

**CENTRO FEDERAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA DE MINAS GERAIS
(CEFET-MG)**

Luiza de Moro França Gonçalves

**AVALIAÇÃO DE PARAMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA DETECÇÃO DE
ADULTERAÇÕES COM CORPOS ESTRANHOS EM CERVEJAS
EMBALADAS EM GARRAFAS**

Belo Horizonte (MG)

2023

Luiza de Moro França Gonçalves

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA DETECÇÃO DE
ADULTERAÇÕES COM CORPOS ESTRANHOS EM CERVEJAS
EMBALADAS EM GARRAFAS**

**Trabalho de conclusão de curso
apresentado como requisito parcial para
a obtenção do título de Bacharel em
Química Tecnológica.**

**Orientador: Prof. Dr. Cleverson
Fernando Garcia.**

Coorientador: Dr. Yuri Machado.

CEFET-MG

Belo Horizonte (MG)

2023

Luiza de Moro França Gonçalves

**AVALIAÇÃO DE PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS PARA DETECÇÃO DE
ADULTERAÇÕES COM CORPOS ESTRANHOS EM CERVEJAS
EMBALADAS EM GARRAFAS**

**Trabalho de conclusão de curso do Bacharelado
em Química Tecnológica
CEFET-MG**

Belo Horizonte, 27 de novembro de 2023

**Prof. Dr. Cleverson Fernando Garcia
(orientador – CEFET-MG)**

**Dr. Yuri Machado
(coorientador – Polícia Civil)**

**Prof^a. Dra. Flávia Augusta Guilherme Gonçalves Resende
(avaliador 1 – CEFET-MG)**

**Prof. Dr. Ildefonso Binatti
(Avaliador 2 – CEFET-MG)**

**Me. Rogério Araújo Lordeiro
(avaliador 3 – Polícia Civil)**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus pela minha vida, e por me guiar por todos os obstáculos encontrados ao longo da minha jornada acadêmica. Também gostaria de agradecer a Deus as pessoas que ele colocou em meu caminho, que me acompanharam e auxiliaram ao longo desta caminhada.

Agradeço meus pais e familiares, que me incentivaram nos momentos mais difíceis e me apoiaram durante toda minha vida, me incentivando ao máximo para ir em busca de novos conhecimentos e experiências. Aos amigos, que sempre estiveram ao meu lado, pela amizade incondicional e pelo apoio demonstrado ao longo desta etapa. Aos professores, pelas correções e ensinamentos que me permitiram apresentar um melhor desempenho no meu processo de formação profissional e por todos os conselhos e paciência com a qual guiaram o meu aprendizado.

Agradeço ao meu orientador, professor Dr. Cleverson Garcia por toda a paciência e empenho em me auxiliar durante o desenvolvimento deste trabalho. Também agradeço a meu coorientador e supervisor de estágio Dr. Yuri Machado pela oportunidade de realização deste trabalho, assim como pelos ensinamentos e conselhos adquiridos durante todo o período do estágio e da execução deste trabalho. Agradeço ao Laboratório da Seção Técnica de Físico-Química Legal, pela oportunidade de estágio, que contribuiu imensamente para o meu crescimento pessoal e profissional, assim como me permitiu conhecer pessoas incríveis durante este período. Também agradeço a chance de desenvolver este projeto durante o meu estágio, e por toda a infraestrutura, equipamento e insumos necessários fornecidos ao longo do trabalho.

Agradeço também a todos que participaram, direta ou indiretamente do desenvolvimento deste trabalho, enriquecendo o meu processo de aprendizado, assim como as pessoas com quem convivi ao longo da minha graduação, que me incentivaram e que certamente tiveram impacto na minha formação acadêmica.

RESUMO

GONCALVES, L. D. M. F.; GARCIA, C. F.; MACHADO, Y. Avaliação de parâmetros físico-químicos para detecção de adulterações com corpos estranhos em cervejas embaladas em garrafas

As cervejas são uma das bebidas alcoólicas fermentadas mais antigas da humanidade, sendo amplamente produzido e consumido até os dias de hoje. Portanto, é necessário que esta bebida seja segura para consumo, sem que haja a presença de nenhum tipo de adulteração ou contaminante que possa ser prejudicial e/ou nocivo ao consumidor. Considerando a importância da segurança alimentar deste produto, este trabalho objetivava-se a avaliação do emprego de métodos físico-químicos para a identificação de adulterações intencionais através da inserção de corpos estranhos na cerveja. Para isso, foi realizado uma simulação de adulteração intencional através da abertura e inserção de buchas de parafuso; sendo um material plástico, em garrafas de cerveja de estilos American Lager e Pilsen, e estas amostras foram avaliadas em uma janela temporal de 35 dias, mensurando os parâmetros de teor de oxigênio, concentração de CO₂ e pH, e os resultados foram comparados ao de amostras que não sofreram nenhuma modificação. A partir da avaliação comparativa, os parâmetros de CO₂ e teor de oxigênio apresentam-se possíveis de serem empregados para a identificação deste tipo de adulteração, dentro das condições de experimento realizadas, já o parâmetro de pH da cerveja demonstrou-se estável, sofrendo alterações ao final do experimento muito pequenas para serem empregados nesta identificação.

Palavras-chave: Adulteração, Cervejas, Identificação.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 1 - Representação Ilustrativa do Processo de Maltagem	9
Figura 2 - Curva de Crescimento de Leveduras na Etapa de Fermentação	15
Figura 3 - Equipamento Analisador de Bebidas Envasadas PBA	25
Figura 4 – Reação radicalar relacionada ao oxigênio molecular	45

GRÁFICOS

Gráfico 1 - Dispersão de pontos do Teor de Oxigênio para o estilo Pilsen	30
Gráfico 2 - Dispersão de pontos do Teor de Oxigênio para o estilo American Lager	31
Gráfico 3 - Distribuição de pontos e as variações das médias amostrais do teor de oxigênio molecular para as cervejas Pilsen	33
Gráfico 4 - Distribuição de pontos e as variações das médias de teor de oxigênio molecular para as cervejas American Lager	34
Gráfico 5 - Dispersão de pontos da Concentração de Dióxido de Carbono para o estilo Pilsen	37
Gráfico 6 - Dispersão de pontos da Concentração de Dióxido de Carbono para o estilo American Lager	37
Gráfico 7 - Distribuição de pontos e as variações das médias amostrais da concentração de dióxido de carbono para as cervejas Pilsen	39
Gráfico 8 - Distribuição de pontos e as variações das médias amostrais da concentração de dióxido de carbono para as cervejas American Lager	39
Gráfico 9 - Dispersão de pontos do pH para o estilo Pilsen	42
Gráfico 10 - Dispersão de pontos do pH para o estilo American Lager	42
Gráfico 11 - Distribuição de pontos e as variações das médias de pH para as cervejas Pilsen	44
Gráfico 12 - Distribuição de pontos e as variações das médias de pH para as cervejas American Lager	44

QUADROS

Quadro 1 - Classificação de Cervejas com Base no Processo de Fermentação	5
Quadro 2 - Classificações da Cerveja	6

Quadro 3 – Outras Nomenclaturas Mencionadas na Legislação	6
Quadro 4 – Principais tipos de Maltes e suas características	10

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Planejamento amostral do experimento	26
Tabela 2 - Dados referentes as amostras avaliadas	28
Tabela 3 - Valores de teor de oxigênio obtidos para as amostras	29
Tabela 4 - Dados relacionados aos testes T para o teor de oxigênio molecular	32
Tabela 5 - Teores de dióxido de carbono das amostras de cerveja	36
Tabela 6 – Dados relacionados aos testes T para a concentração de dióxido de carbono	38
Tabela 7 – Valores de Perda de CO ₂ para as Amostras	40
Tabela 8 - Valores de pH obtidos para as amostras e padrões	41
Tabela 9 – Dados relacionados aos testes T para o pH	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BJCP - *Beer Judge Certification Program Inc.*

Cerv Brasil - Associação Brasileira da Indústria da Cerveja

GC – do inglês, *Gas Chromatography*

HPLC - *High Performance Liquid Chromatography*

PCR – do inglês, *Polymerase Chain Reaction*

RMN - Ressonância Magnética Nuclear

SINDICERV - Sindicato Nacional da Indústria da Cerveja

TLC – do inglês, *Thin Layer Chromatography*

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	1
2	OBJETIVOS	2
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
3.1	A Cerveja através da História	3
3.2	Tipos de Cerveja	5
3.3	O Mercado cervejeiro no Brasil.....	7
3.4	Produção e matérias-primas	8
3.5	Ciência Forense	21
4	MATERIAIS E MÉTODOS	24
4.1	Amostras	24
4.2	Soluções	24
4.3	Materiais	24
4.4	Equipamentos	24
4.5	Procedimentos	25
4.5.1	Adulteração das amostras e preparo de soluções	25
4.5.2	Montagem e Calibrações do Equipamento	25
4.5.3	Análise das amostras de cerveja	26
4.5.4	Tratamento dos Dados	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
5.1	Teor de oxigênio.....	28
5.2	Concentração de dióxido de carbono	35
5.3	pH	40
6	CONCLUSÃO.....	47
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	48

1 INTRODUÇÃO

A alimentação é uma das necessidades básicas de todo ser vivo e portanto é fundamental para o desenvolvimento da vida (SHARMA et al., 2017). De acordo com a definição da Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), alimento é “uma substância ou mistura de substâncias, no estado sólido, líquido, pastoso ou qualquer outra forma adequada, destinadas a fornecer ao organismo humano os elementos normais à sua formação, manutenção e desenvolvimento”.

Considerando a importância dos alimentos no cotidiano do ser humano, é essencial que apresentem boa qualidade e segurança para quem os consome. Por isso, o controle de qualidade do setor alimentício deve atender padrões para assegurar as propriedades sensoriais e nutricionais do produto comercializado (SHARMA et al., 2017).

Apesar disso, muitas vezes o alimento pode apresentar inconformidade com a sua norma, podendo ser acarretado por adulteração, falsificação, substituição e rotulagem deliberadamente incorreta do produto, objetivando benefícios e ganhos econômicos; e que muitas vezes podem ser prejudiciais ao consumidor; de forma a lesa-los pela aquisição de produtos desconformes e, a depender, ocasionar danos graves à sua saúde (BANSAL et al., 2017; SHARMA et al., 2017).

No Brasil, a quantidade de adulterações de alimentos vem crescendo ao longo do tempo e para determinados tipos de alimentos se tornou comum (FOLLI; CUNHA; ROMÃO; FILGUEIRAS, 2023). Segundo o veículo de imprensa G1, no ano de 2023 as cinco principais fraudes em alimentos de origem vegetal ocorreram em sucos industrializados, feijão, vinho, arroz e água de coco (ZEM, 2023).

No contexto das bebidas alcoólicas, segundo a Associação Brasileira de Bebidas (ABRABE), a fraude ocorre geralmente na etapa de distribuição, objetivando-se adulterar principalmente aquelas de maior valor agregado, como vodcas e uísques.

No contexto das cervejas, o controle de qualidade consiste principalmente na avaliação sensorial do produto, focando as características organolépticas de coloração, sabor, aparência e aroma. Além disso, são realizadas algumas análises empregando fotometria, estudos enzimáticos e a Cromatografia Gasosa (RODRIGUES; GIL, 2011). Ainda assim, é necessário que sejam realizados novos estudos que busquem avaliar e identificar novas adulterações, levando em consideração as novas técnicas e inovações que surgem com o avanço da tecnologia; principalmente considerando as possíveis e devastadoras consequências ao consumidor.

2 OBJETIVOS

Objetiva-se neste trabalho a avaliação do uso de três métodos físico-químicos para a identificação de adulterações intencionais através da inserção de corpos estranhos na cerveja.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 A Cerveja através da História

Mundialmente, a cerveja é considerada uma das bebidas fermentadas mais antigas e mais consumidas e teve um papel fundamental no desenvolvimento e nutrição da humanidade. Estima-se que a cerveja tenha sido descoberta ao acaso, ao se descobrir que a bebida derivada de cereais fermentados possuía um sabor agradável (PIMENTA et al., 2020).

Um possível cenário para esta descoberta se baseia no armazenamento de cereais da colheita em jarros, para uso posterior, que ao ser exposto ao clima e chuvas, foi umidificado, e posteriormente, submetido ao processo de secagem ao sol. Este processo confere ao cereal um sabor adocicado, agradável, e o torna fácil a digestão.

Existem diversas evidências ao longo da história que diversos povos empregavam um processo de fabricação de uma bebida semelhante ao da cerveja. Através de desenhos rupestres e símbolos pré-históricos, é possível ver a presença da cerveja na vida e na cultura do ser humano ao decorrer do tempo, onde originalmente era consumida para sua nutrição e foi se transformando em uma das bebidas mais populares consumidas pelo ser humano (MORADO, 2017; WILLIAMS, 2009).

A evidência mais antiga desta bebida datam de 6000 a. C. e estão descritas em textos sumários, na região entre os rios Tigre e Eufrates, que afirmam que a produção da cerveja era realizada de forma caseira, sendo feita majoritariamente pelas mulheres (PIMENTA et al., 2020; SALDANHA, 2017). Através das escritas contidas na Epopeia de Gilgamesh, datada de 3000 a. C. pode se afirmar que a cerveja, juntamente com o pão estava fortemente presente na cultura desta civilização, sendo considerada uma bebida divina, a ser oferecida a seus Deuses (WILLIAMS, 2009).

Próximo desta época, foram encontradas evidências de produção de cervejas pela vila neolítica de Jiahu, através de recipientes com remanescentes de bebidas fermentadas datadas de aproximadamente 5.000 a. C. (KHADERI, 2019; MORADO, 2017).

No local onde atualmente se situa as montanhas Zagro, no Irã, em um assentamento neolítico foram encontrados vasos de cerâmica contendo resíduos de cerveja, por volta de 3.100 a. C. Aproximadamente cem anos mais tarde, por volta de 3.000 a. C. já se produzia cerveja em grande escala, em Uruk, que naquela época era a maior cidade da Suméria (KHADERI, 2019).

Através da conquista da Mesopotâmia, por volta de 2000 a. C., a cultura de produção de cerveja passou aos babilônicos, que absorveram muito da cultura dos

sumários, incluindo a cultura de produzir cervejas. Os babilônicos empregavam diversas combinações de plantas aromáticas, mel, cevada ou trigo, criando assim uma variedade de tipos de cervejas diferentes, chegando a um total de 20 tipos diferentes de cervejas de aspecto turvo e sem filtragem (SALDANHA, 2017).

Através da exportação da cerveja Lager para o Egito, a cultura do consumo de cerveja se difundiu entre o povo egípcio, tornando a cerveja a bebida mais popular do Egito, superando o vinho e o hidromel (WILLIAMS, 2009).

Através da conquista do Egito, os gregos passaram a ter contato com a cultura da produção e consumo de cerveja. Porém, ela não era bem aceita pelos povos gregos e posteriormente romanos. Neste momento, a cerveja perdeu muito de sua popularidade, uma vez que estes povos eram produtores e consumidores de vinho e, portanto, através da conquista do Egito, impuseram a sua cultura sobre este reino (KHADERI, 2019; MORADO, 2017).

Para os romanos, a cerveja era conhecida como a bebida dos bárbaros. No início, os povos judeus e cristãos não eram favoráveis ao consumo de cerveja, devido a sua ligação a cultura egípcia. Porém devido à resistência da sua matéria-prima e por consequência baixo custo, aos poucos a cerveja passou a ser muito consumida pelas classes mais pobres destes povos e novamente a popularidade da cerveja passou a crescer.

Apesar da expansão do império romano, que buscou direcionar a cultura destes povos para a cultura vinícola; sobrepondo a cultura cervejeira, alguns povos do Norte ainda mantiveram a cultura de consumo de cerveja, devido a s dificuldades de cultivo das vinhas e a relutância de assimilação da cultura dominadora dos romanos. Sendo assim, os povos celtas e germanos, que habitavam onde atualmente ficam as ilhas Britânicas, Alemanha e Bélgica, mantiveram a cerveja como bebida tradicional.

Até este momento da história, a cerveja era majoritariamente produzida pelas mulheres dentro de suas comunidades. Porém, a partir do fim do primeiro milênio após o nascimento de Cristo, a produção da cerveja passou a ser feita por monges (MORADO, 2017).

Graças ao desenvolvimento do comércio dos mosteiros de cerveja, houve muitos avanços na produção da cerveja, dentre elas o refino e agradabilidade do sabor das cervejas produzidas. O emprego do lúpulo na fabricação da cerveja, que era utilizado para fornecer sabor a cerveja, foi desenvolvido dentro dos mosteiros de Brabante, onde hoje se localiza a Bélgica. Além do lúpulo, era empregado ervas aromáticas na produção da cerveja (SALDANHA, 2017; WILLIAMS, 2009). Entre os séculos VIII a XVI a cerveja

foi se tornando um suprimento fundamental da nutrição fundamental de vilas e cidades que foram se formando. Com isso, gradativamente a cerveja passou a ser uma atividade comercial e industrial, onde foram se estabelecendo nas cidades e vilas europeias de forma a acompanhar a frequência de consumo da população.

Em 1516, foi estabelecida a primeira legislação referente a cerveja, a lei da Pureza alemã que definiu que a cerveja deveria ser produzida somente a partir da cevada, lúpulo e água, excluindo da produção a utilização de outros cereais, especiarias e ervas (PIMENTA et al., 2020).

A cervejaria mais antiga que ainda está em funcionamento até os dias de hoje, surgiu por volta de 1040, consistia em um monastério, denominado monastério de Weißenstephan, situada em Freising na Alemanha. Este monastério originou a marca alemã Weißenstephan (MORADO, 2017).

3.2 Tipos de Cerveja

As classificações dos tipos de cerveja seguem um conjunto de critérios e parâmetros pertencentes ao produto. A primeira classificação de cervejas foi criada por Michael Jackson em 1977 (MORADO, 2017). Esta classificação, que é empregada até os dias de hoje, divide-se em três grupos as cervejas fabricadas; considerando o tipo de fermentação empregada, como mostrado no Quadro 1.

Quadro 1 - Classificação de Cervejas com Base no Processo de Fermentação

Tipos de Fermentação	Denominação
Fermentação de Superfície	Ale
Fermentação de Fundo	Lager
Fermentação Espontânea	Lambic

Fonte: Autoria Própria, 2023.

As cervejas podem ser classificadas conforme determinadas características do produto, como sua cor, utilização de matéria prima e método de produção, teor alcoólico, e outros parâmetros (MORADO, 2017). Nacionalmente, a cerveja também possui outras classificações considerando estas características, como mostrado no Quadro 2, determinadas pela Instrução Normativa nº 65/2019.

Quadro 2 - Classificações da Cerveja

Tipos de Classificações	Nomenclatura	Características
Classificação quanto à proporção de matérias-primas	Cerveja	Elaborada utilizando mosto com extrato primitivo advindo de, no mínimo 55% em peso de cevada malteada e no máximo, 45% de adjuntos
	Cerveja 100% Malte ou Puro Malte	Elaborada utilizando mosto com extrato primitivo advindo exclusivamente de cevada malteada ou de extrato de malte
Classificação quanto à proporção de matérias-primas	Cerveja 100% malte de + (nome do cereal malteado) ou puro malte de + (nome do cereal malteado)	Elaborada utilizando mosto com extrato primitivo advindo exclusivamente de outro cereal malteado.
Classificação quanto ao teor alcoólico	Cerveja sem álcool ou desalcoholizada	Teor alcoólico menor ou igual a 0,5 % v/v
	Cerveja de teor alcoólico reduzido ou baixo teor alcoólico	Teor alcoólico menor ou igual a 2,0 % v/v e maior que 0,5 % v/v
	Cerveja	Teor alcoólico menor ou igual a 54 % v/v e maior que 2,0 % v/v

Fonte: Adaptado de BRASIL, [s.d.].

Tomando como base a referida Instrução Normativa, este produto pode ainda possuir outras denominações, de acordo com características específicas do produto. Algumas destas nomenclaturas estão apresentadas no Quadro 3. Essas classificações têm a finalidade de descrever os parâmetros do produto, auxiliando os consumidores no momento da escolha para consumo e guiar jurados e participantes em concursos de cerveja.

Quadro 3 – Outras nomenclaturas de cervejas mencionadas na Legislação

Denominação	Características
Cerveja Gruit	Cerveja na qual o lúpulo utilizado é totalmente substituído por outras ervas consumíveis
Cerveja sem Glúten	Cerveja composta por cereais não fornecedores de glúten, ou que possua teor de glúten inferior ao determinado por regulamento técnico específico.
Cerveja de Múltipla Fermentação	Cerveja que passe por um segundo processo de fermentação, podendo ser na garrafa, em tanques, ou em ambos.
Cerveja Light	Cerveja que no qual o valor energético apresente teor máximo de 35 kcal/100 mL
Chope	Cerveja que não foi submetida a tratamento térmicos similares ou equivalentes a pasteurização.
Cerveja Malzbier	Cerveja adicionada de açúcares de origem vegetal exclusivamente para conferir sabor adocicado.

Fonte: Adaptado de BRASIL, [s.d.].

Além destas classificações apresentadas até o momento, de acordo com o Beer Judge Certification Program Inc. (BJCP), que elaborou um guia de estilos da cerveja, que juntamente com o hidromel e sidra, abrangem 35 grupos compostos de 121 estilos distintos, Alguns destes estilos são denominados de Dortmunder, Munchen, Bock, Stout, Porter, Weissbier, Witbier, Alt e Pilsen (MORADO, 2017). A fim de aprofundar o conhecimento a respeito do produto empregado neste trabalho, será abordado mais o estilo de cerveja Pilsen.

A cerveja de estilo Pilsen, também denominada de *Pilsner*, foi fabricada pela primeira vez em outubro de 1842 por Josef Groll, que apresentou a cidade Pilsen, na Boêmia, atual República Tcheca uma nova bebida, de coloração clara e carbonatada, de sabor equilibrado e refrescante, empregando o processo de fermentação Lager; ou fermentação de fundo em baixas temperaturas, onde a baixa temperatura; incluindo em seu armazenamento; promove um sabor suave e aparência límpida a cerveja (MORADO, 2017).

3.3 O Mercado cervejeiro no Brasil

Considerando a importância comercial da cerveja, seu consumo vem crescendo ao longo do tempo. De acordo com a Associação Brasileira da Indústria da Cerveja em 2022, no Brasil, foram consumidos aproximadamente 15,4 milhões de litros por ano, e estima-se seja que o consumo pelos brasileiros no país cresça 4,5%, chegando a 16,1 bilhões de litros (CARVALHO, 2023; FREITAS, 2023). O consumo da cerveja do tipo lager representa 91% do total de vendas em varejo no país, sendo de maior preferência pelos consumidores as marcas Skol e Brahma (QUINTINO, 2022).

Além do grande consumo, o Brasil é o terceiro maior produtor de cervejas do mundo, produzindo anualmente 15,4 bilhões de litros anualmente. O mercado cervejeiro emprega mais de 2 milhões de pessoas, correspondendo a 2,11% dos postos de trabalho da economia nacional e gerou um faturamento de 77 bilhões no último exercício fechado, sendo equivalente a 2% do PIB nacional e contribuiu ao estado com 49,6 bilhões em impostos (FREITAS, 2023; SINDCERV, [s.d.]).

Uma das características deste setor é a constante inovação de modo a impulsionar o consumo e crescimento deste setor. As cervejas não alcoólicas vêm ganhando o mercado consumidor brasileiro, tendo um crescimento de 37% em 2022, buscando assim abranger um número maior de clientes (ART, 2023; SINDICERV, 2022). Os

consumidores buscam diversidade nos produtos, procurando opções mais light, sem glúten, com vitaminas, sem álcool e até mesmo a puro malte (SINDICERV, 2022).

3.4 Produção e matérias-primas

Para ser considerada cerveja, a bebida alcoólica deve obrigatoriamente ser feita a partir do açúcar de grãos e possuam ao menos 20% do malte da cevada (MORADO, 2017). Baseada na Lei da Pureza Alemã; os ingredientes básicos da cerveja são o malte de cevada, lúpulo, água e levedura (PIMENTA et al., 2020). Nos tópicos a seguir será descrito um pouco sobre os ingredientes utilizados e o processo de produção da cerveja.

O processo pode ser dividido nas etapas de obtenção do malte ou maltagem dos cereais, moagem do malte, mosturação, filtragem, fervura e tratamento do mosto, fermentação, maturação, carbonatação e envase (PIMENTA et al., 2020).

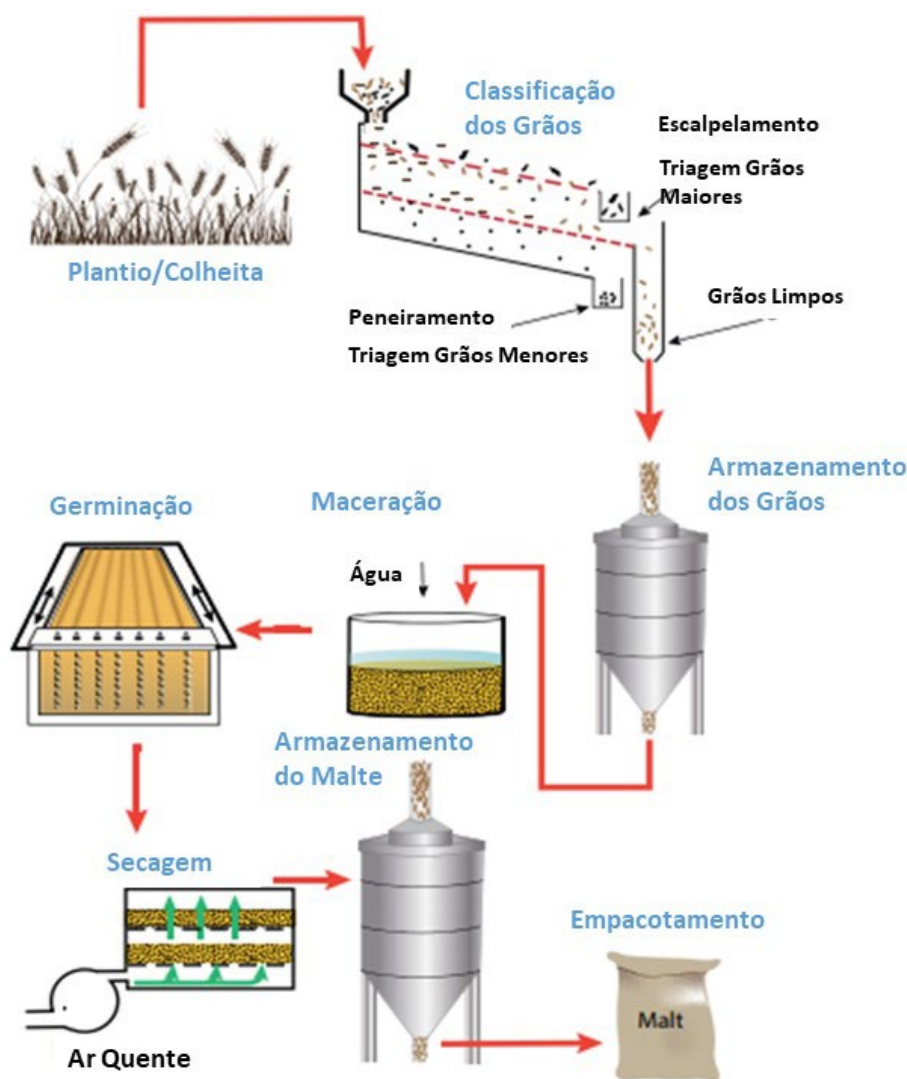
3.4.1 Maltagem

O malte é produzido através dos grãos de cevada ou outros cereais, que tem a sua estrutura modificada a partir do processo de maltagem; ou malteação, para que ocorra a transformação do cereal em malte (ESSLINGER, 2009; MORADO, 2017). Este processo, como mostrado na Figura 1, é dividido em várias etapas, desde a colheita e limpeza dos grãos, até a secagem e armazenamento do malte (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

A primeira etapa após a colheita dos grãos de cereais é a limpeza e seleção dos grãos, que consiste na preparação dos grãos de cevada e outros cereais para os procedimentos posteriores. Ao início do processo é realizada a limpeza da cevada e outros cereais para remoção de palhas, pedras, pedaços de madeira, dentre outras impurezas. Após a limpeza os grãos são separados de acordo com seu tamanho, teor de proteínas e umidade, de acordo com as características de estilo do produto desejado (SANTOS; RIBEIRO, 2005; PIMENTA et al., 2020).

A segunda etapa consiste na embebição dos grãos em água até que os grãos alcancem 45% de teor de umidade em relação a seu peso, sob condições de temperatura e teor de oxigênio controladas (SANTOS; RIBEIRO, 2005). Estas condições de fornecimento de água e oxigênio duram aproximadamente seis a doze horas e promovem o término do estado de latência dos grãos, promovendo o início do processo de germinação.

Figura 1 - Representação ilustrativa do processo de maltagem



Fonte: adaptado de FARBER; BARTH, 2019.

Na etapa de germinação, ocorre a modificação física e química do grão. Neste processo resulta na formação de enzimas que promovem a quebra do amido em carboidratos simples e proteínas, sob condições controladas de temperatura e teor de oxigênio. A duração da germinação determina a quantidade de açúcar disponível para que ocorra a fermentação, sendo assim, o tempo de fermentação promove uma diversidade de tipos de maltes distintos (MORADO, 2017).

Após a etapa de germinação realiza-se a secagem dos grãos, onde são aquecidos até que ocorra a caramelização dos grãos, tornando-os o malte. Nesta etapa ocorre a formação dos aromas típicos do malte. Além disso, a depender do tipo de malte desejado, também é realizada a sua torrefação, que juntamente com o grau de secagem, determina

a coloração e aroma do malte produzido. Quanto mais intenso o processo de torrefação do malte, mais escura será a coloração de cerveja produzida a partir deste malte. Também determina o aroma que o produto final irá possuir, podendo ser caramelo, chocolate, café, dentre outros (MORADO, 2017).

É essencial que haja uma análise de controle de qualidade dos grãos utilizados para avaliar quais serão empregados no processo de produção da cerveja, de modo a garantir sua alta qualidade e o alinhamento das características do malte a ser produzido com o necessário para a produção do estilo desejado de cerveja (BUGLASS, 2011). No Quadro 4 se encontram alguns dos principais maltes utilizados na produção de cervejas e suas características, como o aroma e coloração apresentada por cada tipo de malte.

Quadro 4 – Principais tipos de Maltes e suas características

Malte	Coloração	Aroma
Pilsen	Clara	Cereal
Pale Ale	Escura	Adocicados
Caramelo	Âmbar claro a Marrom escuro	Caramelado/toffee
Chocolate	Marrom escuro	Caramelo Queimado, Chocolate Queimado e café
Defumado	Escura	Madeira ou turfa
Pretos e Torrados	Escura	Amargos, Café tostado

Fonte: MORADO, 2017.

O malte Pilsen é o mais utilizado na produção de cervejas, levando o nome do seu tipo de cerveja, e é empregado como malte base principalmente para a produção de cervejas de fermentação lager. Os cereais trigo e centeio podem ser maltados, sendo utilizados durante o processo de fermentação juntamente a cevada, agregando texturas, sabores e aromas característicos. Na hipótese de estes cereais sejam utilizados em quantidades majoritárias na produção da cerveja, o produto irá receber o nome do cereal utilizado (MORADO, 2017).

3.4.2 Brassagem

A brassagem consiste nos estágios de preparação do malte para que o amido presente se converta em uma solução de açúcares; contendo proteínas e outras substâncias presentes no malte. Essa solução formada nesta etapa da produção de cervejas é denominada de mosto (MORADO, 2017). Os principais passos da brassagem são a

moagem, mosturação, filtração, fervura do mosto, separação do *trub* e resfriamento do mosto.

A preparação do mosto é necessária para que o amido presente no malte; que é insolúvel e não fermentável, se converta em açúcares, que serão utilizados como insumos no processo de fermentação. Neste processo os grãos são misturados a água sob condições de temperatura e pH controladas para que não prejudique a qualidade do mosto e, consequentemente, do produto final (FARBER; BARTH, 2019).

No processo de moagem, os grãos do malte são triturados para que sua casca seja rompida e sua parte interna; o endosperma, exposta, de modo em que o processo de ação enzimática ocorra de forma facilitada. Isso promoverá a disponibilização do amido e as proteínas do grão maltado (PIMENTA et al., 2020; SANTOS; RIBEIRO, 2005).

A moagem pode ser feita empregando moinhos de rolos e moinhos de martelo. Ao contrário do moinho de martelo; que desintegra o malte até se tornar um pó, a moagem empregando o moinho de rolos preserva a casca do malte. Por razões de deterioração do malte, este processo deve ser realizado pouco tempo antes do início do processo de mosturação (MORADO, 2017).

Após o ciclo de moagem, é realizado o processo de geração do mosto, através do processo de mostura. Na mostura, realiza a adição de água aos grãos que passaram pelo processo de moagem, e a mistura gerada é submetida a um aquecimento utilizando uma técnica de rampa de temperatura, para que as enzimas atuem na quebra de substâncias complexas em substâncias menores e solúveis em água. Deste modo, as proteínas serão convertidas em peptídeos e outros complexos orgânicos nitrogenados e ao final em aminoácidos, e os amidos nos açúcares glicose, maltose e dextrinas, sendo estes açúcares utilizados pelas leveduras durante o processo de fermentação. Ao final deste processo se obtém o mosto, ainda contendo o bagaço do malte (MORADO, 2017; SANTOS; RIBEIRO, 2005).

O conhecimento do estilo de cerveja que será produzido é de suma importância, uma vez em que a determinação dos parâmetros de temperatura e tempo de ação das enzimas determinam a quantidade de açúcares fermentáveis e a consistência da espuma desejada. O planejamento do teor de açúcares fermentáveis também influencia no corpo da cerveja, onde quanto mais alto este teor, menos encorpado será o produto final (MORADO, 2017; PIMENTA et al., 2020).

Além do mais, é possível a utilização de outros cereais como fonte secundária de açúcar para que se alcance os parâmetros desejados; como cor, aspecto e/ou custo da

cerveja produzida. Esses insumos são denominados adjuntos; ou *gritz*, e os cereais mais comuns de serem empregados como adjuntos são os cereais de milho, arroz e trigo.

Como estes cereais não passam pelo processo de maltagem e, conseqüentemente não possuem enzimas, é necessário que seja realizado o aquecimento simultaneamente a maceração da parte do malte de cevada, e ao final sejam misturados, para que as enzimas do malte atuem sobre o amido do adjunto (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Nesta etapa é essencial a análise da qualidade da água utilizada na geração do mosto e nas etapas posteriores, principalmente em relação ao teor dos íons de Ca^{2+} , SO_4^{2-} e HCO_3^- . O controle destes íons busca assegurar que este processo ocorra dentro da faixa de pH ideal; em torno de 5,2 e que o equilíbrio correto de sais esteja presente para o tipo de cerveja que está sendo produzida (BUGLASS, 2011).

Além dos parâmetros citados, é necessário que a água siga os padrões de potabilidade, controle de pH menor do que 6 e teor de magnésio dentro da faixa de 10 ppm a 30 ppm. Valores de teor de magnésio acima desta faixa ocasionam em uma cerveja de sabor adstringente ou amargo, devendo ser evitado. Já valores superiores de pH podem promover a dissolução de materiais indesejados presentes na composição do malte e na casca dos cereais (PIMENTA et al., 2020).

O meio levemente ácido é mais adequado devido a facilitação da atividade enzimática na mostura e dificulta a extração de taninos durante a etapa de lavagem do bagaço do malte, que será abordada posteriormente (PIMENTA et al., 2020).

Após a mostura, o mosto é filtrado para a remoção dos resíduos dos grãos de malte e adjunto presentes no mosto. Este processo pode ser realizado de duas formas: através da utilização de filtro de placas; que são frequentemente empregados em grandes cervejarias, e de tina de clarificação; que são empregadas em cervejarias de menor porte, por ser mais versátil (MORADO, 2017). No processo de filtração a parte retida é denominada como bagaço do malte (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Após a filtração do mosto primário, é feita uma lavagem do bagaço do malte utilizando água aquecida em torno de 76 °C a 78 °C, com o objetivo de elevar o rendimento do processo de extração dos açúcares do bagaço do malte, gerando o mosto secundário, que se encontrava embebido nas cascas (MORADO, 2017; PIMENTA et al., 2020). Porém é essencial o controle da temperatura neste procedimento, pois em temperaturas acima de 78 °C pode ocorrer igualmente a extração dos taninos, juntamente com os açúcares do malte. Estes taninos são substâncias indesejadas no mosto, uma vez que promovem sabor adstringente a cerveja (PIMENTA et al., 2020). Altas temperaturas

também promovem a extração de amidos residuais do bagaço do malte, consequentemente elevando a turbidez da cerveja produzida (MORADO, 2017).

Devido à instabilidade física e microbiológica do mosto, é realizado o aquecimento, ou fervura do mosto, para promover a estabilização microbiológica, bioquímica e coloidal ao mosto produzido, do mesmo modo esta etapa define as principais características relacionadas ao aroma e sabor da cerveja, ao se controlar o processo de caramelização e as reações químicas dos açúcares e aminoácidos presentes (MORADO, 2017).

Este aquecimento inativa as enzimas, coagulam e precipitam as proteínas e concentra e esteriliza o mosto. A esterilização é importante pois elimina microrganismos que iriam concorrer com as leveduras pelos nutrientes do meio do mosto no processo de fermentação (MORADO, 2017). Para isso ele é aquecido até a ebulição, em torno de 100 °C, por um período de 60 a 90 minutos (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Nesta etapa também é realizado a adição dos aditivos ao mosto. Os aditivos irão proporcionar características organolépticas típicas desejadas para o tipo de cerveja produzida. Alguns destes aditivos são o lúpulo, caramelo, açúcar, mel, extratos vegetais, dentre outros ingredientes. Do mesmo modo, a fervura promove a extração de componentes amargos e aromáticos do lúpulo, quando adicionado e a evaporação de componentes como dimetilsulfeto, ésteres e a água, que irá definir a concentração de açúcar do mosto (PIMENTA et al., 2020).

O lúpulo é uma planta trepadeira de nome científico *Humulus lupulus* e pertencem à Família Cannabaceae. Na indústria cervejeira, somente os cones formados pelas plantas femininas; pois possuem até 150 vezes mais resinas desejáveis, que são as substâncias; juntamente com óleos essenciais, que irão criar a identidade da cerveja. Cada tipo de malte fornece gosto e características distintas, proporcionando sabor amargo e aromas frescos, de modo a equilibrar a doçura do malte. Além disso o lúpulo apresenta atividade antibacteriana e age como estabilizante da espuma da cerveja (FARBER; BARTH, 2019; MORADO, 2017).

Ao final do processo de brassagem, é realizado a clarificação do mosto, através de uma decantação hidrodinâmica, realizado em um equipamento denominado *whirlpool*, que através da força centrípeta, separa do mosto proteínas coaguladas, resíduos remanescentes do bagaço do malte ou outras partículas de outras fontes.

A presença destas partículas no mosto pode comprometer a qualidade do processo de fermentação, originando substâncias indesejáveis como ésteres, álcoois de maior

cadeia molecular. Os resíduos removidos durante o processo de clarificação são denominados *trub* grosso (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Em seguida, o mosto é resfriado até que atinja a temperatura desejada para a fermentação. Este resfriamento deve ser realizado de forma rápida para que não ocorra a formação de aroma indesejáveis e reduza o risco de contaminação. Ao final, o mosto é aerado, de modo a fornecer oxigênio a levedura para a multiplicação celular. Essa é uma fase importante na formação de aromas (MORADO, 2017).

3.4.3 Fermentação

A fermentação é um processo essencial para a formação da cerveja (SANTOS; RIBEIRO, 2005). A fermentação é o processo que promove a conversão dos açúcares presentes no mosto em dióxido de carbono (CO_2); também denominado gás carbônico e etanol ($\text{C}_2\text{H}_6\text{O}$); que é o álcool majoritário presente na cerveja, através da utilização de leveduras (EDWARD, 2009).

Segundo Pimenta et al. (2020), “Leveduras são microrganismos vivos, unicelulares, pertencentes ao reino Fungi, não filamentosos, que possuem características esféricas ou ovais, com tamanho que pode variar entre 6 μm e 9 μm ”, sendo as mais empregadas na produção de cerveja do gênero *Saccharomyces*.

Essas leveduras podem ser divididas em três categorias de acordo com a sua tendência de sedimentação, sendo elas: fortemente floculante; ou sedimentares, pulverulentas e não floculantes. As leveduras fortemente floculantes são as que promovem a formação de sedimentos no início da fermentação; as pulverulentas não formam sedimentos no início da sedimentação, ao contrário das não floculantes; que permanecem majoritariamente em suspensão durante todo o processo de fermentação (BUGLASS, 2011).

As duas leveduras mais comumente utilizadas são pertencentes ao gênero *Saccharomyces*, e são empregadas na produção das cervejas tipo ale e lager. Este gênero possui diversas espécies que são aptas a produzir durante o processo de fermentação o etanol e dióxido de carbono, que são metabólitos essenciais para o produto final (BUGLASS, 2011; PIMENTA et al., 2020).

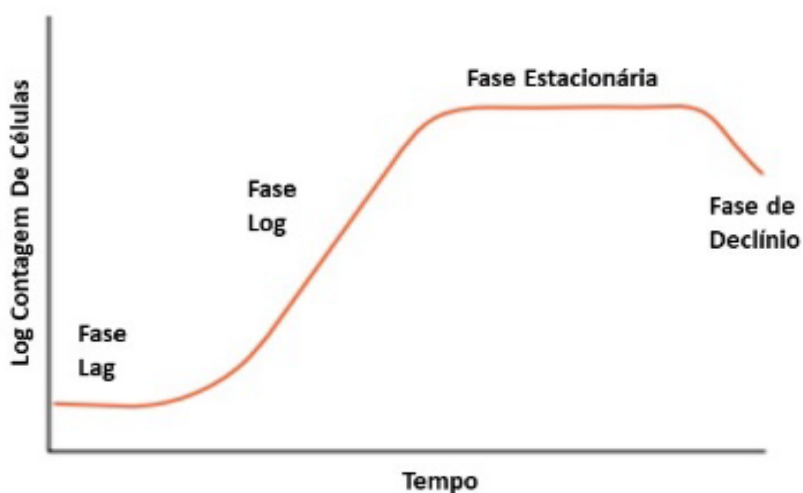
As leveduras da espécie *Saccharomyces cerevisiae* são amplamente utilizadas no processo de fermentação de cervejas do tipo ale. Para este estilo de cerveja; classificado como alta fermentação, o processo de fermentação dura em torno de 3 a 5 dias, sob temperaturas em torno da faixa de 7 a 15 °C e ao final do processo as células das leveduras

são adsorvidas nas bolhas de dióxido de carbono e são carregadas para a superfície do mosto, de onde são removidas ao final do processo.

Já para as cervejas do tipo lager, classificadas como baixa fermentação, são utilizadas as leveduras da espécie *Saccharomyces uvarum*, empregadas no processo de fermentação que tem duração de 20 a 30 dias, sob temperatura em torno da faixa de 7°C a 15°C; temperatura inferior as cervejas ale, as células das leveduras floculam ao final do processo e, conseqüentemente são removidas através da base do fermentador (PIMENTA et al., 2020).

O processo de fermentação para a produção de cerveja é segregado em três etapas, a primeira que consiste na adaptação das leveduras; também denominada de fase lag, seguida pela fase exponencial; também denominada de fase log e pôr fim a fase estacionária, onde em cada fase ocorre uma alteração na contagem de células de leveduras, como demonstrado na Figura 2 (PIMENTA et al., 2020).

Figura 2 - Curva de Crescimento de Leveduras na Etapa de Fermentação



Fonte: Adaptado de FARBER; BARTH, 2019.

Ao início do processo de fermentação, é necessário que as leveduras passem por um processo de adaptação ao meio em que foi inoculada, onde se aclimatam ao ambiente, assimilam ou absorvem nutrientes e se preparam para a divisão celular (FARBER; BARTH, 2019; PIMENTA et al., 2020). Neste estágio, o mosto apresenta uma concentração elevada em açúcares; onde os principais açúcares fermentáveis presentes no mosto são a maltose e a glicose, uma certa quantidade de oxigênio e aminoácidos e sais minerais (MORADO, 2017). Após a sua adaptação, tem-se início o ciclo celular, que promove a manutenção de leveduras saudáveis que serão utilizadas na etapa seguinte.

Neste estágio da fermentação, é essencial o controle da temperatura de acordo com o tipo de levedura e do estilo de cerveja. Da mesma forma, é crucial o monitoramento do controle da taxa de inoculação. Temperaturas elevadas ocasionam o aglomeramento das células; promovendo uma maior taxa de crescimento, e consequentemente podendo resultar na síntese de precursores indesejados. Taxas de inoculação elevadas promovem o aumento da fermentação e a sua redução promove o aumento da fase lag; reduzindo a vitalidade da levedura (PIMENTA et al., 2020).

A presença de oxigênio no mosto nesta etapa é crítica, é recomendada uma concentração de 8 a 15 ppm por peso para que não ocorram problemas nesta etapa. As leveduras utilizam o oxigênio como insumo para a produção de esteróis e ácidos graxos; que são componentes de grande importância na membrana celular. A deficiência de oxigênio ocasiona a absorção insuficiente de nutrientes devido à má integridade da membrana e, portanto, à redução viabilidade e crescimento celular (FARBER; BARTH, 2019).

Assim que as células estiverem preparadas para se dividir, elas iniciarão a segunda etapa, também denominada de fase de crescimento, onde ocorre o consumo dos açúcares presentes no mosto, iniciando pelos açúcares simples, como frutose e glicose, e, posteriormente, a maltose e a maltotriose para que ocorra a produção de álcool, dióxido de carbono e compostos que fornecem sabor e aroma a cerveja (PIMENTA et al., 2020). Esta conversão do açúcar em álcool e dióxido de carbono está representado na Equação 1.



É almejável que a fermentação proceda lentamente para que o processo de conversão de açúcar em álcool seja otimizado. Também é desejável o controle de temperatura em temperaturas mais frias, principalmente nesta etapa, de acordo com a característica de cada levedura usada; como mencionado anteriormente, uma vez que as reações bioquímicas que ocorrem nas células de leveduras são mais lentas em temperaturas mais baixas (MORADO, 2017).

O sabor característico de cada produto é formado pelas substâncias excretadas pelas leveduras durante este processo. Este sabor gerado geralmente é dependente do pH do mosto, tipo de cepa da levedura, pela temperatura e tipo e concentração do mosto. Um

exemplo destas substâncias são os ésteres, que promovem o sabor frutado de algumas cervejas (MORADO, 2017; PIMENTA et al., 2020).

O processo de fermentação é finalizado na fase estacionária; ou fermentação secundária. Nesta etapa as células de levedura floculam ou sedimentam reduzindo o número de células em suspensão. Assim como ocorre a redução do crescimento da população das leveduras; uma vez em que já ocorreu o consumo da maior parte dos açúcares fermentáveis. Ao se concluir a conversão do açúcar em etanol, a atividade fermentativa irá diminuir e as leveduras já terão produzido todos os compostos de aromas e sabores da cerveja (FARBER; BARTH, 2019; PIMENTA et al., 2020).

Algumas substâncias indesejadas que podem ser produzidas no processo de fermentação podem promover aromas desagradáveis e, portanto, estas substâncias são indesejadas neste processo. Algumas destas substâncias são os aldeídos; que fornecem o aroma de legumes cozidos e compostos de enxofre; como sulfeto de dimetila e sulfeto de hidrogênio. O diacetil é o responsável pela formação de aromas, sendo sintetizado pela levedura durante o processo de fermentação. Contudo, altas concentrações de diacetil fornece um sabor similar ao de manteiga rançosa. Destaca-se que o diacetil também pode ser responsável pela eliminação de aromas sendo reabsorvido ao final do processo de fermentação pelas leveduras, similarmente como ocorre com o aldeído, sendo ao final reduzidos. Já os compostos de enxofre são carregados pelo dióxido de carbono e eliminados em etapas posteriores (FARBER; BARTH, 2019; MORADO, 2017).

O controle microbiológico do processo de fermentação, assim como em toda a fase fria deste processo deve ser realizado com muito cuidado, pois contaminações podem promover aromas indesejáveis (MORADO, 2017).

Além da contaminação microbiológica, podem ocorrer alterações no sabor da cerveja devido a oxidação do etanol produzido ocasionado pela acidificação da bebida em ambiente com presença de oxigênio. O composto produzido através desta conversão é o ácido acético, como mostrado na Equação 2, através da atuação de alguns tipos de bactérias. O ácido acético é o composto responsável pelo odor e sabor do vinagre, portanto, irá promover o odor e sabor característico do vinagre a cerveja produzida.



Em algumas indústrias, após o fim da fermentação, é realizada a recuperação, purificação e reutilização do dióxido de carbono gerado na fermentação. Este gás pode

ser reutilizado no processo de remoção de oxigênio dos equipamentos, devido a presença do oxigênio ser extremamente prejudicial em algumas etapas da produção. Também pode ser empregado na correção da carbonatação e envasamento da cerveja; processos que serão descritos posteriormente (MORADO, 2017).

Comumente também é realizado o reaproveitamento das leveduras, que é realizado após cada ciclo de produção de cerveja; desde que não se tenha detectado nenhum problema na produção deste ciclo. Para isso a biomassa contendo as células de leveduras são tratadas e guardadas para posterior utilização. A grande vantagem do emprego da reutilização da biomassa no processo de produção consiste na adaptabilidade preexistente ao meio das leveduras, aumentando a qualidade da produção (PIMENTA et al., 2020).

3.4.4 Maturação

Ao término do processo de fermentação, obtém-se o mosto fermentado; também denominado cerveja verde. Esta mistura já apresenta muitas das características do produto final, porém é necessário realizar certos processos anteriormente ao envase da cerveja. Estes processos objetivam gaseificar a bebida, garantir a sua qualidade e promover características organolépticas e sensoriais adicionais e aceitáveis ao consumidor (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

Portanto, após a fermentação realiza-se a maturação da cerveja, para separar os microrganismos e substâncias indesejáveis a cerveja, assim como as leveduras utilizadas; a depender do tipo de processo de fermentação. Este processo mantém o mosto fermentado em repouso sob temperatura controlada inferior à da fermentação, durante um período de 15 a 60 dias. A temperatura de maturação e a duração dessa fase interferem nos resultados sensoriais do produto final, contribuindo para a qualidade da cerveja (MORADO, 2017; PIMENTA et al., 2020).

O processo de maturação também permite reações químicas que promovem a estabilização do produto final relacionadas ao sabor, aroma e saturação de CO₂. Nesta etapa irá ocorrer a carbonatação natural da bebida ocasionado devido a contrapressão exercida pelo dióxido de carbono presente no próprio tanque de maturação, produzido através da fermentação do extrato residual.

A precipitação das leveduras e a formação de complexos de proteínas e polifenóis em temperaturas reduzidas auxiliam na clarificação da bebida. Nesta etapa podem ser feitas a adição de especiarias, frutas, lascas de madeira e outros ingredientes aromáticos.

Ao final da maturação, o produto passa por um processo de filtração; ou centrifugação, de modo a eliminar quase em sua totalidade as leveduras ainda presentes no mosto, juntamente a compostos sedimentados, que compõem o corpo da bebida. Esta filtração objetiva fornecer um acabamento brilhante a cerveja (MORADO, 2017).

3.4.5 Carbonatação

Após a cerveja passar pelo processo de maturação, ela pode apresentar valores de teor de dióxido de carbono inferior ao desejado, portanto, é realizada uma correção deste valor ao se injetar dióxido de carbono ao produto após a sua filtração, ou no interior dos tanques de armazenamento do produto. Nesta etapa pode ser feito a reutilização do dióxido de carbono que foi coletado e purificado, após ser obtido durante a etapa de fermentação.

Similarmente, nesta etapa pode ser realizada a injeção de gás nitrogênio a cerveja para favorecer características de formação de espuma do produto. Ao final deste processo, a cerveja é armazenada em recipientes onde será mantida sob condições de temperatura e pressão controladas; denominado adegas de pressão, que busca manter o sabor e teor de CO₂ do produto até o momento de seu envase (SANTOS; RIBEIRO, 2005).

3.4.6 Envase

A fase final da produção da cerveja é o envasamento. Esta etapa é composta por diversas operações relacionadas ao enchimento dos recipientes ou vasilhames que armazenarão a cerveja, onde estes recipientes podem ser garrafas, vasilhames de alumínio (latas) e barris para chope (MORADO, 2017).

Geralmente, estima-se que cerca de 10% da cerveja produzida é armazenada em barris; possuindo cerca de quatro meses de vida útil, a partir do início do consumo, 60% são armazenadas em latas de alumínio e 30% em garrafas de vidro; onde ambas apresentam vida útil superior a um ano (BUGLASS, 2011).

O processo de envasamento das cervejas empregando latas de alumínio e garrafas são diferentes do processo de envase de barris. A seguir será abordado brevemente o processo para latas e garrafas, uma vez que constituem os produtos empregados neste trabalho. Para estes recipientes, o processo de envasamento consiste em sete etapas, a despaletização; que consiste na retirada das garrafas ou latas dos paletes individualmente, enxague; que consiste no processo de limpeza mais branda para recipientes novos e mais agressivas para recipientes reaproveitados. A etapa seguinte; o preenchimento, consiste

no preenchimento dos recipientes com a cerveja produzida, devendo ser a alta pressão; de modo a impossibilitar a entrada de oxigênio no recipiente. Posteriormente, este recipiente poderá passar por um processo de tratamento de pasteurização, para estabilizar o produto final, elevando a sua expectativa de vida de prateleira. Ao final, os recipientes passam pelas etapas de etiquetagem; que irão identificar o produto, e pelo empacotamento e paletização, que irão embalar os produtos individuais e os armazenar em paletes, para posterior distribuição (FARBER; BARTH, 2019).

O processo de envase consiste em uma das etapas de produção de cerveja mecanicamente mais dispendiosas de toda a produção, pois é propensa a quebras de recipientes e perdas de cerveja. Portanto, a etapa de envase é crítica, uma vez que a cerveja é removida de um ambiente controlado e exposta ao ambiente cujas características não são controláveis; principalmente devido à alta perecibilidade da cerveja. Portanto, a assepsia das embalagens utilizadas no envasamento do produto é fundamental para assegurar a qualidade e a estabilidade da cerveja até o momento do seu consumo.

A embalagem utilizada para armazenamento da cerveja é fundamental para que a cerveja chegue à mesa do consumidor com alta qualidade. Ela garante a carbonatação consistente do produto, proteção contra a luz externa e evita o contato da cerveja com o oxigênio. Além disso, o emprego da pasteurização ou de técnicas de refrigeração aumenta a estabilidade da cerveja envasada, permitindo a sua distribuição para localidades distantes da cervejaria (MORADO, 2017).

O oxigênio presente na cerveja se encontra em duas fases: uma fase de solução; denominada de oxigênio dissolvido; que consiste na concentração determinada por este trabalho e uma fase gasosa; denominada de oxigênio de *headspace* (FARBER; BARTH, 2019). O oxigênio no ar é um potencial problema para a cerveja, porém, inicialmente ele estará situado acima da camada de dióxido de carbono que recobre a superfície do líquido da cerveja. Com o passar do tempo, o oxigênio se difundirá ou irá circular através da superfície da cerveja, onde irá se dissolver e irá acarretar em reações de oxidações (BUGLASS, 2011).

A quantidade do oxigênio no *headspace* acima de uma cerveja; que se situa na fase gasosa e é medida pela sua pressão parcial, P é proporcional à concentração de oxigênio dissolvido na cerveja; contanto que as condições de equilíbrio do sistema estejam em operação. Já o oxigênio total do pacote consiste no somatório do oxigênio de *headspace* e do oxigênio dissolvido. Caso o equilíbrio não tenha sido atingido, as

concentrações do oxigênio de *headspace* e do oxigênio dissolvido na cerveja serão independentes (BUGLASS, 2011; FARBER; BARTH, 2019).

O processo de oxidação da cerveja também é denominado de processo de envelhecimento, e consiste nas alterações sensoriais decorrentes da oxidação de certos compostos da cerveja pelo oxigênio molecular ou por outros processos químicos independentes do oxigênio. Majoritariamente estas alterações sensoriais são indesejáveis e, portanto, devem ser evitadas. Por isso, a avaliação e monitoramento do oxigênio é um parâmetro e indicador de qualidade essencial para a cerveja (BUGLASS, 2011).

3.5 Ciência Forense

Em sua definição mais ampla, as Ciências Forenses englobam o emprego e a utilidade das ciências no que se refere a questões jurídicas, incluindo diversas áreas da ciência, como a química, biologia, patologia, antropologia, dentre outros. A ciência forense busca reconstruir eventos criminais que ocorreram através da análise de evidências; que estabelecem relações entre pessoas lugares e objetos pertinentes a estes eventos (HOUCK, 2015).

Portanto, a Química Forense consiste na aplicação da Química Analítica para questões de interesse legal ou judicial. Apesar da Química Forense se fundamentar no emprego da Química Analítica, outras áreas da química também podem ser empregadas, como a Química Orgânica, Bioquímica, Química Medicinal, dentre outras (BELL, 2009).

As Ciências Forenses como é aplicada atualmente, emprega métodos e técnicas altamente sensíveis e seletivos para analisar provas provenientes de cenas de crime, mesmo quando o espécime apresentado como prova está ao nível do vestígio (BANSAL et al., 2017).

Sendo assim, a Química Forense pode ser aplicada para vários fins, desde análise de drogas e toxicologia até a química de combustão, ciência de materiais e evidência de padrões (BELL, 2009). Neste trabalho, a química forense será aplicada para a área alimentícia; para a avaliação de alimentos adulterados.

Existem muitas possibilidades na qual a composição de alimentos é comprometida ou adulteradas, acarretando efeitos nocivos aos consumidores deste alimento. Comumente a introdução ou incorporação de metabolitos microbianos; sendo estes bacterianos, fúngicos ou virais, ou de agentes químicos comprometem a segurança dos alimentos, constituindo-se como fraude alimentar. Há dois tipos de fraudes alimentícias, A primeira; denominada falsificação; consiste na substituição completa de todo o

alimento autêntico por um substituto, já a segunda, denominada adulteração, na qual alguns componentes alimentares são substituídos por substâncias inúteis, nocivas e desnecessárias ou adicionados em alimentos, diminuindo-se assim a sua qualidade (BANSAL et al., 2017; MSAGATI, 2017).

A adulteração de alimentos pode ser categorizada em dois grupos: a adulteração intencional; que consiste na inclusão de substâncias de qualidade inferior com propriedades semelhantes às dos alimentos aos quais são adicionadas, sendo assim difíceis de detectar. Já a adulteração não intencional é a inclusão de substâncias indesejadas devido à ignorância, descuido ou falta de instalações e higiene adequadas durante o processamento dos alimentos.

Alguns exemplos de adulterações intencionais são a inclusão de água ao leite, matéria estranha em especiarias moídas, remoção ou substituição de sólidos de leite ao produto natural, dentre outros. Já as adulterações não intencionais, alguns exemplos são a contaminação por bactérias ou roedores, deterioração por roedores, entrada de poeira e pedras, resíduos nocivos provenientes de embalagens, dentre outros (BANSAL et al., 2017).

Algumas técnicas comuns para a detecção de adulteração e falsificação em alimentos são as diversas cromatografias; como a Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC do inglês, *High Performance Liquid Chromatography*), Cromatografia de Camada Delgada (TLC, do inglês *Thin Layer Chromatography*) e Cromatografia Gasosa (GC, do inglês *Gas Chromatography*); Espectrometria de Massas, Métodos Eletroforéticos, Reação em Cadeia da Polimerase (PCR, do inglês *Polymerase Chain Reaction*) e métodos espectroscópicos como Infravermelho, Raman e Ressonância Magnética Nuclear (RMN) (HONG et al., 2017).

Na literatura, existem poucos estudos de adulterações em cervejas, segundo Lachenmeier (2016), para cervejas, as análises mais próximas a adulteração são o emprego da espectroscopia de RMN para verificar a origem geográfica da cerveja ou para atribuí-la a uma cervejaria específica. Na revisão realizada por Kuballa et al. (2018), é discutida a utilização da RMN para cervejas, podendo-se distinguir entre os principais tipos de cerveja e detectar a origem geográfica da cerveja. Técnicas cromatográficas ou espectroscópicas também são empregadas para avaliar a autenticação de cervejas, como no trabalho de Mattarucchi et al. (2010), que busca criar um modelo de identificação de cervejas através de impressões digitais. No trabalho de Pereira et al. (2016), é aplicado a utilização da técnica de espectrometria de massas em spray de papel para a discriminação

de cervejas. Em Engel et al. (2012), é empregado a espectroscopia de refletância total atenuada no infravermelho por transformada de Fourier para identificação de cervejas com base em perfis espectrais de algumas marcas.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

Para a execução deste trabalho, todos os experimentos foram desenvolvidos e realizados no Laboratório da Seção Técnica de Físico-Química Legal, setor do Instituto de Criminalística de Minas Gerais, sendo todos os materiais utilizados pertencentes ao laboratório.

4.1 Amostras

Para a avaliação dos parâmetros físico-químicos da cerveja, foram escolhidas duas marcas representantes de dois estilos de cervejas distintos, utilizadas de acordo com a facilidade de aquisição próximas ao local de análise. Portanto, foram utilizados os estilos de cerveja American Lager e Pilsen, ambos classificados como cervejas de fermentação do tipo lager

Ao todo foram adquiridas 30 garrafas de cerveja Pilsen dos lotes 72050146 e 72091004 com validade de 01/01/2024 e 05/11/23 e 30 garrafas de cerveja American Lager dos lotes TMA, PIR e PIB de validades 07/01/2024 e 21/09/2023.

4.2 Soluções

As soluções preparadas para este trabalho foram 100 mL de solução etanólica em água 0,10% v v⁻¹ preparado no dia anterior à sua utilização, 200 mL de solução de cloreto de potássio 3,0 mol L⁻¹ e duas soluções-tampão da marca Hamilton, de pH 4,01 e 7,00; de lotes 111134148 e 111135912 e validades 16/04/2025 e 08/05/2025, respectivamente.

4.3 Materiais

Para que fosse realizada a lacração das garrafas adulteradas foram adquiridos um arrolhador tampas manual para garrafas de vidro, tampas de alumínio modelo *pry-off* nas colorações laranja e verde e 50 buchas de parafusos de plástico.

4.4 Equipamentos

As análises físico-químicas das cervejas adquiridas foram realizadas pelo analisador de bebidas envasadas da Anton Paar, de modelo PBA 5001 BEER; composto pelos módulos PFD, DMA4500, AlcoLyzer, HazeQC, Modulo de pH e CarboQC. O equipamento completo, com todos os módulos está mostrado na Figura 3.

Figura 3 - Equipamento Analisador de Bebidas Envasadas PBA



Fonte: Anton Paar, 20?.

4.5 Procedimentos

4.5.1 Adulteração das amostras e preparo de soluções

Um dia antes do início dos experimentos, foi realizada a adulteração de embalagens de cerveja adquiridas com uma bucha de parafuso de plástico, sendo este um material inerte, de tamanho 6,0 mm. Para isso, realizou-se a abertura de uma garrafa por vez, inseriu-se uma bucha de plástico dentro da garrafa e, após aproximadamente 15 s, esta garrafa foi novamente fechada com uma tampa de alumínio empregando um arrolhador de tampas. Neste processo de adulteração, as garrafas de cerveja Pilsen foram lacradas com tampas de alumínio de coloração laranja e as garrafas American Lager com as tampas verdes. Após a adulteração, obteve-se 22 garrafas adulteradas para cada estilo de cerveja, sendo-as armazenadas em um fardo de cerveja em temperatura ambiente até a sua posterior utilização nas análises. Neste mesmo dia foi preparada uma solução etanólica em água 10% v v⁻¹ e armazenada para estabilização até o dia posterior.

4.5.2 Montagem e Calibrações do Equipamento

Ao início de cada conjunto de experimentos, ao ligar-se o equipamento, efetuou-se a montagem correta dos seus módulos e a abertura do cilindro de gás nitrogênio até um valor de pressão determinado. No primeiro dia de análise, foi realizada a calibração do teor alcoólico do aparelho utilizando a solução alcoólica 10% v v⁻¹ previamente preparada. Para isso a solução foi transferida para uma garrafa de vidro de tamanho

pequeno, e a garrafa inserida no módulo PFD; também chamado de equipamento de perfuração e preenchimento, que é responsável por coletar o líquido a ser avaliado, e o equipamento definido para o procedimento para calibração de teor alcoólico.

A cada dia de análise, após a inicialização do equipamento, foi realizada a limpeza do eletrodo, utilizando água deionizada e posteriormente a sua limpeza, sua calibração utilizando as soluções tampão 4,01 e 7,00; na ordem requerida pelas configurações do processo de calibração de pH do equipamento.

Após as calibrações, foi realizada diariamente a verificação de ajustes utilizando água deionizada. Para isso, foi preenchida uma garrafa PET de 2 L com água deionizada e inserida no módulo PFD. Para sua leitura, foi selecionado no equipamento o modo Water Check para avaliar os parâmetros necessários. Em caso de reprovação de algum parâmetro pela checagem do equipamento, repetiu-se este processo, até que todos os parâmetros estivessem dentro dos intervalos aceitáveis pelo equipamento.

4.5.3 Análise das amostras de cerveja

As amostras a serem lidas a cada dia foram escolhidas de forma aleatória, e logo após homogeneizadas antes de serem inseridas no módulo PFD. Na Tabela 1, está representado o planejamento amostral do experimento.

Tabela 1 - Planejamento amostral do experimento

Estilo	Nº de Cervejas Avaliadas	Número do dia de análise após a adulteração						
		Dia 01	Dia 04	Dia 07	Dia 14	Dia 21	Dia 28	Dia 35
American	Amostras	3	3	3	4	3	3	3
Lager	Padrões	1	1	1	1	3	1	1
Pilsen	Amostras	3	3	3	3	3	3	3
	Padrões	1	1	1	1	3	1	1

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Para este planejamento foram consideradas aquelas garrafas que sofreram adulteração intencional, e para as amostras padrão, foram consideradas as amostras que não haviam passado pelo processo de adulteração e, portanto, não foram abertas.

Para o dia 14 foram realizadas a leitura de 4 amostras para o estilo American Lager, uma vez em que houve a errônea nomenclatura da amostra, algo que fora corrigido

posteriormente, sem prejuízos a sua avaliação. No dia 28, foram avaliadas 3 garrafas de padrão; objetivando avaliar a variabilidade da análise. Este dia foi determinado de forma aleatória, uma vez em que não havia recursos para análise em triplicata dos padrões para todos os dias de experimento.

Após a calibração do equipamento, antes de cada análise, foi efetuada a rinsagem do equipamento com água deionizada e posteriormente com gás nitrogênio até que ocorra a redução da mensuração do teor de oxigênio no sistema para um valor em torno de 10 ppb. Ao final do processo de rinsagem com gás, as garrafas eram homogeneizadas, o equipamento configurado para análise empregando o método de cervejas e a garrafa inserida no módulo PFD. Logo após cada leitura de amostra, foi realizado a rinsagem do sistema com água deionizada e gás nitrogênio, antes que se passasse para a próxima amostra.

Ao final de cada dia de experimento, os módulos do equipamento eram desconectados e o equipamento rinsado com água deionizada e limpo dos resíduos de cerveja. Enfim, os dados mensurados eram importados e o equipamento muitas vezes desligado.

4.5.4 Tratamento dos Dados

A comparação entre as médias dos teores de oxigênio, concentração de dióxido de carbono e pH, considerando o mesmo dia de avaliação, foi realizada por meio do teste T ($\alpha = 0,05$) para amostra única. Quando o padrão de referência era composto por uma replicata, utilizou-se o teste t para amostras independentes, tomando como base se a variância de ambos os conjuntos era igual ou distinta (teste F; $\alpha = 0,05$) (MELLO; PETERNELLI, 2013). Para tanto, foi utilizado o software R v. 4.1.0, de 2021.

Os *outliers* presentes no conjunto amostrais foram identificados visualmente por meio de gráficos de distribuição amostral de cada parâmetro fazendo uso do software Microsoft Excel 2016.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste tópico do trabalho serão abordados mais profundamente os resultados obtidos ao decorrer dos experimentos executados. Foram avaliados os parâmetros físico-químicos das cervejas dos estilos American Lager e Pilsen. Para fins de discussão deste trabalho, somente os parâmetros de teor de oxigênio, teor de dióxido de carbono e valor de pH foram abordados para cada uma das amostras apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 - Dados referentes às amostras avaliadas

Sigla de identificação	Data de leitura	Estilo	Nº de amostras adulteradas lidas	Nº de amostras padrão lidas
BI01	13/07/2023	Pilsen	03	01
BI04	17/07/2023	Pilsen	03	01
BI07	20/07/2023	Pilsen	03	01
BI14	27/07/2023	Pilsen	03	01
BI21	03/08/2023	Pilsen	03	03
BI28	10/08/2023	Pilsen	03	01
BI35	17/08/2023	Pilsen	03	01
BB01	13/07/2023	American Lager	03	01
BB04	17/07/2023	American Lager	03	01
BB07	20/07/2023	American Lager	03	01
BB14	27/07/2023	American Lager	04	01
BB21	03/08/2023	American Lager	03	03
BB28	10/08/2023	American Lager	03	01
BB35	17/08/2023	American Lager	03	01

Fonte: Autoria Própria, 2023.

5.1 Teor de oxigênio

A análise do teor de oxigênio das bebidas foi realizada com o intuito de verificar a presença de alterações significativas no teor deste gás, de modo a avaliar a presença ou ausência de um comportamento consistente entre as amostras adulteradas frente às bebidas que não foram alteradas e nem abertas. Após a medida deste parâmetro no experimento, obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Valores de teor de oxigênio obtidos para as amostras

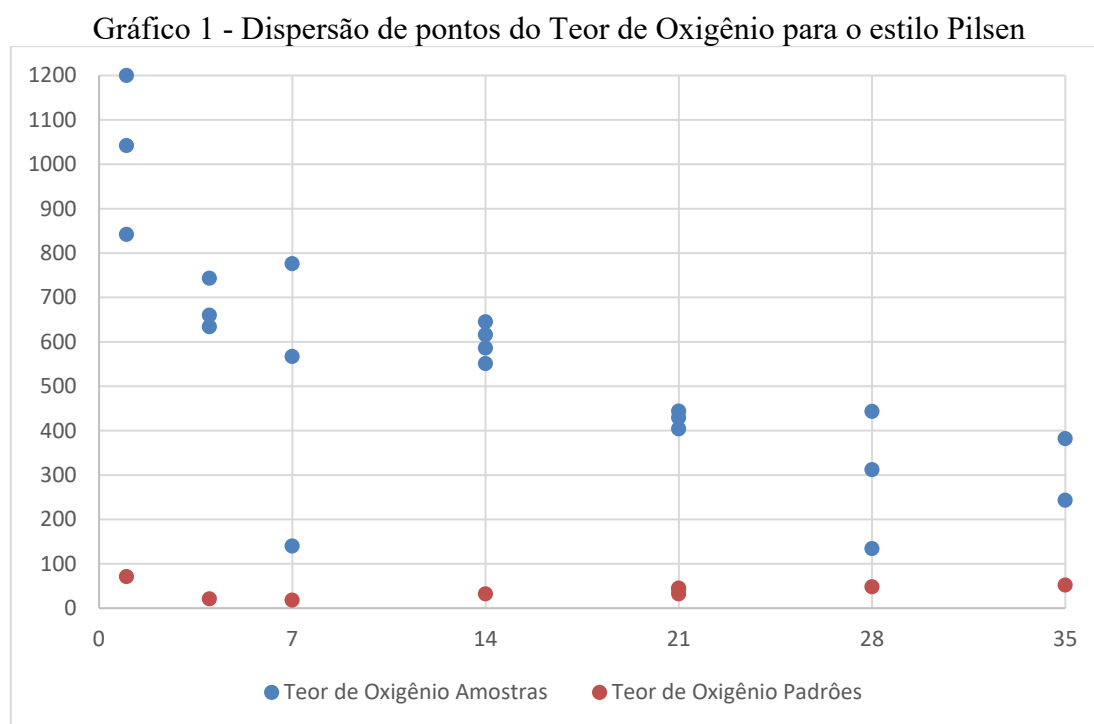
Sigla de Identificação	Amostra	Teor de Oxigênio (ppb)	Sigla de Identificação	Amostra	Teor de Oxigênio (ppb)
BI01	AA01	1200	BB01	AA01	1171
	AA02	842		AA02	47
	AA03	1042		AA03	1245
	Padrão	71		Padrão	28
BI04	AA01	660	BB04	AA01	1325
	AA02	743		AA02	1241
	AA03	634		AA03	156
	Padrão	21		Padrão	8
BI07	AA01	140	BB07	AA01	1230
	AA02	567		AA02	1213
	AA03	776		AA03	1038
	Padrão	18		Padrão	6
BI14	AA01	586	BB14	AA01	932
	AA02	645		AA02	1362
	AA03	616		AA03	1054
	Padrão	32		AA04	947
				Padrão	15
BI21	AA01	551	BB21	AA01	128
	AA02	444		AA02	1038
	AA03	404		AA03	819
	Padrão	32		Padrão	12
	Padrão	43		Padrão	10
	Padrão	45		Padrão	11
BI28	AA01	429	BB28	AA01	1083
	AA02	312		AA02	1052
	AA03	443		AA03	465
	Padrão	48		Padrão	5
BI35	AA01	134	BB35	AA01	747
	AA02	243		AA02	907
	AA03	382		AA03	773
	Padrão	52		Padrão	7

Fonte: Autoria Própria, 2023.

A partir dos dados demonstrados na Tabela 3, é possível constatar o aumento no teor de oxigênio nas garrafas de cerveja previamente adulteradas. Isso é ocasionado devido a abertura das garrafas e posterior inserção da bucha de parafuso. De acordo com Farber e Barth (2019), o ar contém aproximadamente 270.000 $\mu\text{g/L}$ ou 270.000 ppb de oxigênio molecular e, portanto, exposições inadvertidas à atmosfera podem acarretar aumento do teor de oxigênio molecular do produto.

Conforme mostrado na revisão de literatura referente a etapa de envase; situada no tópico 3.5.6 deste trabalho, também foi possível confirmar o rigor pertinente ao teor de oxigênio molecular no processo de envase dos padrões avaliados. Devido à grande influência danosa proveniente da presença do oxigênio nas bebidas, de acordo com Farber e Barth (2019), cervejas embaladas não devem conter um teor de oxigênio maior que 0,2 mg de oxigênio por litro de cerveja; ou 200 ppb, aumentando assim a vida útil dos produtos fabricados, uma vez que o oxigênio é um precursor de reações de oxidação. Por isso, observa-se-que todas as amostras padrão se encontram dentro deste limite estipulado, indicando um excelente controle de qualidade dos produtos deste estilo com relação ao parâmetro avaliado.

Devido ao baixo número de replicatas, não foi empregado teste estatísticos para identificação de *outliers*, eles foram determinados por meio da identificação visual empregada nos Gráficos 1 e 2.

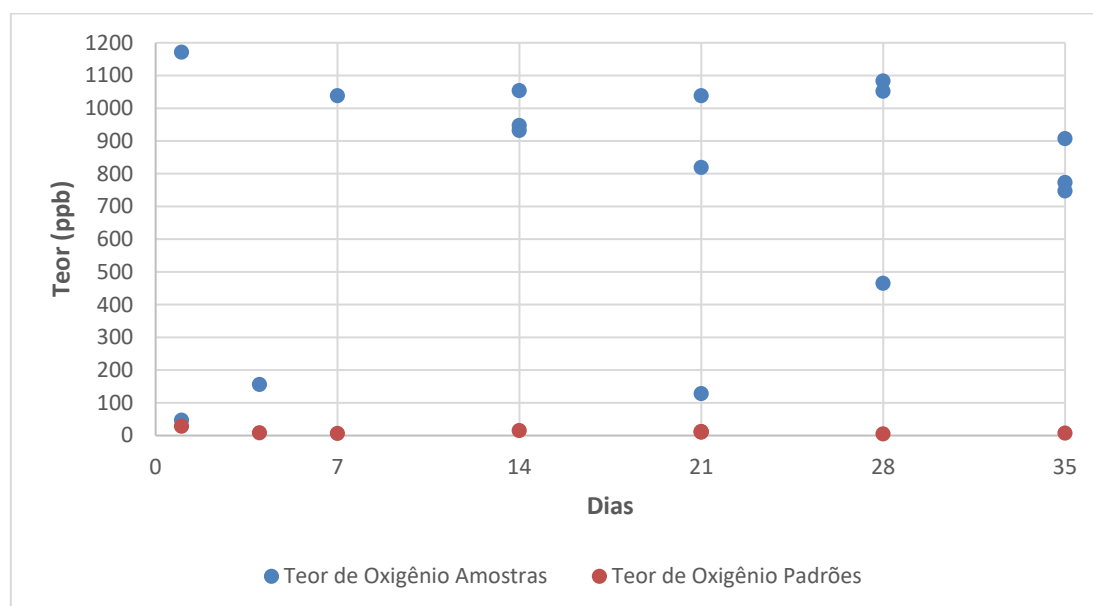


Fonte: Autoria Própria, 2023.

Ao avaliar os gráficos, notável a presença de valores discrepantes pertencentes ao grupo de análises: os teores 47 ppb de Identificação BB01, 156 ppb de identificação BB04, 140 ppb de identificação BI07, 128 ppb de identificação BB21 e 465 ppb de identificação BB28. Ao compará-los com os outros valores pertencentes a triplicata de identificação idênticas, é divergente o comportamento e a ampla variação com relação aos outros dois valores indicam a presença de *outliers* no conjunto amostral.

Estes valores discrepantes podem ser ocasionados pela não familiaridade com o manuseio do equipamento, devido a não experiência prévia de sua utilização e a consequente limitação de amostras para treinamento do manuseio do equipamento.

Gráfico 2 - Dispersão de pontos do Teor de Oxigênio para o estilo American Lager



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Para a aplicação do teste de hipóteses, os valores discrepantes das amostras BI07, BB01, BB04 e BB21 não foram considerados para o cálculo da média e, portanto, para os cálculos do teste. Destaca-se que se mantidos os valores discrepantes, a variabilidade dos dados amostrais seria muito elevada tendendo artificialmente a atender a Hipótese nula do teste t.

O teste t é comumente empregado em materiais de pesquisa quando se objetiva testar afirmações sobre a média populacional ou fazer comparações entre médias de duas populações. Neste trabalho, este teste foi empregado para avaliar comparações das médias das amostras avaliadas após a adulteração do produto, com relação à média de amostras padrão, que são aquelas que não sofreram nenhuma alteração (MELLO; PETERNELLI, 2013).

Para este trabalho, foi aplicado a hipótese nula como $H_0: \mu = \mu_0$; comparando as médias populacionais das amostras populacionais das amostras adulteradas; em detrimento das médias das amostras padrão; ou não alteradas, com relação a cada dia de análise. Para efeito de comparação, a hipótese alternativa aplicada foi $H_a: \mu \neq \mu_0$ (MELLO; PETERNELLI, 2013). Neste teste é calculado o valor de T, determinado na equação abaixo.

$$t_{\text{calc}} = \left(\frac{\bar{X} - \mu}{s / \sqrt{n}} \right) \quad \text{Equação 03}$$

Ao se aplicar o teste t, para um nível de significância de 5%, conjuntos amostrais com valor p inferiores a 0,05 tiveram a hipótese nula rejeitada. Portanto, com 95% de confiança afirmou-se que a média amostral era diferente do valor de referência. Sendo o valor p maior ou igual a 0,05 afirmou-se que, com 95% de confiança, não havia indícios para afirmar que a média amostral era distinta do valor de referência ou da média dos padrões (MELLO; PETERNELLI, 2013).

A seguir, na Tabela 4, observa-se que os resultados das comparações entre as médias para o teor de oxigênio molecular.

Tabela 4 – Dados relacionados aos testes t para o teor de oxigênio molecular

Identificação Amostras	Teor médio (ppb) das amostras	Teor do padrão (ppb)	t	Valor p
BI01	1028	71	9.24	0,01*
BI04	679	21	20.02	0,002*
BI07	672	18	6.25	0,10
BI14	616	32	34.27	0,0008*
BI21	466	40	-9.67	0,02*
BI28	395	48	8.35	0,01*
BI35	253	52	2.80	0,11
BB01	1208	28	31.89	0,02*
BB04	1283	8	30.36	0,02*
BB07	1160	6	18.81	0,003*
BB14	1074	15	10.60	0,002*
BB21	929	11	-8.38	0,07
BB28	867	5	4.29	0,05*
BB35	809	7	16.18	0,004*

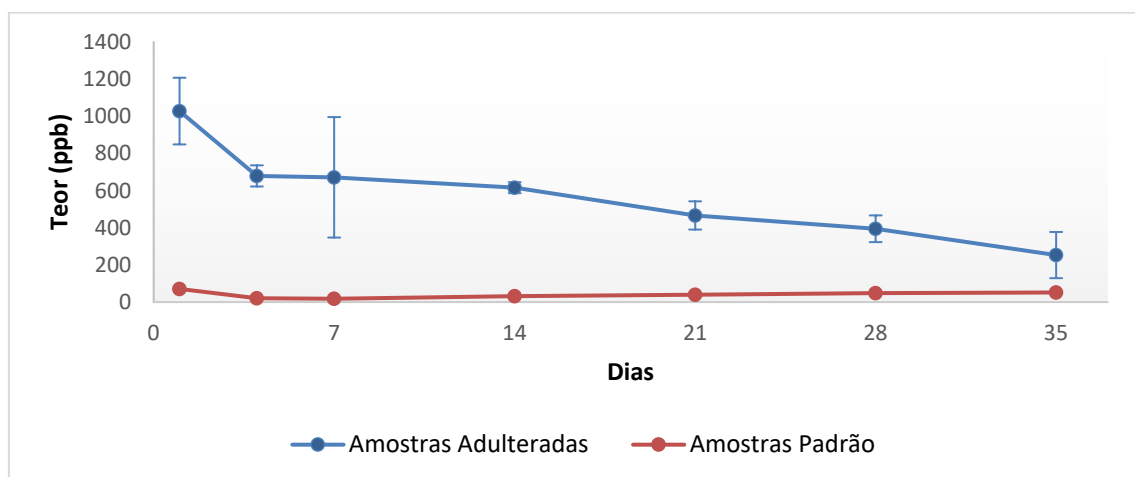
Teste t ($\alpha = 0,05$)

*Valor p estatisticamente significativo

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Ao avaliar os dados da Tabela 4, pode-se observar que somente os conjuntos amostrais BI07, BI35, BB21 e BB28 apresentam, com 95% de confiança, a média amostral igual ao valor de referência, onde para as amostras BI07 e BB21, estas igualdades foram influenciadas pela variabilidade dos respectivos conjuntos amostrais. Esta variabilidade dos conjuntos amostrais é mostrada nos Gráficos 1 e 2, que evidenciam os comportamentos das médias amostrais ao longo do tempo de realização de experimento; desconsiderando os valores discrepantes, assim como é realizada uma comparação com as amostras padrões e é apresentada a variabilidade das amostras lidas em triplicatas.

Gráfico 1 - Distribuição de pontos e as variações das médias amostrais do teor de oxigênio molecular para as cervejas Pilsen



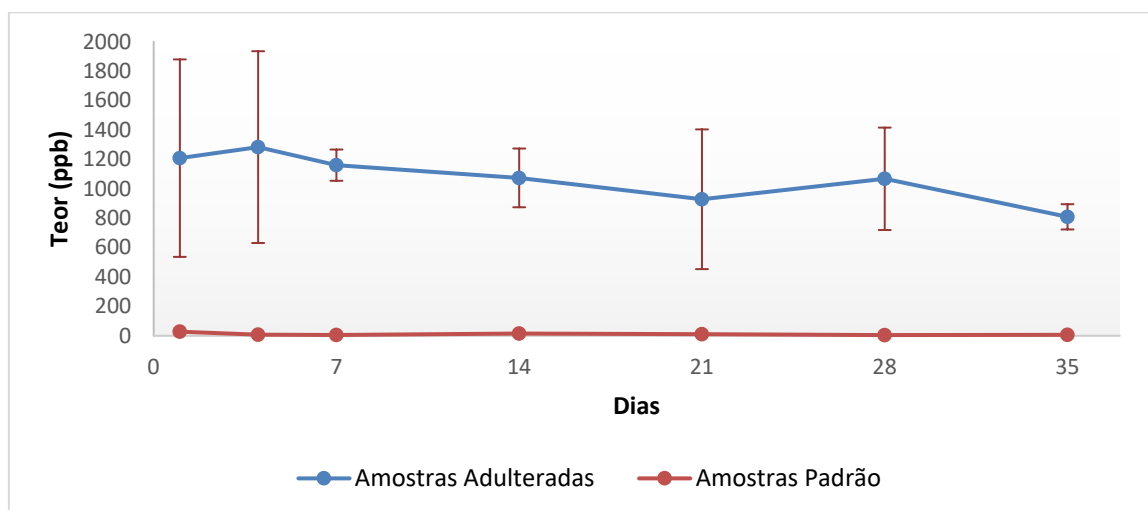
Fonte: Autoria Própria, 2023.

Para a cerveja de estilo Pilsen, como pode-se observar, a variabilidade da amostra BI7 é mais elevada que as outras amostras. Além disso, é possível notar uma tendência de queda no teor de oxigênio molecular ao decorrer do avanço do experimento.

Analisando-se a cerveja de estilo American Lager, pode se observar uma variabilidade dos dados muito superior, assim como uma menor tendência de redução do teor de oxigênio molecular quando comparada as amostras de estilo Pilsen. Esta estabilidade no teor de oxigênio molecular pode indicar uma maior estabilidade no produto de estilo American Lager. Esta estabilidade pode ser promovida pela ação de substâncias antioxidantes presentes no produto. Os antioxidantes podem ser encontrados naturalmente na cerveja que agem protegendo outras moléculas presentes na cerveja de sofrerem oxidação. Os antioxidantes também podem ser adicionados à cerveja para uma

melhor conservação e aumento de sua vida de prateleira. Portanto, de acordo com a composição de cada produto, ele pode apresentar maior eficiência na atuação de prevenção de oxidação de compostos da cerveja quando comparado a outras cervejas (OLIVER, 2021).

Gráfico 2 - Distribuição de pontos e as variações das médias de teor de oxigênio molecular para as cervejas American Lager



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Uma das possibilidades da presença de amostras avaliadas com baixos teores medidos de oxigênio dissolvidos pode ter sido acarretada pela ausência de padronização durante o processo de homogeneização ou homogeneização insuficiente, impossibilitando alcançar o equilíbrio do meio, tornando as concentrações de oxigênio molecular em ambas as fases não correlacionados e discrepantes entre si.

Para que o sistema esteja em equilíbrio, Farber e Barth (2019) consideram necessária uma boa homogeneização da amostra através de agitação por 5 min. Já Jandreau e Hahn (1978) estabeleceram através de um levantamento de testes que o equilíbrio físico entre as fases gasosa e líquida é obtido em 15 min após o empacotamento e a imersão em banho-maria ultrassônico.

A determinação de oxigênio total na embalagem pressupõe que todo o oxigênio presente no *headspace* do recipiente da cerveja será dissolvido ao longo do tempo. Esta dissolução ocorre de forma gradativa, em função da temperatura e da composição da cerveja. Porém, ao final este processo estará encerrado, e dado tempo suficiente, todo o oxigênio será removido do espaço livre devido à dissolução e à resultante oxidação da

cerveja (FARBER; BARTH, 2019; JANDREAU; HAHN, 1978). Portanto, outra possibilidade para os valores inferiores de oxigênio molecular consiste no consumo do mesmo em reações de degradação ou oxidação de compostos da cerveja.

Experimentos realizados por Corzo e Bracho (2006) buscaram avaliar o comportamento das características sensoriais da cerveja de acordo com os fatores de concentração de oxigênio, composição da cerveja, temperatura e intervalos de tempo de armazenamento da cerveja. Neste experimento, simulando as condições de armazenamento ideais; baixa concentração de oxigênio (60 ppb) e baixa temperatura (5 °C), não ocorreram alterações significativas sensoriais durante as 16 semanas de experimentos. Já nas condições de altas temperaturas (28 °C) e alta concentração de oxigênio (200 ppb), que são condições indesejadas, porém compatíveis com as amostras deste trabalho (amostras armazenadas em temperaturas aproximadas a 25 °C e concentrações majoritárias acima de 200 ppb) demonstraram alterações significativas nas características sensoriais a partir da terceira semana de experimento.

Portanto, correlacionando as informações deste estudo com os resultados de tendência das médias das amostras lidas, é possível notar uma semelhança de comportamento, visto que; ocorre uma redução gradativa; porém expressiva do teor de oxigênio para as cervejas de estilo Pilsen a partir da segunda semana, dia 14.

Sendo assim, sabendo-se que o oxigênio promove inúmeras reações de degradação de compostos presentes na cerveja, e por isso sua ausência é um fator determinante para a qualidade dos produtos, pode-se presumir que, após um determinado tempo, o teor de oxigênio dissolvido presente na cerveja passou a ser consumido para que ocorresse a oxidação de compostos da cerveja.

5.2 Concentração de dióxido de carbono

A análise da concentração do dióxido de carbono das bebidas foi realizada com o intuito de verificar a presença de alterações significativas no teor deste gás, de modo a avaliar a presença ou ausência de um comportamento consistente entre as amostras adulteradas frente as bebidas que não foram alteradas e nem abertas. Após a mensuração deste parâmetro no experimento, obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 5.

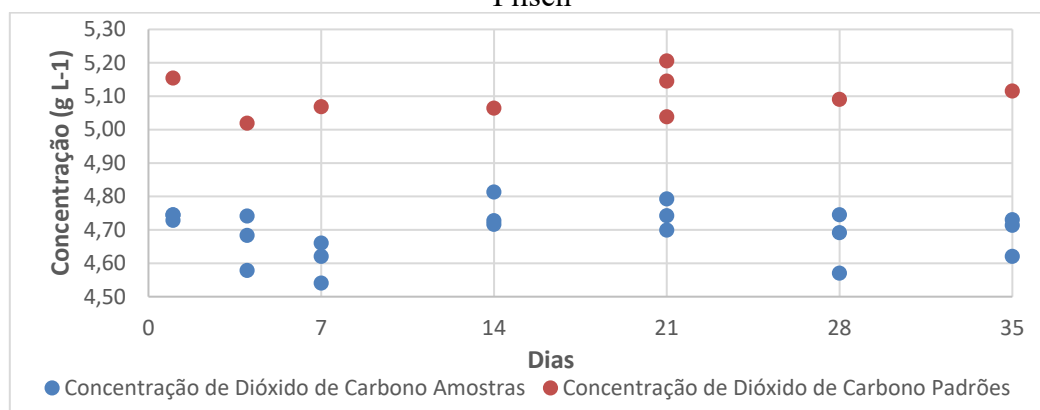
Tabela 5 - Teores de dióxido de carbono das amostras de cerveja

Sigla de identificação	Amostra	Teor de CO ₂ (g L ⁻¹)	Sigla de identificação	Amostra	Teor de CO ₂ (g L ⁻¹)
BI01	AA01	4,75	BB01	AA01	4,69
	AA02	4,73		AA02	4,72
	AA03	4,74		AA03	4,76
	Padrão	5,15		Padrão	5,10
BI04	AA01	4,74	BB04	AA01	4,70
	AA02	4,68		AA02	4,76
	AA03	4,58		AA03	3,42
	Padrão	5,02		Padrão	3,47
BI07	AA01	4,66	BB07	AA01	4,69
	AA02	4,54		AA02	4,67
	AA03	4,62		AA03	4,70
	Padrão	5,07		Padrão	4,96
BI14	AA01	4,81	BB14	AA01	4,63
	AA02	4,73		AA02	4,75
	AA03	4,72		AA03	4,59
	Padrão	5,06		AA04	4,29
BI21			BB21	Padrão	4,94
	AA01	4,70		AA01	4,56
	AA02	4,74		AA02	4,65
	AA03	4,79		AA03	4,50
	Padrão	5,15		Padrão	4,99
	Padrão	5,04		Padrão	5,04
BI28	Padrão	5,21	BB28	Padrão	5,03
	AA01	4,75		AA01	4,73
	AA02	4,57		AA02	4,69
	AA03	4,69		AA03	4,71
BI35	Padrão	5,09	BB35	Padrão	4,82
	AA01	4,73		AA01	4,71
	AA02	4,62		AA02	4,78
	AA03	4,71		AA03	4,70
	Padrão	5,12		Padrão	4,91

Fonte: Autoria Própria, 2023.

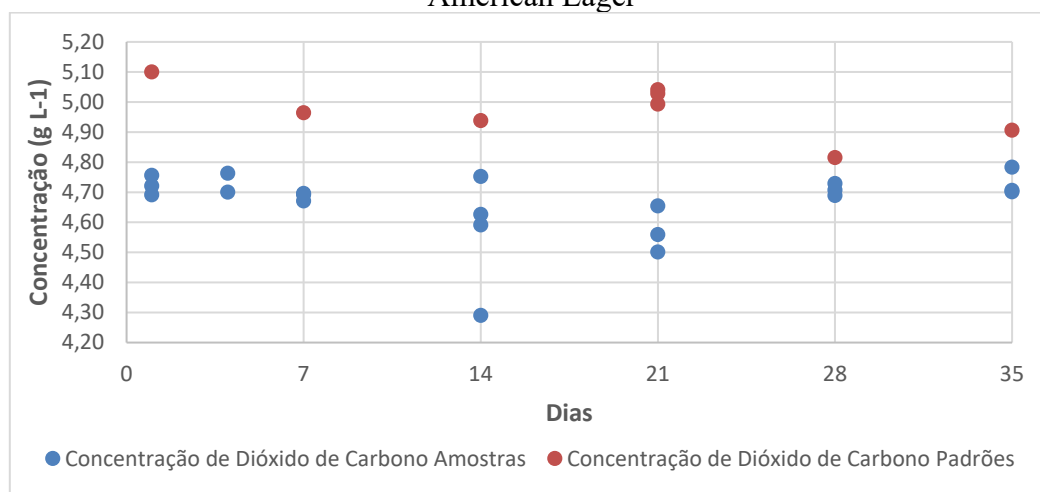
Para este parâmetro, assim como o teor de oxigênio, foram avaliados a possível presença de *outliers* no conjunto amostral a partir da avaliação visual efetuada nos Gráficos 5 e 6 onde observa-se a presença de um possível outlier, no conjunto amostral BB14.

Gráfico 5 - Dispersão de pontos da Concentração de Dióxido de Carbono para o estilo Pilsen



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Gráfico 6 - Dispersão de pontos da Concentração de Dióxido de Carbono para o estilo American Lager



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A partir dos dados exibidos na Tabela 5, é possível observar uma pequena redução nos valores de concentração de dióxido de carbono nas garrafas de cerveja previamente adulteradas. Isso ocorreu devido perda do gás para o ambiente quando as garrafas foram abertas. Porém, para determinar esta diferença entre ambos os grupos amostrais, foram aplicados os mesmos testes estatísticos usados para o teor de oxigênio molecular. Os dados podem ser visualizados na Tabela 6.

De acordo com o teste t, com 95% de significância, as amostras adulteradas possuem a média diferente do valor das amostras padrão, com exceção da amostra American Lager BB04.

Devido ao dióxido de carbono ser um componente primário do sabor das cervejas, é considerado um parâmetro de controle de qualidade essencial para os fabricantes. Sendo

assim, idealmente uma amostra deve ser obtida sem redução de pressão de CO₂ e sua concentração deve ser consistente com o estilo do produto (BUGLASS, 2011).

Tabela 6 – Dados relacionados aos testes T para a concentração de dióxido de carbono

Identificação das amostras	Concentração de CO ₂ amostras (g L ⁻¹)	Concentração de CO ₂ padrão (g L ⁻¹)	t	Valor p
BI01	4,74	5,15	-71,01	0,00019*
BI04	4,67	5,02	- 7,571	0,017*
BI07	4,61	5,07	-13,133	0,0057*
BI14	4,75	5,06	-10,768	0,0085*
BI21	4,74	5,13	6,94	0,00062*
BI28	4,67	5,09	-7.9373	0.0155*
BI35	4,69	5,12	-12.809	0.00604*
BB01	4,72	5,10	-18,577	0,0028*
BB04	4,29	3,47	1,884	0,2002
BB07	4,69	4,96	-30,993	0,0010*
BB14	4,56	4,94	-3,83	0,031*
BB21	4,57	5,02	9.7428	0.00062*
BB28	4,71	4,82	-9.5263	0.01084*
BB35	4,73	4,91	-7.1525	0.01899*

Teste t ($\alpha = 0,05$)

*Valor p estatisticamente significativo

Fonte: Autoria Própria, 2023.

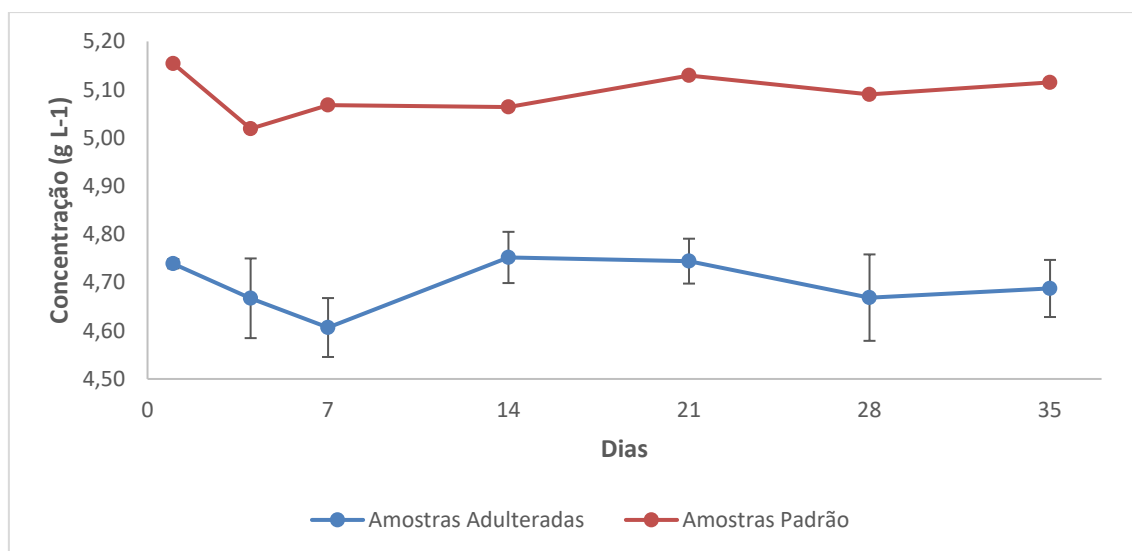
A partir dos gráficos dos Gráficos 7 e 8, é possível avaliar o comportamento e a variação dos resultados para a mensuração do teor do dióxido de carbono. A partir destes resultados, é possível perceber visualmente uma diferença considerável entre os valores das amostras adulteradas e as amostras padrão de estilo Pilsen. Além disso, pode-se perceber que a variabilidade dos dados amostrais, independente do dia, são similares.

Já para as amostras do estilo American Lager, é possível observar uma menor homogeneidade na variabilidade dos resultados, assim como a possível presença de resultados discrepantes, ou *outliers*, na leitura das amostras padrão, visto que este resultado se difere consideravelmente dos demais sem ter sofrido nenhuma alteração intencional que distinguísse esta amostra discrepante do conjunto amostral.

Segundo Gordon (2010), embalagens de armazenamento de cerveja possuem uma pequena incapacidade relacionada a possibilidade da perda de carbonatação da cerveja. Portanto, cervejas embaladas em recipientes como garrafas de vidro, alumínio ou plástico podem sofrer uma pequena perda de dióxido de carbono através do revestimento da tampa. Ao conhecimento desta característica das embalagens de cerveja, é possível

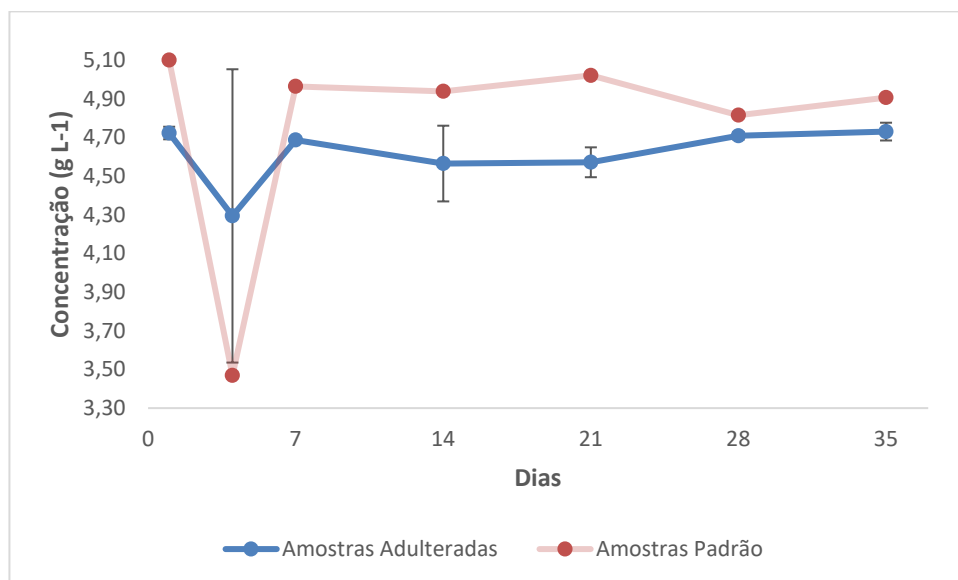
pressupor a perda de dióxido de carbono através da tampa após o processo de envase da cerveja, ou há a possibilidade de falhas no processo de carbonatação da cerveja.

Gráfico 7 - Distribuição de pontos e as variações das médias amostrais da concentração de dióxido de carbono para as cervejas Pilsen



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Gráfico 8 - Distribuição de pontos e as variações das médias amostrais da concentração de dióxido de carbono para as cervejas American Lager



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Gordon (2010) ainda afirma que é inadmissível uma perda de dióxido de carbono acima de 10% após o envase do produto. Considerando este limiar, Na Tabela 7 é

apresentada a porcentagem de perda de dióxido de carbono para cada dia calculado a partir da sua comparação com seus respectivos padrões do conjunto amostral. Ao se calcular a porcentagem de perda de CO₂, é possível observar que para a amostra com o padrão discrepante não foi considerada uma vez em que ela elevou o teor de CO₂, um comportamento improvável.

Tabela 6 – Valores de Perda de CO₂ para as Amostras

Pilsen		American Lager	
Dia	Perda de CO₂ (%)	Dia	Perda de CO₂ (%)
1	8,05	1	7,40
4	7,01	4	-
7	9,10	7	5,59
14	6,16	14	7,56
21	7,51	21	8,95
28	8,28	28	2,22
35	8,35	35	3,59

Fonte: Autoria Própria, 2023.

Considerando as porcentagens de perda de CO₂, diante das condições de realização do experimento, observa-se que mesmo após aberta, as garrafas ainda estão dentro deste limite, embora, em sua grande maioria, principalmente para o estilo pilsen as perdas estão próximas a este valor, o que não é considerado o ideal.

5.3 pH

A análise do pH foi realizada com o intuito de verificar a presença de alterações significativas nas bebidas, de modo a avaliar a presença ou ausência de um comportamento consistente entre as amostras adulteradas frente as bebidas que não foram alteradas e nem abertas. Após a mensuração deste parâmetro no experimento, obteve-se os resultados demonstrados na Tabela 8.

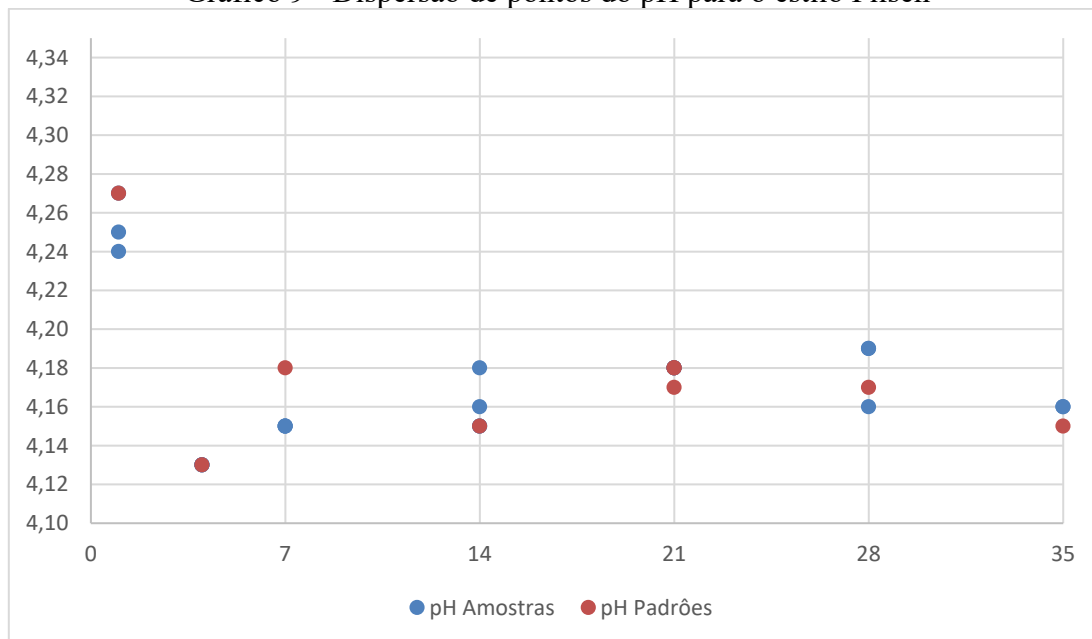
A partir dos valores apresentados na Tabela 8 é possível verificar que praticamente não houve alterações entre as amostras adulteradas e as amostras padrão no quesito valores de pH. Ainda assim, avaliou-se a ausência de outliers através dos Gráficos 9 e 10.

Tabela 7 - Valores de pH obtidos para as amostras e padrões

Sigla de Identificação	Amostra	pH	Sigla de Identificação	Amostra	pH
BI01	AA01	4,27	BB01	AA01	4,03
	AA02	4,25		AA02	4,05
	AA03	4,24		AA03	4,03
	Padrão	4,27		Padrão	4,04
BI04	AA01	4,13	BB04	AA01	3,90
	AA02	4,13		AA02	3,90
	AA03	4,13		AA03	3,92
	Padrão	4,13		Padrão	3,94
BI07	AA01	4,15	BB07	AA01	3,94
	AA02	4,15		AA02	3,93
	AA03	4,15		AA03	3,94
	Padrão	4,18		Padrão	3,93
BI14	AA01	4,16	BB14	AA01	3,94
	AA02	4,15		AA02	3,94
	AA03	4,15		AA03	3,94
	Padrão	4,15		AA04	3,95
BI21			BB21	Padrão	3,94
	AA01	4,18		Padrão	3,95
	AA02	4,18		Padrão	3,95
	AA03	4,18		Padrão	3,95
	Padrão	4,18			
	Padrão	4,17			
BI28	AA01	4,18	BB28	AA01	3,97
	AA02	4,19		AA02	3,97
	AA03	4,19		AA03	3,98
	Padrão	4,17		Padrão	4,05
BI35	AA01	4,16	BB35	AA01	3,95
	AA02	4,16		AA02	3,95
	AA03	4,16		AA03	3,96
	Padrão	4,15		Padrão	4,02

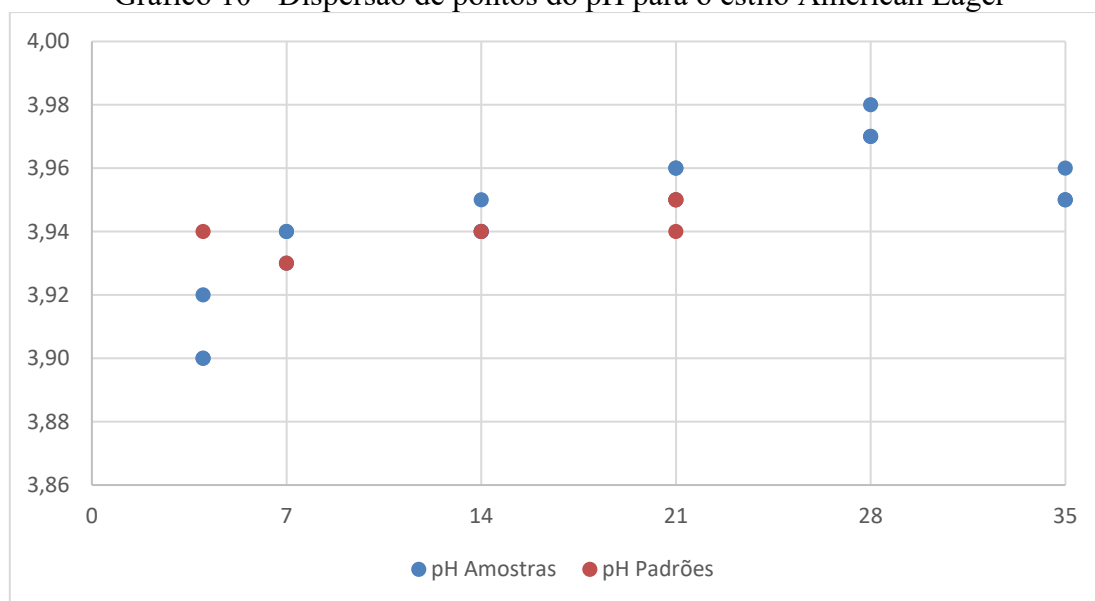
Fonte: Autoria Própria, 2023.

Gráfico 9 - Dispersão de pontos do pH para o estilo Pilsen



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Gráfico 10 - Dispersão de pontos do pH para o estilo American Lager



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Considerando a proximidade dos valores de pH obtidos com relação aos padrões, foi avaliada a veracidade da semelhança, novamente aplicando o teste T ($\alpha = 0,05$), sendo os resultados apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Dados relacionados aos testes T para o pH

Identificação Amostras	pH médio das amostras	pH dos padrões	T Calculado	Valor p
BI01	4,25	4,27	-1,8898	0,1994
BI04	4,13	4,13	**	**
BI07	4,15	4,18	**	**
BI14	4,15	4,15	1	0,4226
BI21	4,18	4,18	-1	0,4226
BI28	4,19	4,17	5	0,0377*
BI35	4,16	4,15	**	**
BB01	4,04	4,04	-0,5	0,6667
BB04	3,91	3,94	-5	0,0377*
BB07	3,94	3,93	2	0,18
BB14	3,94	3,94	1	0,391
BB21	3,96	3,95	-2,1213	0,1012
BB28	3,97	4,05	-23	0,0018*
BB35	3,95	4,02	-20	0,0024*

Teste t ($\alpha = 0,05$)

*Valor p estatisticamente significativo

**Variância amostral igual a zero

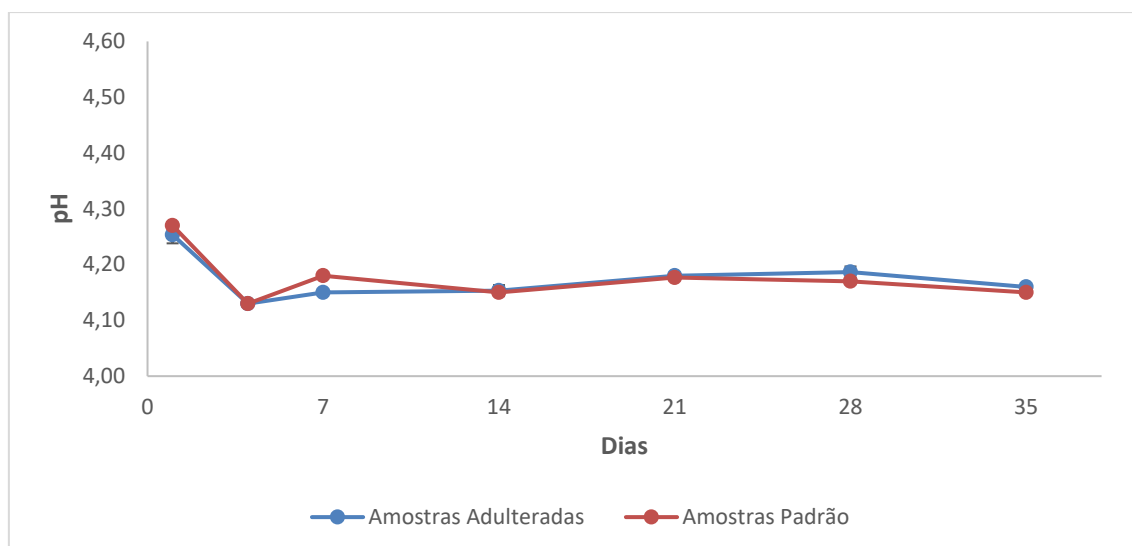
Fonte: Autoria Própria, 2023.

A partir dos resultados acima, juntamente aos gráficos de dispersão das médias de resultados (Gráficos 11 e 12), não é possível determinar a diferença das médias de valores de pH das amostras adulteradas e as amostras padrões, para ambos os estilos de cerveja até o dia 21 de experimento. A exceção a este comportamento tendencial de similaridade são as amostras BI07 e BB04, que apesar de apresentar diferença entre as médias (95% de confiança), a diferença absoluta dos valores de pH é igual a 0,03, um valor muito pequeno. Salienta-se que algumas médias amostrais de pH tiveram variância igual a zero, ou seja, todos os valores de pH foram idênticos. Nesta condição, o teste t não pode ser aplicado. Mas, pode-se comparar diretamente os dados idênticos com o valor de referência.

A partir dos dados do Gráfico 11 é possível notar a ausência de variação entre as médias das amostras adulteradas, uma vez que as barras de erro não são visíveis neste gráfico. Além disso, é possível observar uma baixa variação entre os resultados de cada dia durante o decorrer do experimento. Similarmente, constata-se uma tendência parecida para as cervejas de estilo American Lager, situadas no Gráfico 12. Ao se comparar ambas as cervejas, apesar do comportamento parecido, a cerveja de estilo American Lager apresenta o seu produto levemente mais ácido, quando comparado ao estilo Pilsen. Esta

diferença provavelmente ocorre devido às características individuais de cada produto e do estilo de cerveja escolhido.

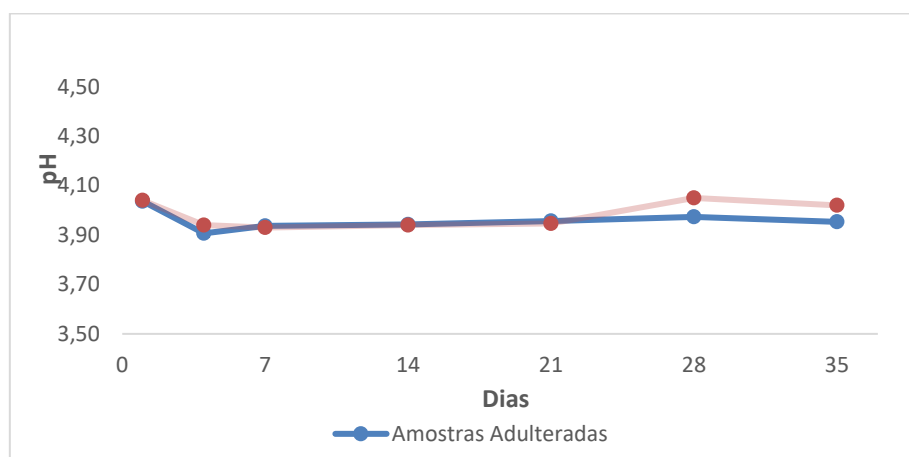
Gráfico 11 - Distribuição de pontos e as variações das médias de pH para as cervejas
Pilsen



Fonte: Autoria Própria, 2023.

A característica de similaridade em comportamento de ambos os estilos de cerveja se repetem com a diferenciação dos valores das médias das amostras adulteradas em relação aos valores das amostras padrão a partir do dia 28, sugerindo alguma ocorrência de alteração do produto, podendo ser devido a reações químicas que ocorrem nas cervejas.

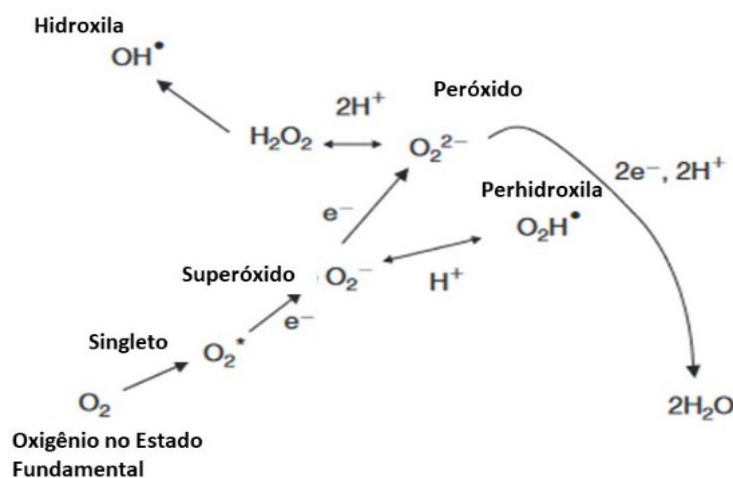
Gráfico 12 - Distribuição de pontos e as variações das médias de pH para as cervejas
American Lager



Fonte: Autoria Própria, 2023.

Uma destas reações, consiste na conversão do oxigênio em formas reativas, denominadas radicais livres, que possuem um ou mais elétrons desemparelhados. Esta reação de formação de radicais a partir do oxigênio dissolvido, sendo ele uma espécie não radicalar, através da perda ou aquisição de elétrons (Figura 4). Da mesma forma, o fornecimento de energia para a molécula de oxigênio pode “inverter” o spin de um dos elétrons orbitais externos do oxigênio, gerando o oxigênio singlete altamente reativo (BAMFORTH, 2009).

Figura 4 – Reação radicalar relacionada ao oxigênio molecular



Fonte: adaptado de BAMFORTH, 2009.

É notável que durante este processo de formação de radicais, é necessário um meio ácido, que será consumido para que a reação química ocorra. Uma possibilidade que possa ter ocasionado um aumento singelo de pH para as amostras de estilo American Lager, consiste no consumo destes íons para que ocorra a conversão do oxigênio presente no meio em espécies radiculares de oxigênio. Isso é evidenciado devido ao comportamento de aumento de pH, que de acordo com os resultados, apresentou uma redução de teor de oxigênio simultaneamente, sendo assim possível o consumo do oxigênio e acidez do meio; gerando resultados com menor teor de oxigênio e maior valor de pH (BAMFORTH, 2009).

Fato observado por KANEDA et al. (1997), que em seus experimentos, notou que em meio mais ácido, com pH em torno de 4,0, ou menor, e uma certa concentração de oxigênio, devido a abertura das embalagens de cerveja, as reações de oxidação da cerveja são facilitadas, quando comparada com amostras sem nenhuma alteração.

Outro experimento que se alinha neste argumento são os trabalhos de Saison et al. (2010), que avaliou vários fatores no envelhecimento da cerveja. Neste experimento foi concluído que os fatores temperatura, pH e teor de oxigênio em teores mais elevados aceleram o processo oxidativo que acarretam envelhecimento da cerveja e consequente redução de vida útil do produto.

6 CONCLUSÃO

Averiguou-se inicialmente que é possível avaliar a intencionalidade da adulteração de cervejas armazenadas em garrafas com a adição do corpo estranho de natureza plástica testado, considerando a amostragem realizada para cervejas do estilo lager Pilsen e American lager, até um mês após a adulteração.

Com relação aos parâmetros estudados, o teor de oxigênio se mostrou mais assertivo para realizar a determinação da diferença entre amostras adulteradas e amostras comuns, uma vez que esta mostrou resultados mais distintos entre ambas as amostras. Porém, devido ao comportamento de redução do teor de oxigênio ao longo do experimento, o uso desta análise para amostras a longo prazo, adulteradas a mais de um mês deve ser estudado. Portanto, recomenda-se realizar um novo estudo ampliando a janela temporal do experimento, de modo a observar o comportamento da redução do oxigênio presente, e caso haja, o limite temporal onde ele não poderá mais ser detectado.

A concentração de dióxido de carbono, por sua vez, demonstrou-se distinta com relação as amostras padrão, sendo similarmente um bom parâmetro de distinção entre ambas as amostras. Considerando a tendência de seu comportamento estável, supôs-se que ele não se alteraria ao longo do tempo. Assim, também se vê como necessária a ampliação da janela temporal dos experimentos para confirmação e nova avaliação comportamental deste parâmetro.

O valor de pH, ao contrário dos outros parâmetros, não demonstrou possível de ser empregado na identificação durante a janela temporal estudada. Durante este trabalho, o pH demonstrou ter uma pequena potencialidade de poder ser empregado para avaliações de amostras com tempo superior a um mês de adulteração, desde que empregadas conjuntamente com outros parâmetros, como discutido previamente. No entanto são necessárias a realização de experimentos mais aprofundados para comprovação desta suposição. Portanto, considerando as condições de estudo, o parâmetro de pH não obteve sucesso em distinguir as amostras, não podendo ser empregado para esta finalidade.

Por fim, ao considerar a análise simultânea dos parâmetros, os teores de oxigênio e de dióxido de carbono são possíveis de serem empregados em conjunto na identificação de adulteração, apresentando maior chance de uma avaliação correta de uma amostra problema.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ART, B. **Cresce consumo de cerveja 0% álcool no Brasil**. Disponível em: <<https://revistabeerart.com/news/cerveja-sem-alcool>>. Acesso em: 8 out. 2023.

BAMFORTH, C. W. **Beer: a quality perspective**. Burlington, MA: Academic, 2009.

BANSAL, S. et al. Food adulteration: Sources, health risks, and detection methods. **Critical Reviews in Food Science and Nutrition**, v. 57, n. 6, p. 1174–1189, 13 abr. 2017.

BELL, S. Forensic Chemistry. **Annual Review of Analytical Chemistry**, v. 2, n. 1, p. 297–319, 19 jul. 2009.

BUGLASS, A. J. (ED.). **Handbook of alcoholic beverages: technical, analytical, and nutritional aspects**. Chichester, West Sussex, England: John Wiley & Sons, 2011.

CARVALHO, A. L. DE. **Consumo de cerveja desacelera no país, aponta estudo**. Notícias. Disponível em: <<https://valorinveste.globo.com/mercados/noticia/2023/05/23/consumo-de-cerveja-diminui-no-brasil-aponta-estudo.ghml>>. Acesso em: 8 out. 2023.

CORZO, O.; BRACHO, N. Prediction of the Sensory Quality of Canned Beer as Determined by Oxygen Concentration, Physical Chemistry Contents, and Storage Conditions. **Journal of Food Science**, v. 69, n. 7, p. 285–289, 31 maio 2006.

EDWARD, M. **Production of wine beer sprits and liqueurs**. 1st ed ed. Chandni Chowk, Delhi [India]: Global Media, 2009.

ESSLINGER, H. M. **Handbook of brewing: processes, technology, markets**. Weinheim: Wiley-VCH, 2009.

FARBER, M.; BARTH, R. **Mastering Brewing Science: Quality and Production**. [s.l.] John Wiley & Sons, 2019.

FOLLI, G. S. et al. ANÁLISE DE ADULTERAÇÃO DE ALIMENTOS POR ESPECTROSCOPIA NA REGIÃO DO INFRAVERMELHO PRÓXIMO COM INSTRUMENTO PORTÁTIL: UMA REVISÃO | Revista Ifes Ciência. 7 out. 2023.

FREITAS, C. F. **Brasil consumiu quase 16 bilhões de litros em 2022, um novo recorde**. Disponível em: <<https://catalisi.com.br/brasil-consumiu-quase-16-bilhoes-de-litros-em-2022-um-novo-recorde/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

HONG, E. et al. Modern analytical methods for the detection of food fraud and adulteration by food category. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 97, n. 12, p. 3877–3896, set. 2017.

HOUCK, M. M. **Forensic Chemistry**. [s.l.] Academic Press, 2015.

JANDREAU, G. L.; HAHN, C. W. Automated Measurement of Total Oxygen in Beer Packages. **Journal of the American Society of Brewing Chemists**, v. 36, n. 1, p. 44–48, jan. 1978.

KANEDA, H. et al. INFLUENCE OF pH ON FLAVOUR STALING DURING BEER STORAGE. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 103, n. 1, p. 21–23, 1997.

KHADERI, S. A. Introduction: Alcohol and Alcoholism. **Clinics in Liver Disease, Alcoholic Liver Disease**. v. 23, n. 1, p. 1–10, 1 fev. 2019.

MATEUS SALES DOS SANTOS; FLÁVIO DE MIRANDA RIBEIRO. **Cervejas e refrigerantes**. CETESB, , 2005. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/consumosustentavel/wp-content/uploads/sites/20/2013/11/cervejas_refrigerantes.pdf>. Acesso em: 1 set. 2023

MELLO, M. P.; PETERNELLI, L. A. **Conhecendo o R - Uma visão mais que Estatística**. 1. ed. [s.l.] Editora UFV, 2013.

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

MSAGATI, T. A. M. **Food Forensics and Toxicology**. 1. ed. [s.l.] Wiley, 2017.

O setor em números. SINDICERV, [s.d.]. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/o-setor-em-numeros/>>. Acesso em: 1 out. 2023

OLIVEIRA, R. **Caso Backer: relembre o que aconteceu e entenda a atual fase do julgamento | O TEMPO**. Disponível em: <<https://www.otempo.com.br/cidades/caso-backer-relembre-o-que-aconteceu-e-entenda-a-atual-fase-do-julgamento-1.2833075>>. Acesso em: 11 nov. 2023.

OLIVER, G. **O Guia Oxford da Cerveja**. [s.l.] Editora Blucher, 2021.

PIMENTA, L. B. et al. A história e o processo da produção da cerveja: uma revisão. **Cadernos de Ciência & Tecnologia**, v. 37, n. 3, p. 26715, 25 nov. 2020.

QUINTINO, L. **Brasileiro bebeu mais cerveja em 2021 mesmo sem Carnaval e festivais**. Notícias. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/economia/brasileiro-bebeu-mais-cerveja-em-2021-mesmo-com-restricoes-sociais/>>. Acesso em: 8 out. 2023.

ROBERTSON, G. L. **Food packaging and shelf life: a practical guide**. Boca Raton (Fla.): CRC press, 2010.

RODRIGUES, J. E.; GIL, A. M. NMR methods for beer characterization and quality control. **Magnetic Resonance in Chemistry**, v. 49, n. S1, dez. 2011.

SALDANHA, R. M. **Histórias, Lendas e Curiosidades das Bebidas Alcoólicas e Suas Receitas**. 1º ed. Rio de Janeiro, RJ: Editora Senac Rio, 2017.

SHARMA, A. et al. Food Adulteration: A Review. v. 5, 1 mar. 2017.

SINDICERV. **Transformação do Consumo**. SINDICERV, 4 mar. 2022. Disponível em: <<https://www.sindicerv.com.br/noticias/transformacao-do-consumo/>>. Acesso em: 8 out. 2023

WILLIAMS, J. **Origin of beverages**. 1st ed ed. Chandni Chowk, Delhi: Global Media, 2009.

ZEM, R. **As 5 principais fraudes de alimentos encontradas pelo governo neste ano**. Disponível em: <<https://g1.globo.com/economia/agronegocios/noticia/2023/09/01/as-5-principais-fraudes-de-alimentos-encontradas-pelo-governo-nos-ultimos-dois-anos.ghtml>>. Acesso em: 8 nov. 2023.