT, F.; GASTL, M.; BECKER, T. Forced into aging: Analytical prediction of the flavor-stability of lager beer. A review. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 59, n. 16, p. 2642-2653, 2019. Taylor & Francis. Disponível em:  
<<https://doi.org/10.1080/10408398.2018.1462761>>. .

LIGUORI, L.; DE FRANCESCO, G.; ORILIO, P.; PERRETTI, G.; ALBANESE, D. Influence of malt composition on the quality of a top fermented beer. **Journal of Food Science and Technology**, v. 58, n. 6, p. 2295-2303, 2021. Springer.

DE LIMA, A. C.; ACEÑA, L.; MESTRES, M.; BOQU , R. An Overview of the Application of Multivariate Analysis to the Evaluation of Beer Sensory Quality and Shelf-Life Stability. **Foods**, 1. jul. 2022. MDPI.

LODOLO, E. J.; KOCK, J. L. F.; AXCELL, B. C.; BROOKS, M. The yeast *Saccharomyces cerevisiae* - The main character in beer brewing. **FEMS Yeast Research**. **Anais** .....v. 8, p.1018-1036, 2008.

LOGAN, B. K.; CASE, G. A.; DISTEFANO, S. Alcohol content of beer and malt beverages: forensic consideration. **J Forensic Sci**, v. 44, n. 6, p. 1292-1295, 1999. United States. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/10744486>>.

LUND, M. N.; HOFF, S.; BERNER, T. S.; LAMETSCH, R.; ANDERSEN, M. L. Effect of pasteurization on the protein composition and oxidative stability of beer during storage. **J Agric Food Chem**, v. 60, n. 50, p. 12362-12370, 2012. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/jf303044a>>.

MADIGAN, M. T.; MARTINKO, J. M.; BENDER, K. S.; BUCKLEY, D. H.; STAHL, D. A. **Microbiologia de Brock** 2016.

MCHUGH, M. L. Multiple comparison analysis testing in ANOVA. **Biochem Med (Zagreb)**, v. 21, n. 3, p. 203-209, 2011. Croatia. Disponível em:  
<<http://dx.doi.org/10.11613/bm.2011.029>>.

MEGA, J.; NEVES, E.; ANDRADE, C. J. DE. A Produção Da Cerveja No Brasil. **Revista Citino**, v. 1, n. 1, p. 1-6, 2011.

MENEZES, M. C. R. C. DE. Controle De Qualidade Em Uma Cervejaria Artesanal: Análise De Contaminantes Do Processo De Fabricação E Eficácia Do Sistema De Clean in Place. , p. 52, 2018.

MEUSSDOERFFER, F. G. **A Comprehensive History of Beer Brewing**. 2009.

MEYER, H.-P.; MINAS, W.; SCHMIDHALTER, D. **Industrial-Scale Fermentation**. 2017.

MOHAMMAD, Z. H.; RAY, C. C.; NEAL, J. A.; et al. Implications of temperature abuse on unpasteurized beer quality using organoleptic and chemical analyses. **Foods**, v. 9, n. 8, 2020. MDPI AG.

MORADO, R. **Larousse da cerveja: A história e as curiosidades de uma das bebidas mais populares do mundo**. 1º ed. São Paulo: Alaúde Editorial Ltda., 2017.

MORAES, F. DA S.; SANTOS, A. DE O.; PAULINO, F. DE O.; CAVALCANTI, T. G.; FREIRE, K. R. DE L. Desenvolvimento de Protocolo Técnico para Produção de Cerveja Artesanal com Adição de Polpa de Graviola (*Annona muricata* L.) e sua Aceitabilidade Sensorial. **70 Reunião Anual da SBPC**, 2018.

MOSHER, M.; TRANTHAM, K. **Brewing Science: A Multidisciplinary Approach**. Springer International Publishing Switzerland, 2017.

MUTZ, Y. S.; ROSARIO, D. K. A.; CONTE-JUNIOR, C. A. Insights into chemical and sensorial aspects to understand and manage beer aging using chemometrics. **Compr Rev Food Sci Food Saf**, v. 19, n. 6, p. 3774-3801, 2020. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1111/1541-4337.12642>>. .

MYLES, C. C.; VANDER WEIL, B.; WILEY, D.; WATSON, B. Representations of Low(er) Alcohol (Craft) Beer in the United States. **Nutrients**, v. 14, n. 23, 2022. Switzerland. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3390/nu14234952>>. .

NELSON, D. L.; COX, M. M. **Lehninger Principles of Biochemistry**. Third Edit ed. New York: W.H. FREEMAN AND COMPANY, 2002.

NELSON, M. **The Barbarian's Beverage**. 2005.

OKADA, Y.; IIMURE, T.; TAKOI, K.; et al. The influence of barley malt protein modification on beer foam stability and their relationship to the barley dimeric alpha-amylase inhibitor-I (BDAl-I) as a possible foam-promoting protein. **J Agric Food Chem**, v. 56, n. 4, p. 1458-1464, 2008. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/jf0724926>>. .

OLIVEIRA, N. A. M. DE. **Leveduras utilizadas no processo de fabricação da cerveja** Monografia apresentada ao Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais, como requisito para obtenção do título de Especialista em Microbiologia Ambiental e Industrial, 2011.

OLŠOVSKÁ, J.; VRZAL, T.; ŠTĚRBA, K.; et al. The chemical profiling of fatty acids during the brewing process. **J Sci Food Agric**, v. 99, n. 4, p. 1772-1779, 2018. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9369>>. .

PARRON, L. M.; MUNIZ, D. H. DE F.; PEREIRA, C. M. Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água. **Embrapa Florestas**, v. 1, p. 69, 2011.

PATERNOSTER, A.; JASKULA-GOIRIS, B.; DE CAUSMAECKER, B.; et al. The interaction effect between vibrations and temperature simulating truck transport on the flavor stability of beer. **J Sci Food Agric**, v. 99, n. 5, p. 2165-2174, 2018. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1002/jsfa.9409>>. .

PATRA, S. G.; MIZRAHI, A.; MEYERSTEIN, D. The Role of Carbonate in Catalytic Oxidations. **Acc Chem Res**, v. 53, n. 10, p. 2189-2200, 2020. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/acs.accounts.0c00344>>. .

PAVSLER, A.; BUIATTI, S. 3 - Lager Beer. In: V. R. Preedy (Org.); **Beer in Health and Disease Prevention**. p.31-43, 2009. San Diego: Academic Press. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/B9780123738912000031>>. .

POELMANS, E.; SWINNEN, F. M. J. A brief economic history of beer. In: F. M. J. Swinnen (Org.); **The Economics of Beer**. p.3-28, 2011. Oxford: Oxford Scholarship Online.

RAIHOFER, L.; ZARNOW, M.; GASTL, M.; HUTZLER, M. A short history of beer brewing: Alcoholic fermentation and yeast technology over time: Alcoholic fermentation and yeast technology over time. **EMBO Rep**, v. 23, n. 12, p. e56355, 2022. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15252/embr.202256355>>. .

RESENDE, L. F. **Determinação De Teor Alcoólico Em Cervejas Do Tipo Pilsen**. Uberaba - MG, 2021.

RODHOUSE, L.; CARBONERO, F. Overview of craft brewing specificities and potentially associated microbiota. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 59, n. 3, p. 462-473, 2017. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1378616>>. .

RODRIGUES, J. E. A.; ERNY, G. L.; BARROS, A. S.; et al. Quantification of organic acids in beer by nuclear magnetic resonance (NMR)-based methods. **Anal Chim Acta**, v. 674, n. 2, p. 166-175, 2010. Netherlands. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.aca.2010.06.029>>. .

RODRÍGUEZ-SAAVEDRA, M.; GONZÁLEZ DE LLANO, D.; MORENO-ARRIBAS, M. V. Beer spoilage lactic acid bacteria from craft brewery microbiota: Microbiological quality and food safety. **Food Res Int**, v. 138, n. Pt A, p. 109762, 2020. Canada. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodres.2020.109762>>. .

ROSA, N. A.; AFONSO, J. C. A Química da Cerveja Química e Sociedade. **Química Nova Escola**, v. 37, p. 98-105, 2015. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.5935/0104-8899.20150030>>. .

ROUDER, J. N.; ENGELHARDT, C. R.; MCCABE, S.; MOREY, R. D. Model comparison in ANOVA. **Psychon Bull Rev**, v. 23, n. 6, p. 1779-1786, 2016. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.3758/s13423-016-1026-5>>. .

SAISON, D.; DE SCHUTTER, D. P.; VANBENEDEN, N.; et al. Decrease of aged beer aroma by the reducing activity of brewing yeast. **J Agric Food Chem**, v. 58, n. 5, p. 3107-3115, 2010. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/jf9037387>>. .

ŞANLIER, N.; GÖKCEN, B. B.; SEZGIN, A. C. Health benefits of fermented foods. **Crit Rev Food Sci Nutr**, v. 59, n. 3, p. 506-527, 2017. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1080/10408398.2017.1383355>>. .

SCHUBERT, C.; LAFONTAINE, S.; DENNENLÖHR, J.; THÖRNER, S.; RETTBERG, N. The influence of storage conditions on the chemistry and flavor of hoppy ales. **Food Chem**, v. 395, p. 133616, 2022. England. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.foodchem.2022.133616>>. .

SEATON, J. C.; CANTRELL, I. C. THE DETERMINATION OF BEER COLOUR—COLLABORATIVE TRIAL. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 99, n. 1, p. 21-23, 1993.

SHIBAO, J.; HELENA, D.; BASTOS, M. **Maillard reaction products in foods: implications for human health**. 2011.

SILVA, C. R. G. DA; MORALES, E. M.; OLIVEIRA, D. S. DE. Aspectos sensoriais e nutricionais da cerveja - comparação entre o processo artesanal e comercial. **Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento**, v. 01, n. 08, p. 14-35, 2019.

SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA, A. R. V. DE. Cerveja e sociedade. **Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 85-91, 2016.

SILVA, H. R. E. **Estudo do efeito de novas técnicas de lupulização no tempo de prateleira da cerveja artesanal**, 2015. Minho: Universidade do Minho.

SILVA, L. M. **Determinação de Humulonas e Lupulonas em Lúpulo por Microextração em Fase Líquida com Fibra Oca e Cromatografia Líquida de Alta Eficiência Determinação de Humulonas e Lupulonas em Lúpulo por Microextração em Fase Líquida com Fibra Oca e Cromatografia Líquida**. 2020.

SKOOG, D. A.; WEST, D. M.; HOLLER, F. J.; CROUCH, S. R. **Química Analítica**. 8<sup>o</sup> ed. Thomson, 2009.

SLEIMAN, M.; VENTURINI FILHO, W. G.; DUCATTI, C.; NOJIMOTO, T. Determinação do percentual de malte e adjuntos em cervejas comerciais brasileiras através de análise isotópica. **Ciência e Agrotecnologia**, v. 34, n. 1, p. 163-172, 2010.

SOUSA, A. R. E. **Estudo do Impacto de Variáveis de Processo nos Parâmetros de Qualidade da Cerveja Artesanal ao Longo do Tempo de Prateleira**. Minho, 2014.



SOUZA, A. J. N. **Aceitação de cerveja artesanal tipo ale e lager: produzida artesanalmente e comparação com cerveja de mercado**, 2018. Centro Universitário de Formiga - UNIFOR.

SOUZA, P. G. S.; ANDRADE, W. V. DE. **Caracterização do amargor da cerveja em microcervejarias da cidade de Ponta Grossa - PR. Universidade Tecnológica Federal do Paraná**, 2017. Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

SPÓSITO, M. B.; ISMAEL, R. V.; BARBOSA, C. M. DE A.; TAGLIAFERRO, A. L. A cultura do Lúpulo. **Série Produtor Rural**, p. 81, 2019a.

STEINER, E.; BECKER, T.; GASTL, M. Turbidity and haze formation in beer - insights and overview. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 116, n. 4, p. 360-368, 2010.

STONE, I.; MILLER, M. C. The Standardization of Methods for the Determination of Color in Beer. **Proceedings. Annual meeting - American Society of Brewing Chemists**, v. 7, n. 1, p. 140-150, 1949. Taylor & Francis. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00960845.1949.12006275>> .

THORNE, R. S. W. APPLICATION OF FORMAZIN STANDARDS TO NEPHELOMETRIC ESTIMATION OF BEER TURBIDITY. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 67, n. 2, p. 191-199, 1961.

TOLEDO, A. L.; SILVEIRA, P. M.; CAPUCI, A. P. S. Produção de cerveja artesanal. II Encontro de Desenvolvimento de Processos Agroindustriais. **Anais.....** p.72, 2016. Uberaba: Uniube, Departamento de Engenharia Química. Disponível em: <<https://cervejasartesanais.wordpress.com/producao-de-cerveja-artesanal/>> .

VAMVAKAS, S.-S.; KAPOLOS, J. Factors affecting yeast ethanol tolerance and fermentation efficiency. **World J Microbiol Biotechnol**, v. 36, n. 8, p. 114, 2020. Germany. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11274-020-02881-8>> .

VERBELEN, P. J.; SAERENS, S. M. G.; VAN MULDER, S. E.; DELVAUX, F.; DELVAUX, F. R. The role of oxygen in yeast metabolism during high cell density brewery fermentations. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 82, n. 6, p. 1143-1156, 2009.

VERZELE, M.; KEUKELEIRE, D. DE. **And Analysis Of Chemistry Hop And Beer Bitter Acids**. Elsevier Science Publishers B.V, 1991.

VOGEL, A. I. **Química Analítica Qualitativa**. Longman Gr ed. São Paulo: Editora Mestre Jou, 2012.

WALKER, G. M.; STEWART, G. G. Saccharomyces cerevisiae in the production of fermented beverages. **Beverages**, v. 2, n. 4, p. 1-14, 2016.

WANG, J.; JIANG, L.; SUN, H. Early evidence for beer drinking in a 9000-year-old platform mound in southern China. **PLoS One**, v. 16, n. 8, p. e0255833, 2021. United States. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0255833>> .

WIESER, H. Chemistry of gluten proteins. **Food Microbiology**, v. 24, n. 2, p. 115-119, 2007.

YANG, F.; LUAN, B.; SUN, Z.; et al. Application of chitooligosaccharides as antioxidants in beer to improve the flavour stability by protecting against beer staling during storage. **Biotechnol Lett**, v. 39, n. 2, p. 305-310, 2016. Netherlands. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10529-016-2248-3>>. .

## **APÊNDICE A – TRATAMENTO ESTATÍSTICO DOS DADOS**

## TRATAMENTO ESTATÍSTICO DE DADOS (ANOVA Fator único)

### Dados Teor Alcoólico

Análise	Medida 1 (g)	Medida 2 (g)	Medida 3 (g)	Média (g)	Dens. Amostra	% Teor Alcoólico	Desvio padrão
Semana 1	86,2720	86,2730	86,2680	86,2710	0,9915	4,80	± 0,0026
Semana 2	86,2660	86,2750	86,2690	86,9367	0,9915	4,80	± 0,0046
Semana 3	86,2670	86,2620	86,2470	86,2587	0,9915	4,80	± 0,0104
Semana 4	86,2700	86,2700	86,2720	86,2707	0,9915	4,80	± 0,0012
Semana 5	86,2660	86,2660	86,2640	86,2653	0,9914	4,85	± 0,0012
Semana 6	86,2690	86,2620	86,2640	86,2650	0,9914	4,85	± 0,0036
Semana 7	86,2600	86,2690	86,2630	86,2640	0,9914	4,85	± 0,0046

Fonte: Autoria própria (2023)

### Anova: fator único (TEOR ALCOÓLICO)

RESUMO				
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	7	599,87	85,69571	2,287253
Coluna 2	7	603,877	86,26814	2,58E-05
Coluna 3	7	603,847	86,26386	6,58E-05

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	1,517785	2	0,758892	0,995336	0,38905	3,554557
Dentro dos grupos	13,72407	18	0,762448			
Total	15,24185	20				

Fonte: Autoria própria (2023)

### Densidade Relativa

Análises	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média	Desvio Padrão
Semana 1	1,0086	1,0087	1,0088	1,0087	± 0,0001
Semana 2	1,0087	1,0087	1,0087	1,0087	± 0,0001
Semana 3	1,0087	1,0087	1,0089	1,0087	± 0,0001
Semana 4	1,0088	1,0089	1,0089	1,0088	± 0,0001
Semana 5	1,0087	1,0086	1,0086	1,0086	± 0,0001
Semana 6	1,0087	1,0088	1,0087	1,0087	± 0,0001
Semana 7	1,0088	1,0088	1,0087	1,0087	± 0,0001

Fonte: Autoria própria (2023)

### Anova: fator único (DENSIDADE RELATIVA)

#### RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	7	7,061	1,008714286	4,76E-09
Coluna 2	7	7,0612	1,008742857	9,52E-09
Coluna 3	7	7,0613	1,008757143	1,29E-08

#### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	6,67E-09	2	3,33E-09	0,368421053	0,696923	3,554557
Dentro dos grupos	1,63E-07	18	9,05E-09			
Total	1,70E-07	20				

Fonte: Autoria própria (2023)

### Dados valores de pH

Análise	Medida 1	Medida 2	Medida 3	Média	Desvio Padrão
Semana 1	4,42	4,35	4,42	4,40	± 0,0404
Semana 2	4,35	4,38	4,30	4,34	± 0,0404
Semana 3	4,32	4,30	4,28	4,30	± 0,0200
Semana 4	4,25	4,22	4,20	4,22	± 0,0252
Semana 5	4,28	4,30	4,28	4,29	± 0,0115
Semana 6	4,33	4,30	4,29	4,31	± 0,0208
Semana 7	4,28	4,22	4,18	4,23	± 0,0503

Fonte: Autoria própria (2023)

### Anova: fator único (VALORES DE pH)

#### RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	7	30,23	4,318571	0,003181
Coluna 2	7	30,07	4,295714	0,003595
Coluna 3	7	29,95	4,278571	0,006081

#### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,005638	2	0,002819	0,657778	0,530014	3,554557
Dentro dos grupos	0,077143	18	0,004286			
Total	0,082781	20				

Fonte: Autoria própria (2023)

### Dados de Turbidez (NTU)

Análise	Medida 1 (NTU)	Medida 2 (NTU)	Medida 3 (NTU)	Média (NTU)	Desvio Padrão
Semana 1	35,66	35,39	35,51	35,52	± 0,1353
Semana 2	35,78	35,69	35,70	35,72	± 0,0493
Semana 3	35,98	36,06	36,09	36,04	± 0,0569
Semana 4	36,49	36,29	36,32	36,37	± 0,1079
Semana 5	36,46	36,51	36,36	36,44	± 0,0764
Semana 6	36,95	36,70	36,82	36,82	± 0,1250
Semana 7	36,96	36,83	36,85	36,88	± 0,0700

Fonte: Autoria própria (2023)

### Anova: fator único (TURBIDEZ)

#### RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	7	254,28	36,32571	0,282929
Coluna 2	7	253,47	36,21	0,281033
Coluna 3	7	253,65	36,23571	0,262695

#### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,051686	2	0,025843	0,093786	0,91092	3,554557
Dentro dos grupos	4,959943	18	0,275552			
Total	5,011629	20				

Fonte: Autoria própria (2023)

### Dados Cor (EBC)

Análise	Medida 1 (EBC)	Medida 2 (EBC)	Medida 3 (EBC)	Média (EBC)	Desvio Padrão
Semana 1	8,85	8,88	8,90	8,88	± 0,0252
Semana 2	8,97	8,93	8,90	8,93	± 0,0351
Semana 3	9,05	8,98	8,99	9,01	± 0,0379
Semana 4	9,12	9,09	9,05	9,09	± 0,0351
Semana 5	9,11	9,10	9,12	9,11	± 0,0100
Semana 6	9,18	9,22	9,23	9,21	± 0,0265
Semana 7	9,21	9,22	9,23	9,22	± 0,0100

Fonte: Autoria própria (2023)

### Anova: fator único (COR)

#### RESUMO

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Coluna 1	7	63,49	9,07	0,015767
Coluna 2	7	63,42	9,06	0,018233
Coluna 3	7	63,42	9,06	0,0196

#### ANOVA

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	0,000467	2	0,000233	0,01306	0,987035	3,554557
Dentro dos grupos	0,3216	18	0,017867			
Total	0,322067	20				

Fonte: Autoria própria (2023)



**APÊNDICE B – DADOS DE ABSORBÂNCIA E CONVERSÃO EBC**

## Equações e Cálculos

- **Cálculo de Cor (EBC)**

$$\text{EBC} = 25 * (\text{FD}) * A_{430\text{nm}}$$

Sendo:

FD = Fator de Diluição (1:1)

A<sub>430nm</sub> = Valor da absorbância medido (conforme tabela abaixo, em valores de 1/A<sub>430nm</sub>)

### Medidas do espectrofotômetro a 430 nm (linearizado em 1/A<sub>430nm</sub>)

ANÁLISE	MEDIDA 1 (1/A <sub>430nm</sub> )	MEDIDA 2 (1/A <sub>430nm</sub> )	MEDIDA 3 (1/A <sub>430nm</sub> )	MÉDIA (1/A <sub>430nm</sub> )	DESVIO PADRAO
Semana 1	0,3540	0,3552	0,3560	0,3551	± 0,0010
Semana 2	0,3588	0,3572	0,3560	0,3573	± 0,0014
Semana 3	0,3620	0,3592	0,3596	0,3603	± 0,0015
Semana 4	0,3648	0,3636	0,3620	0,3635	± 0,0014
Semana 5	0,3644	0,3640	0,3648	0,3644	± 0,0004
Semana 6	0,3672	0,3688	0,3692	0,3684	± 0,0011
Semana 7	0,3684	0,3688	0,3692	0,3688	± 0,0004

Fonte: Autoria própria (2023)