

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL
INSTITUTO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE ALIMENTOS
CURSO DE ENGENHARIA DE ALIMENTOS**

**QUALIDADE SENSORIAL DE CERVEJAS: ANÁLISE DO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL.**

Bárbara Da Cás Dragueti

Porto Alegre 2019

Bárbara Da Cás Draguetti

**QUALIDADE SENSORIAL DE CERVEJAS: ANÁLISE DO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Engenheiro de
Alimentos do Instituto de Ciência e
Tecnologia de Alimentos da Universidade
Federal do Rio Grande do Sul

Professor orientador: Rafael Costa Rodrigues

Porto Alegre

2019

Bárbara Da Cás Dragueti

**QUALIDADE SENSORIAL DE CERVEJAS: ANÁLISE DO PROCESSO DE
FABRICAÇÃO EM ESCALA INDUSTRIAL.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Alimentos do Instituto de Ciência e Tecnologia de Alimentos da Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Aprovado em: __/__/__

Rafael Costa Rodrigues (Orientador)
Doutor em Engenharia Química UFRGS

Vitor Manfoi
Doutor em Ciência e Tecnologia Agroindustrial UFRGS

Alinne Barcellos Bernd
Auditora Fiscal Federal Agropecuária no Ministério da Agricultura, Pecuária e
Abastecimento

“Não vale a pena viver sonhando e se esquecer de viver.”

J.K. Rowling

RESUMO

O Brasil é um grande produtor de cerveja, e o estilo mais consumido é o American Lager, produzido majoritariamente em larga escala. Apesar disso, atualmente o conceito de qualidade relacionado a cerveja, está atrelado a cervejas ditas artesanais, especiais e/ou puro malte. Contudo, o conceito de qualidade é muito abrangente e depende da maneira como ele é analisado. Dessa forma, o objetivo deste trabalho é analisar e identificar as principais causas de defeitos sensoriais nas cervejas American Lager produzidas em escala industrial. Para tanto, foi realizada uma avaliação buscando identificar os defeitos sensoriais recorrentes das cervejas produzidas, foram determinadas as possíveis falhas do processo de produção que causem os defeitos e foram feitas análises de potencial redox de amostras de cerveja para identificar o foco principal de tratativas. O principal defeito encontrado na cerveja foi oxidação, principalmente relacionada ao envelhecimento durante a vida de prateleira, onde 90% das amostras avaliadas obtiveram indicação desse defeito. Foi possível concluir que a principal etapa que causa anomalias sensoriais na cerveja é na fase de fermentação / maturação, apesar de haver oportunidades também da etapa de brasagem. Visando melhorar a qualidade final do produto pode-se realizar uma análise de estresse fermentativo prévio, antes de reutilizar fermento e diminuir a carga térmica do mosto durante a brasagem.

Palavras chaves: oxidação; *off flavours*; redox; cerveja.

ABSTRACT

Brazil is a major beer producer, and the most consumed style is American Lager, produced mostly on a large scale. Nevertheless, currently the concept of quality related to beer, is linked to beers called craft, special and / or pure malt. However, the concept of quality is very broad and depends on the way it is analyzed. Thus, the objective of this paper is to analyze and identify the main causes of sensory defects in American Lager beers produced on an industrial scale. To this end, an evaluation was carried out to identify the recurrent sensory defects of the brewed beers, the possible failures of the production process that caused the defects were determined, and redox potential analyzes of beer samples were performed to identify the main focus of treatments. The main defect found in beer was oxidation, mainly related to aging during shelf life, where 90% of the samples evaluated indicated this defect. It was concluded that the main stage that causes sensory anomalies in beer is in the fermentation / maturation phase, although there are also opportunities of the mashing stage. In order to improve the final quality of the product a prior fermentative stress analysis can be performed before reusing yeast and decreasing the mash heat load during mashing.

Keywords: oxidation; off flavors; redox; beer.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Estrutura do grão de cevada durante o processo de germinação.....	13
Figura 2 - Processo de produção de cerveja em larga escala.....	17
Figura 3 - Degradação do amido durante a mosturação.	19
Figura 4 - A oxidação induzida por lipoxigenase resultando na degradação dos lipídios do malte.	20
Figura 5 - Isomerização da humulona presente no lúpulo.....	24
Figura 6 - Fatores que são alterados durante o processo de fermentação high-gravity.....	28
Figura 7 - Diagrama esquemático do metabolismo de leveduras e produção de aromas e sabores.....	30
Figura 8 - Mecanismos de Filtração.	32
Figura 9 - Mudanças sensoriais durante o envelhecimento da cerveja.....	34
Figura 10 - Degradação de Strecker.	36
Figura 11 - The Beer Flavour Wheel.	38
Figura 12 - Defeitos detectados nas cervejas frescas.....	47
Figura 13 - Tempo total de mostura para produção de mosto com adjunto.	48
Figura 14 - Tempo total de mostura para produção de mosto puro malte.....	49
Figura 15 - Distribuição de frequência dos tempos de mosturação para mosto com adjunto.....	49
Figura 16 - Tempo de aquecimento do mosto até a fervura.....	51
Figura 17 - Tempo entre a transferência do mosto da tina de fervura para o decantador.	52
Figura 18 - Tempo total de fabricação para produção de mosto com adjunto.....	53
Figura 19 - Tempo total de fabricação para produção de mosto puro malte.	53
Figura 20 - Concentração de FAN no mosto resfriado.	54
Figura 21 - Faixas de controle de temperatura dos fermentadores.....	55
Figura 22 - Concentração de O ₂ na cerveja após filtração.....	57
Figura 23 - Distribuição de frequência da temperatura de saída do pasteurizador envasadora de vidro.....	58
Figura 24 - Distribuição de frequência da temperatura de saída do pasteurizador envasadora de lata.....	59

Figura 25 - UP do pasteurizador da envasadora de vidro.	60
Figura 26 - UP do pasteurizador da envasadora de lata.	61
Figura 27 - Valor redox ao longo do produto A envasado em lata.	66
Figura 28 - Valor redox ao longo do produto A envasado em vidro, pela enchedora 1	67
Figura 29 - Valor redox do produto B envasado em vidro, pela enchedora 1.....	68
Figura 30 - Valor redox do produto C envasado em vidro.....	68
Figura 31 - Valor redox do produto A - Teste arriada a 56°C.	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resumo das principais enzimas durante a etapa de mosturação, temperaturas ótimas de trabalho e suas atuações.....	21
Tabela 2 - Checklist 1.....	40
Tabela 3 - Checklist 2.....	42
Tabela 4 - Coleta de amostras para análise redox.....	44
Tabela 5 - Relação entre o pH da solução, comprimento de onda e fator de correção.	45
Tabela 6 - Qualificação do valor redox encontrado.....	46
Tabela 7 - Resultados obtidos para o checklist 1.....	61
Tabela 8 - Resultados obtidos para o checklist 2.....	64

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	11
2.1. Cerveja	11
2.2. Matérias Primas	12
2.3. Produção de cerveja e impactos do processo na qualidade final	17
2.4. Vida de prateleira de cervejas	33
2.5. Oxidação e Danos causados pelo oxigênio no produto final	35
2.6. Análise Sensorial	37
3. MATERIAIS E MÉTODOS	39
3.1. Identificação dos principais defeitos	39
3.2. Aplicação de checklist	40
3.3. Análise do Potencial Redox	43
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	46
4.1. Identificação dos principais defeitos	46
4.2. Aplicação de checklist	47
4.3. Análise do Potencial Redox	65
4.4. Sugestões de melhorias de processo	69
5. CONCLUSÃO	70
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	71

1. INTRODUÇÃO

No Brasil a categoria de cerveja mais vendida é do tipo *lager*, cervejas em sua maioria produzidas em larga escala (EUROMONITOR, 2018). Segundo a Associação Brasileira da Indústria de Cerveja (2018), o Brasil produziu em 2018 cerca de 14,1 bilhões de litros de cerveja e o setor faturou, em 2017, R\$107 bilhões, movimentando 1,6% do PIB nacional.

Atualmente o mercado nacional de cerveja é dominado por duas multinacionais que competem fortemente no ramo de cervejas não artesanais. Essas duas empresas abrangem uma ampla gama de marcas e alcançam várias fatias do mercado, desde cervejas consideradas *premium* até cervejas de menor valor agregado (BAUTZER; BLENKINSOP; REUTERS, 2018).

Apesar de o majoritário volume de produção e conseqüentemente de consumo de cerveja no país ser de cervejas ditas não artesanais, nos dias de hoje tem-se relacionado muito fortemente o conceito de qualidade a cervejas com alto valor agregado, puro malte e especiais (MELO FILHO, 2018). No entanto, o conceito de qualidade é muito abrangente, e significa coisas diferentes para pessoas diferentes.

Uma cerveja de alta qualidade tem diferentes significados dependendo do consumidor, e é diferente do conceito de qualidade aplicado na indústria. Para o cliente, a medida da qualidade provavelmente está ligada ao seu nível de satisfação com a cerveja. Essa satisfação vem da percepção do sabor, do modo como percebe a cerveja no copo e, ao valor monetário pago pela cerveja. De fato, existem muitos fatores que levam à decisão do consumidor sobre a qualidade de uma cerveja específica, e sendo assim, uma cerveja que uma pessoa acredita ser de alta qualidade pode ser considerada o contrário por outra pessoa. O sommelier ou o juiz especialista de cerveja pode considerar uma cerveja de alta qualidade aquela que estiver em conformidade com um estilo específico de cerveja, e se a mesma não atender aos critérios pré-estabelecidos pelos guias de estilo, pode ser considerada de baixa qualidade (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Industrialmente, a qualidade do produto está diretamente ligada a padronização de processos e entregas, atendendo a requisitos definidos e visando satisfazer uma necessidade do comprador. A confiabilidade e a segurança do consumidor são premissas de um sistema de gestão da qualidade (OLIVEIRA; HU, 2018). Dessa forma, dentro de um sistema fabril de produção de alimentos e bebidas, os parâmetros

físico-químicos, microbiológicos e sensoriais do produto são constantemente analisados e verificados, pois a credibilidade da empresa perante o mercado é de suma importância. Casos como do achocolatado Toddyinho em 2011, abalam a imagem da marca, a confiança do consumidor e geram prejuízos econômicos (SILVA; NASCENTES, 2019).

Através da aplicação do conceito de melhoria contínua, as empresas buscam aprimorar seus processos produtivos, visando mitigar os erros, elevar a qualidade do produto final e gerar ganhos econômicos (LIZARELLI; TOLEDO, 2016). Tendo em vista sempre manter a qualidade sensorial das cervejas entregues ao mercado, o presente trabalho faz parte de um projeto desenvolvido dentro de uma planta de produção de cerveja em larga escala.

O objetivo geral deste estudo é analisar e identificar as principais causas de defeitos sensoriais nas cervejas produzidas.

Os objetivos específicos são:

- Identificar os defeitos sensoriais recorrentes das cervejas produzidas em larga escala;
- Determinar possíveis falhas do processo de produção que causem os defeitos;
- Analisar quimicamente amostras de cerveja para identificar o foco principal das falhas e objetivar as tratativas.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Cerveja

Segundo a Instrução Normativa nº65 de 2019, cerveja é a bebida obtida através da cocção do mosto de cevada maltada, ou de extrato de malte, adicionado de lúpulo e fermentado por levedura cervejeira. O malte ou o extrato de malte podem ser substituídos em até 45 % - em peso em relação ao extrato primitivo - por adjuntos cervejeiros provenientes de outros cereais, e em até 25 % por outras fontes de carboidratos (BRASIL, 2019).

Em 1516, Guilherme IV, duque da Baviera - Alemanha, assinou a mais conhecida lei sobre cerveja, a *Reinheitsgebot*, conhecida popularmente como Lei da

Pureza Alemã. Essa lei, ainda aplicada na escola alemã de cerveja tinha como premissa a utilização de somente três ingredientes: cevada, lúpulo e água. Naquela época ainda não se tinha conhecimento que a cerveja era fermentada pela ação de microrganismos e das técnicas de produção de malte, por essa razão a lei promulgada há mais de quinhentos anos era baseada nesses três ingredientes (BELTRAMELLI, 2014).

Nos dias atuais, os quatro ingredientes primordiais da cerveja são: água, malte, lúpulo e levedura. Apesar disso, a categoria de cerveja mais comercializada no mundo, e também no Brasil, é a *Standard American Beer*, a qual engloba o estilo American Lager, no qual se encaixa a maior parte das cervejas de larga escala produzidas no Brasil (MADSEN; WU, 2016 ; STRONG; ENGLAND, 2015). Esse estilo remonta a uma cerveja leve, clara, com perfil de aroma neutro, baixo amargor, refrescante e deve ser servida a baixas temperaturas (STRONG; ENGLAND, 2015). Essas características são obtidas, muitas vezes, utilizando adjuntos cervejeiros durante o processo de fabricação, que auxiliam no baixo corpo da cerveja.

Compreender as matérias primas principais da cerveja é importante, pois as características físico e químicas do produto final são provenientes das particularidades de cada uma.

2.2. Matérias Primas

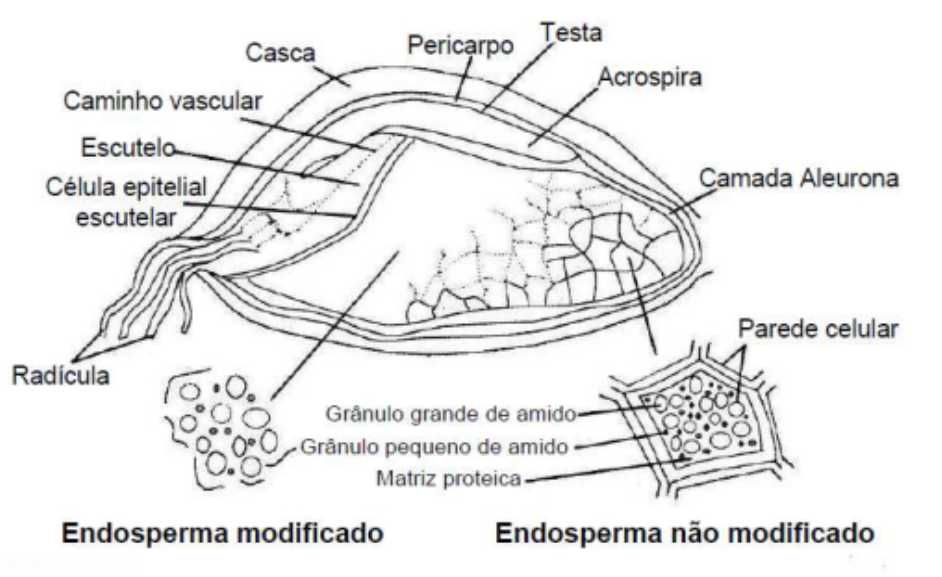
Malte

O malte é um cereal que passou pelo processo de malteação, que consiste basicamente de uma etapa inicial de umidificação dos grãos, denominada maceração, seguido de etapa controlada de germinação, onde se ativa o sistema enzimático do grão, que irá agir sobre a reserva de amido do mesmo para fornecer carbono e energia para o desenvolvimento do embrião. Após um período que pode variar de 5 a 6 dias de germinação, o processo é cessado através da secagem (BRIGGS, 1998).

Durante a germinação, o amido presente no endosperma do grão é modificado, tornando-se após o processo de secagem friável, ou seja, de fácil fragmentação possibilitando, dessa forma uma fácil moagem dos grãos para a fabricação de cerveja, ao contrário dos grãos não modificados de cevada ou outro cereal. Os estágios da modificação física passam pela degradação progressiva das paredes celulares do

endosperma amiláceo, que envolve a decomposição dos β -glucanos e pentosanas, seguidos pela degradação parcial da proteína presente dentro das células e a decomposição parcial ou completa de alguns dos pequenos grânulos de amido. Durante as transformações do grão é possível notar o crescimento das radículas, que após a secagem serão retiradas por conferirem sabor desagradável à cerveja (BRIGGS et al., 2004). Na Figura 1, é possível visualizar a estrutura do grão de cevada durante o processo de germinação, bem como a diferença do endosperma modificado e não modificado.

Figura 1 - Estrutura do grão de cevada durante o processo de germinação.



Fonte: Schüssler (2019)

A camada de aleurona é a principal região onde as enzimas são formadas durante os processos de transformações bioquímicas, a exemplo das β -glucanases, proteases e α -amilases que são liberadas no endosperma durante a germinação. Assim, como resultado final tem-se uma diminuição na concentração de β -glucanos e amido, e conseqüentemente um aumento na quantidade de açúcares simples e também de aminoácidos livres (LIZARAZO, 2003).

O processo de fabricação de malte simplificada, nada mais é do que dar as condições necessárias para os grãos gerarem uma nova planta. Porém, esse processo é interrompido na etapa de secagem, onde além de reduzir a umidade do malte para em torno de 4 %, também ocorrem reações importantes para os sabores e aromas característicos do malte, a exemplo da Reação de Maillard, que além de

produzir melanoidinas também produz compostos aromáticos que remontam caramelo, café, torrado, açúcar queimado (HUGHES, 2009).

Lúpulo

O lúpulo (*Humulus lupulus L.*) é um ingrediente-chave na cerveja, que determina seu sabor, aroma, contribui para a estabilidade coloidal e para a estabilidade da espuma. Pode ser usado em momentos diferentes do processo, com objetivos diferentes. No início da fervura, o lúpulo é usado principalmente para dar amargor à cerveja, já na maturação, o objetivo é sabor e aroma. O lúpulo é uma planta trepadeira e dioica, ou seja, possui plantas masculinas e femininas. O interesse pelas cervejarias reside nas flores femininas, que são ricas em glândulas amarelas (glândulas de lupulina) que contêm resinas, óleos essenciais, compostos fenólicos, entre outras substâncias, que conferem sabor amargo e aroma à cerveja, além de contribuir para a estabilidade coloidal e microbiológica (DRAGONE, G. SILVA, JBA 2010).

As partes mais importantes do lúpulo são as resinas, os óleos essenciais, polifenóis e sais minerais. A resina é composta de α -ácidos (humulonas) e β -ácidos (lupulonas), sendo o primeiro pouco solúvel em água, sofrendo isomerização durante a ebulição do mosto, tornando-se iso- α -ácido, mais solúvel em água e responsável pelo amargor da cerveja. Conseqüentemente, quanto maior o período de ebulição, maior a conversão de α -ácidos em iso- α -ácidos e maior a amargor da cerveja. Os óleos essenciais adicionam aroma ao mosto, mas devido à sua volatilidade, ocorre uma perda de 96 a 98% durante o processo de ebulição (BARTH, 2013). Por esse motivo, se o objetivo da cerveja é ter as características aromáticas do lúpulo, ele pode ser adicionado ao final da fervura ou durante a maturação.

Água

A água é o ingrediente mais abundante da composição da cerveja, e por essa razão a qualidade e as características da água utilizada na fabricação de cerveja são tão importantes. Quatro propriedades químicas da água são relevantes e impactam

nas características finais da cerveja, são elas: pH, dureza, alcalinidade / alcalinidade residual e os íons presentes - íons de cálcio, magnésio, ferro, cloro, cobre, zinco, etc.

O pH é um fator importante principalmente na etapa de mosturação e de fervura, e influência na etapa de filtração do mosto e na fermentação. A alcalinidade é a capacidade da água em neutralizar os íons de hidrogênio, ou seja, expressa a capacidade tamponante da água. Geralmente a alcalinidade também é apresentada em termos de alcalinidade residual, que expressa o resultado entre os íons da água com propriedade de diminuição do pH e os íons com propriedade de aumento de pH. A dureza da água é a concentração total de sais de cálcio e magnésio presentes, porém é geralmente expressa em ppm de CaCO_3 .

Durante a fase de mostura, a faixa de pH ideal é de 5,4 a 5,6, pois nesse intervalo a atividade das enzimas de interesse são otimizadas. Geralmente a água apresenta um pH superior e, dessa forma, é necessário corrigi-lo utilizando ácidos alimentícios, como ácido fosfórico ou ácido láctico. Além do pH, é comum realizar correções dos íons presentes no mosto, como por exemplo adição de cálcio – cofator enzimático e favorece a coagulação proteica durante a fervura – zinco – relacionado a síntese proteica durante a multiplicação celular da levedura – e a remoção do cloro presente na água.

Muitas receitas clássicas de cerveja são baseadas na água dos locais de origem, a exemplo das clássicas cervejas escuras inglesas. Assim, quando há a intenção de reproduzir algum estilo de cerveja fielmente, além de utilizar o malte, o lúpulo e a levedura corretos, é necessário fazer correções na água, para que a mesma tenha as características similares às do local de origem da receita (PALMER; KAMINSKI, 2013).

Levedura

São organismos vivos que tem a capacidade de alternar a produção de energia entre respiração - na presença de oxigênio - e fermentação - na ausência de oxigênio. A levedura desempenha um papel vital na produção de todas as bebidas alcoólicas, pois converte glicose em etanol e gás carbônico, produzindo nesse processo aromas e sabores característicos (KUNZE, 1999). Assim, o caráter final da cerveja dependerá da composição do mosto e da cepa de levedura utilizada.

É possível dividir o fermento para produção de cerveja em duas categorias: leveduras de alta e baixa fermentação.

Saccharomyces cerevisiae: trabalham em temperaturas mais altas - 14 a 26 °C - e, são tradicionalmente usados para a fabricação de cervejas tipo *ales* (alta fermentação). Durante o pico da fermentação, onde ocorre a maior produção de CO₂, devido a morfologia da célula, a grande quantidade de gás carbônico produzido consegue manter a levedura em suspensão no topo do fermentador (alto Kräusen). Geralmente produzem mais subprodutos durante a fermentação, resultando em cervejas diversas em relação ao perfil aromático e ao sabor.

Saccharomyces carlsbergensis: Essas cepas de leveduras fermentam a temperaturas mais baixas - 6 a 16 °C - são tradicionalmente usadas para cervejas do tipo *lager* (baixa fermentação) e decantam no fundo do fermentador ao final da fermentação. Regularmente produzem menor quantidade de subprodutos durante a fermentação, resultando em cervejas com características organolépticas provenientes principalmente das matérias-primas.

Existem muitas variedades diferentes de leveduras para cerveja, e algumas cervejas são fabricadas com uma linhagem de levedura única e outras são fermentadas usando linhagens mistas. É essencial o uso de uma levedura saudável para a fermentação, e comumente em cervejarias a levedura é coletada no final de uma fermentação para reutilização subsequente em uma próxima fermentação (PARKER, 2012 ; BRIGGS et al., 2004).

Adjuntos

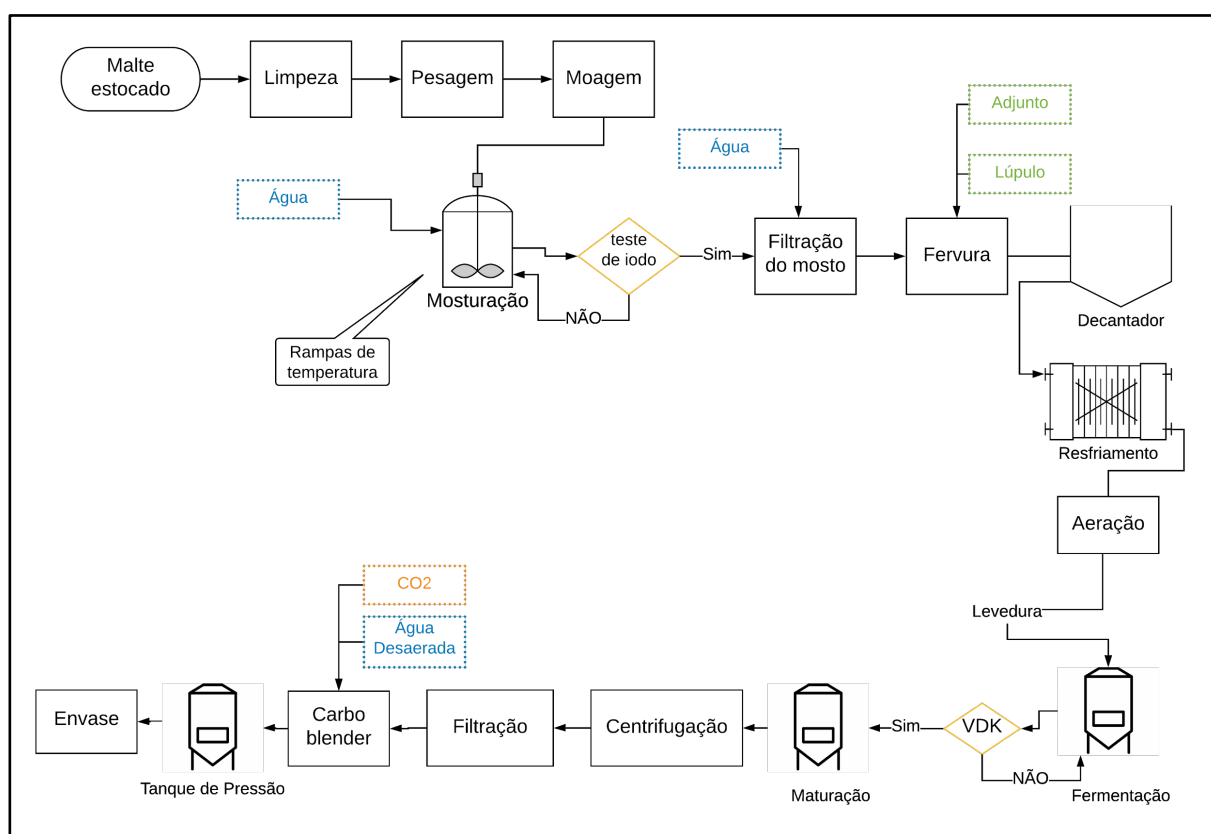
Adjuntos são materiais, exceto malte, que são fontes de extrato. São utilizados porque produzem extratos mais baratos que o malte e/ou conferem características desejáveis para o produto. Adjuntos podem ser cereais ou grãos que não passaram pelo processo de malteação, xarope de glicose ou xarope de maltose. A grande diferença entre os adjuntos é que quando são utilizados grãos e/ou cereais é necessário converter o amido presente no endosperma em açúcares fermentescíveis, através do uso de calor e enzimas. Já quando se utiliza xarope de maltose, por exemplo, é necessário somente solubilizar o mesmo no mosto, por isso são adicionados durante o processo de fervura (BRIGGS et al., 2004).

O uso de adjuntos em forma de xarope permite produzir mosto com alta concentração de extrato, otimizando a fermentação e maturação, produzindo maior quantidade de produto final utilizando o mesmo equipamento.

2.3. Produção de cerveja e impactos do processo na qualidade final

O processo produtivo industrial de cerveja pode ser dividido em cinco etapas principais: beneficiamento do malte; brassagem; fermentação / maturação; filtração; envase. O fluxograma do processo de fabricação de cerveja pode ser visualizado na Figura 2.

Figura 2 - Processo de produção de cerveja em larga escala.



Fonte: Elaborado pela autora.

Moagem

O processo produtivo de cerveja começa com a moagem do malte, porém antes dessa etapa é necessário retirar as sujidades que podem estar presentes devido a estocagem. Após a limpeza, o malte é moído, sendo que o objetivo da moagem é quebrar o grão para expor o endosperma que foi modificado durante o processo de

malteação. A moagem pode ser feita em moinho do tipo rolos ou martelo, e a escolha e subsequentemente a granulometria é determinada pelo sistema de filtração do mosto utilizado posteriormente.

Quando se utiliza moinho tipo rolos, a moagem é realizada de maneira a minimizar a ruptura do material da casca, pois os fragmentos da casca ajudam na clarificação do mosto, e se utiliza do sistema de filtração conhecido como tina filtro. Já o moinho martelo, faz com que a moagem seja mais intensa, transformando o grão em farinha, e a filtração do mosto é realizada em filtro de placas, assim o meio filtrante são as membranas presentes neste equipamento e não as cascas.

Quanto mais finas as partículas, mais rapidamente elas se hidratam, e mais rapidamente as substâncias solúveis se dissolvem. Além disso, as enzimas têm acesso mais rápido aos seus substratos, pois a superfície de contato é proporcionalmente maior, facilitando o acesso (BRIGGS et al., 2004).

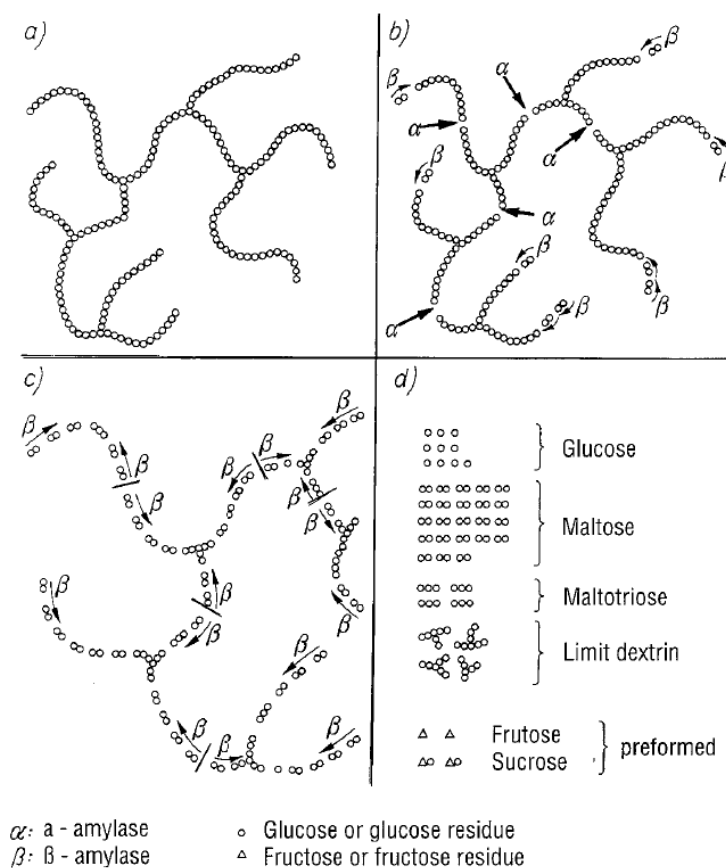
Mosturação

Após a moagem, inicia-se a fase de mosturação, onde água e malte moído são misturados, a temperatura controlada, objetivando hidrolisar o amido em açúcares fermentescíveis; dissolver compostos inorgânicos essenciais para a atuação enzimática; e hidrólise balanceada de proteínas. Para tanto, a maioria das reações durante a mostura são dependentes da atividade enzimática, por esse motivo, geralmente são feitas rampas de aquecimento da mistura com o objetivo de otimizar a ação de alguma enzima específica (BRIGGS et al., 2004).

As cadeias de amido presentes na cevada são formadas por ligações entre amiloses - ligações α -1,4 lineares entre glicoses - e amilopectinas - ligações lineares α -1,4 entre glicoses com ramificações formadas por ligações α -1,6. Para que ocorra a sacarificação do amido, o primeiro passo é a sua gelatinização, onde os grânulos de amido em contato com água quente, sofrem inchamento e aumentam de tamanho, elevando a viscosidade do meio. Cada cereal tem uma temperatura de gelatinização, sendo que para a cevada em presença de α -amilase, a temperatura ótima é em torno de 60 °C. A etapa subsequente é a solubilização das cadeias de amilose e amilopectina, ao serem rapidamente quebradas em cadeias menores pela ação da α -amilase, diminuindo assim a viscosidade do meio. A sacarificação, por sua vez consiste na hidrólise final do amido em maltose e dextrinas limites (KUNZE, 1999). Na

Figura 3 pode-se visualizar a sacarificação do amido - a) cadeia de amido não hidrolisada; b) início da degradação das cadeias, α -amilase atuando como endoenzima e a β -amilase como exo-enzima; c) representação da atuação da β -amilase, formando dextrinas.

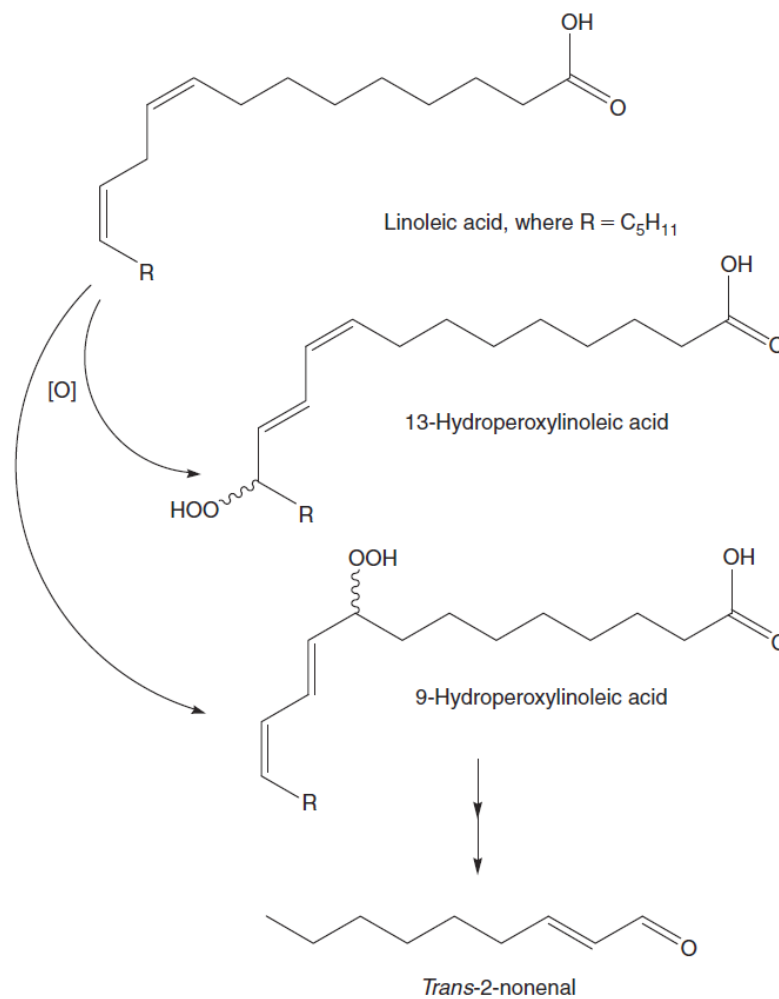
Figura 3 - Degradação do amido durante a mosturação.



Fonte: Kunze (1999)

Durante a mosturação, outra cadeia de reações chave é o desenvolvimento de produtos de oxidação lipídica. O conjunto mais notável de reações é o que começa com a oxidação do ácido linoleico para gerar os hidroperóxidos correspondentes, como ilustrado na Figura 4. Segundo Bravi et al. (2012), a concentração de lipídios no malte depende da espécie de cevada utilizada para a germinação, variando entre 1,48 a 1,88 g/100g, sendo que o ácido linoleico corresponde a mais de 50 % da parcela de lipídeos em todas as espécies avaliadas. Ao final da cadeia de reações, o 9-hidroperóxido se degrada para formar trans-2-nonenal que é altamente flavorativo. Este composto, com um aroma distinto de papelão é perceptível em níveis abaixo de ppb.

Figura 4 - A oxidação induzida por lipoxigenase resultando na degradação dos lipídios do malte.



Fonte: Hughes (2009)

Enquanto cerca de 95 % do amido do malte será solubilizado ao final da mosturação, somente de 30 % a 40 % das proteínas terão o mesmo resultado. Os principais grupos de enzimas envolvidas na quebra das proteínas do malte são as endoproteases e as exopeptidases. Os produtos protéicos provenientes da decomposição proteolítica são: aminoácidos livres - traduzido do termo em inglês *free amino nitrogen* (FAN) - peptídeos e proteínas degradadas.

As proteínas e aminoácidos relacionados desempenham um papel fundamental na formação e estabilização da espuma da cerveja, também tem uma influência positiva no sabor e são essenciais para a nutrição e formação da parede celular da levedura. No contraponto, as proteínas oriundas do malte e ricas no aminoácido prolina exercem um papel importante na turbidez da cerveja, ao

interagirem com polifenóis provenientes tanto do malte quanto do lúpulo, formando colóides que são percebidos visualmente. Em resumo, a função das enzimas proteolíticas durante a mostura é hidrolisar as proteínas de cadeias longas, tornando as moléculas de amido mais acessíveis ao ataque enzimático e para produzir níveis suficientes de aminoácidos e peptídeos de pequeno tamanho para a fermentação. Atualmente, dado o grau de modificação dos maltes a maior parte da proteólise já ocorreu durante a maltagem (PHILIPPS-WIEMANN, 2018).

Outro grupo importante de enzimas que atuam durante a mostura são as β -glucanases, que atuam hidrolisando β -glucanos responsáveis por aumentar a viscosidade do mosto. A Tabela 1 apresenta um resumo dos grupos enzimáticos que atuam durante a mostura.

Tabela 1 - Resumo das principais enzimas durante a etapa de mosturação, temperaturas ótimas de trabalho e suas atuações.

Enzima	Atuação	Temperatura ótima	Fonte
α -amilase	Quebra ligações α 1,4 das cadeias amiláceas, formando dextrinas	72-75 °C	Kunze (1999)
β -amilase	Quebra ligações α 1,4 das cadeias amiláceas, formando maltose	60-65 °C	Kunze (1999)
β -glucanase	Hidrolisa β -glucanos de alto peso molecular	45-50 °C	Kunze (1999)
Dextrinase	Quebra ligações α 1,6 das cadeias amiláceas, formando dextrinas	55-60 °C	Kunze (1999)
Endopeptidases	Hidrolisam as cadeias de aminoácidos a partir do centro.	50-60 °C	Philipps-Wiemann (2018)

Exopeptidases	Hidrolisam as cadeias de aminoácidos a partir da extremidade.	40-50 °C	Philipps-Wiemann (2018)
Lipoxigenases	Hidrólise de ácidos graxos	47 °C	Kobayashi et al. (1993)

Ao final da mostura é realizado o teste do iodo, forma prática de visualizar se ocorreu a sacarificação do amido do malte, pois o iodo é capaz de se complexar com as cadeias de amilose e amilopectina formando uma coloração azulada (DAMODARAN; PARKIN, 2018). Na ausência de amido, a coloração da reação é amarela alaranjada, indicando a conversão completa do amido em açúcares.

Filtração/Clarificação do mosto

Nessa etapa, o objetivo é separar o líquido açucarado formado na etapa de mostura das partes insolúveis. Se a moagem foi realizada em moinho tipo rolos, e as cascas remanescentes serão usadas como meio filtrante, essa etapa é denominada clarificação. Neste caso, o mosto será transferido para uma tina de clarificação, onde ocorrerá a separação sólido - líquido através de um leito formado pelas partes insolúveis do malte. O mosto é recirculado para acomodar a camada filtrante e conseqüentemente diminuir a turbidez do mosto na saída. Porém, se a moagem é realizada em moinho martelo, o mosto será transferido para um filtro de placas, onde o meio filtrante são as membranas do sistema de filtração. Nesse caso não é necessário a recirculação do mosto (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Nos dois procedimentos, a sistematização é a mesma, em um primeiro momento é extraído o mosto primário, que consiste em um líquido rico em proteínas, aminoácidos livres, cátions metálicos (como cálcio, magnésio e outros) e uma mistura de açúcares fermentescíveis e não fermentescíveis. Porém, uma quantidade significativa de açúcar fica retida na parte insolúvel, por esse motivo, é realizada uma lavagem com água em torno de 78 °C, com o objetivo de extrair o açúcar remanescente (BRIGGS et al., 2004).

O ideal é que a quantidade de água de lavagem seja controlada, pois se não o mosto final ficará muito diluído, e também compostos indesejáveis como taninos podem ser extraídos.

Fervura e Decantação

Após a etapa de filtração/clarificação o mosto é enviado para a fervura. Na fervura ocorrem várias transformações, incluindo:

1. Inativação das enzimas do malte;

Na temperatura de fervura - 100 °C - a taxa de inativação enzimática é alta, de modo que após o final da fervura a atividade enzimática é praticamente nula, e a composição do mosto não sofre mais alterações dessa natureza (BRIGGS et al., 2004).

2. Esterilização do mosto;

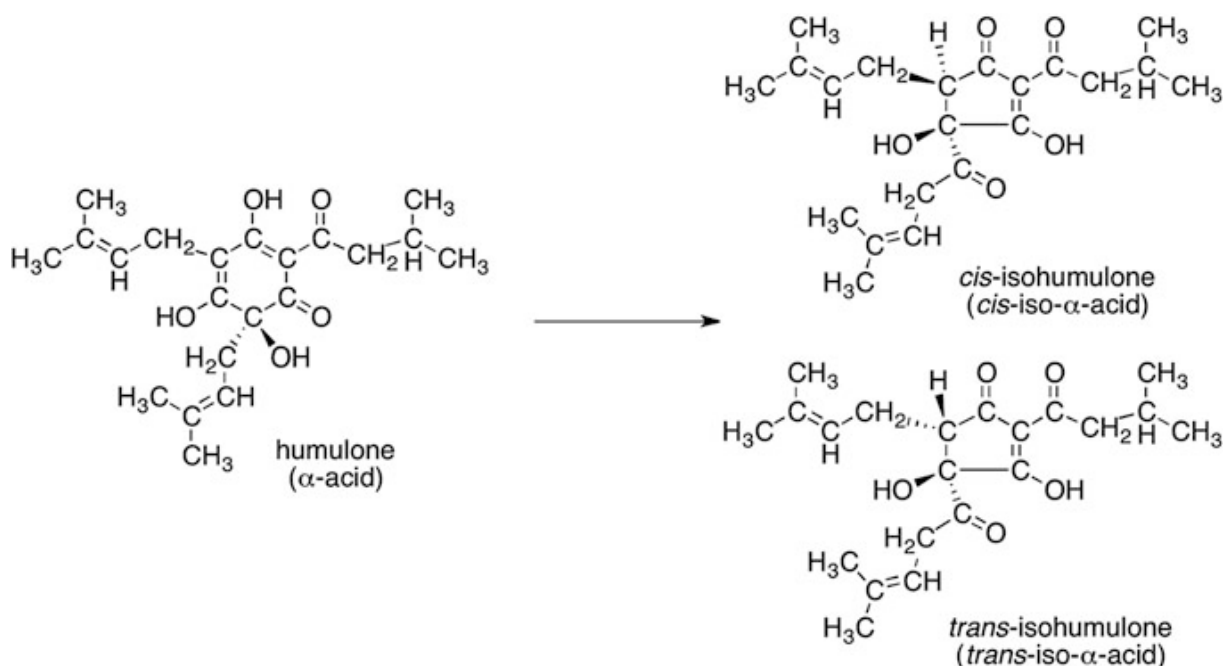
Poucos microrganismos sobrevivem a temperaturas de 100 °C. As exceções são as bactérias termofílicas, principalmente *Bacillus sp.*, os quais formam esporos que sobrevivem à fervura do mosto. No entanto, a cerveja padrão é um meio que não favorece o crescimento desses microrganismos (BRIGGS et al., 2004).

3. Extração e isomerização de compostos derivados de lúpulo;

O lúpulo é adicionado durante a fervura do mosto, aproximadamente 10 minutos após o seu início, pois dessa forma os compostos de interesse não serão arrastados para o fundo da tina de fervura devido a coagulação proteica.

Durante a fervura, a humulona presente no lúpulo sofre sua isomerização: o anel de seis carbonos se abre e a molécula se rearranja para uma conformação mais estável. O anel fecha, porém em uma conformação de cinco carbonos. O resultado é a formação de cis-isohumulona e trans-isohumulona aproximadamente na proporção de 2:1, dependendo das condições de ebulição do mosto, conforme ilustrado na Figura 5. Os iso-alfa ácidos são intensamente amargos e muito mais solúveis no mosto do que os alfa ácidos. Infelizmente, existe um limite para sua solubilidade que depende da quantidade de maltose, sacarose e outros açúcares no mosto, e da intensidade da fervura (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Figura 5 - Isomerização da humulona presente no lúpulo.



Fonte: Mosher e Trantham (2017).

4. Coagulação proteica;

A remoção de algumas proteínas de alto peso molecular é um dos objetivos da fervura do mosto. A coagulação insuficiente dessas proteínas pode afetar os processos de troca entre as células de levedura e o meio circundante (bloqueio da membrana), levando a uma queda insuficiente do pH na fermentação. O excesso de proteína pode levar a problemas de clarificação na cerveja final. Sob boas condições de ebulição, por exemplo, uma fervura vigorosa sob pressão atmosférica por pelo menos uma hora, ocorre a desnaturação e a subsequente coagulação das proteínas, formando flocos que podem ser removidos no decantador (BRIGGS et al., 2004).

5. Formação de complexos entre proteínas e polifenóis;

Durante a fervura, proteínas e taninos formam complexos taninos-proteicos de alto peso molecular, que tendem a decantar, facilitando a separação desses compostos potencialmente formadores de turbidez do mosto (KUNZE, 1999).

6. Formação de complexos de sabor e cor;

O mosto é uma solução que contém açúcares, proteínas e aminoácidos que podem sofrer reações, incluindo a Reação de Maillard. Na ebulição, essas reações

produzem moléculas orgânicas com sabores semelhantes a caramelo, pão torrado e outros sabores profundos e ricos, derivados das melanoidinas. Além disso, as reações de Maillard também produzem moléculas de cor. Ao final da fervura, geralmente ocorre uma melhora no sabor e um escurecimento do mosto (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

7. Solubilização de adjuntos líquidos;

Durante a fervura podem ser adicionados adjuntos líquidos, como maltose. Dessa forma é possível aumentar a concentração de açúcar presente no mosto e realizar fermentação *high gravity*.

8. Ajuste no pH do mosto;

Para auxiliar na coagulação das proteínas, pode-se ajustar o pH do mosto para o ponto isoelétrico - 5,1 a 5,3 - das proteínas presentes no mosto. Atingir o ponto isoelétrico auxilia na coagulação proteica pois representa o equilíbrio entre as cargas negativas e positivas dos grupamentos iônicos de uma proteína (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

9. Concentração do mosto através da evaporação da água;

Após a lavagem do bagaço, a concentração de açúcares presentes no mosto diminui. A ebulição evapora o excedente de água, concentrando a solução (MOSHER; TRANTHAM, 2017). É possível calcular a quantidade de água evaporada a partir do cálculo conhecido como taxa de evaporação, que consiste na porcentagem entre o volume inicial de mosto e o volume final.

10. Evaporação de compostos voláteis.

O dimetil sulfeto (DMS) resulta da decomposição da S-metilmetionina (SMM) - encontrado naturalmente no malte - sob condições ácidas aquosas. Esta pequena molécula orgânica tem um limiar de detecção sensorial bastante baixo e, infelizmente, tem um gosto semelhante ao milho enlatado, ou vegetais cozidos. Embora para alguns estilos de cerveja seja aceitável um pouco de DMS, não é um sabor muito agradável em todos os estilos. A fervura do mosto faz com que a SMM seja convertida a DMS, que por ser um composto volátil, é evaporado durante a mesma (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Além da evaporação de DMS, durante a fervura também ocorre a evaporação de compostos aromáticos provenientes do lúpulo.

Ao final da fervura, faz-se a separação do trub quente - aglomerado de proteínas, polifenóis, resíduos de lúpulo, e outras moléculas que sofreram decantação - geralmente com o auxílio da força centrípeta. No whirlpool, o bombeamento tangencial do mosto produz um movimento rotacional, que provoca a sedimentação do trub quente no centro do equipamento. O tempo de repouso para a decantação do trub quente pode variar entre 15 e 30 min, dependendo da eficiência do bombeamento e do equipamento empregado (KUNZE, 1999).

Resfriamento e Aeração

Após a remoção do trub quente, o próximo passo no processo é a fermentação. No entanto, isso ocorre a uma temperatura muito mais baixa que a de fervura. Para cervejas tipo *lager*, as temperaturas necessárias para o início da fermentação estão na faixa de 9 a 12 °C. Esse resfriamento deve ocorrer de forma rápida e asséptica, para minimizar qualquer contaminação do mosto (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Contudo, a velocidade de resfriamento não pode ser tão elevada ao ponto que perturbe o depósito de trub quente formado no fundo no decantador. Assim, é importante encontrar o equilíbrio entre o resfriamento rápido e a estabilidade do trub.

Geralmente são utilizados trocadores de calor tipo placas para o resfriamento, onde o mosto troca calor com um líquido refrigerante. Esse líquido pode ser água gelada, que posteriormente pode ser utilizada na mostura. Assim, é possível economizar energia de aquecimento da água necessária na mosturação (KUNZE, 1999).

Após o resfriamento, a aeração do mosto é necessária, porém se feita em altas temperaturas, resulta na oxidação do mosto, e quanto maior a temperatura menor será a solubilização de oxigênio. A levedura precisa de um meio aeróbico no início da fermentação, pois sem a presença de oxigênio o resultado é a baixa taxa de fermentação, atenuação incompleta dos açúcares e baixa taxa de multiplicação. O oxigênio é necessário na fermentação pois permite que o fermento sintetize esteróis e ácidos graxos insaturados. Esses lipídios são componentes essenciais das membranas celulares (BOULTON; QUAIN, 2001).

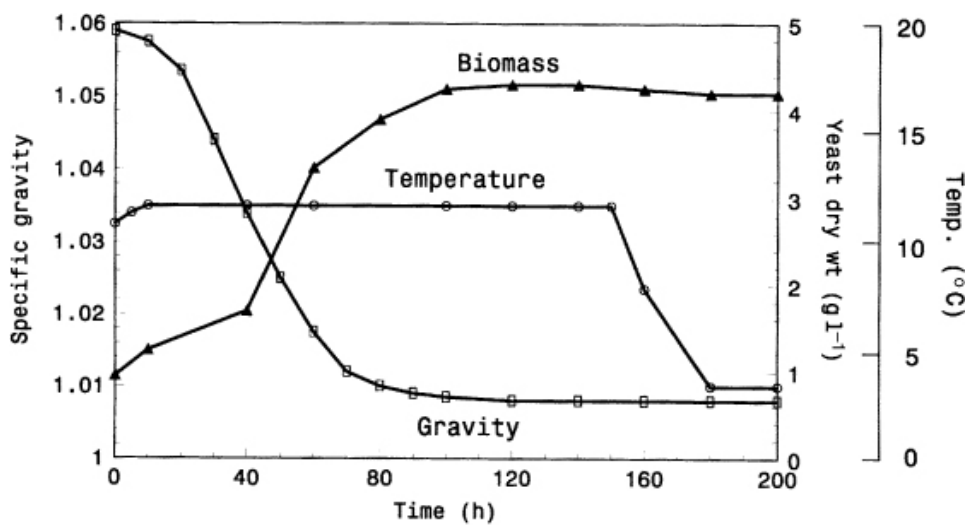
Fermentação e Maturação

O processo de fermentação consiste na conversão dos açúcares fermentescíveis formados durante a fase de mosturação em etanol, CO₂ e outros compostos secundários que dão características específicas para a cerveja.

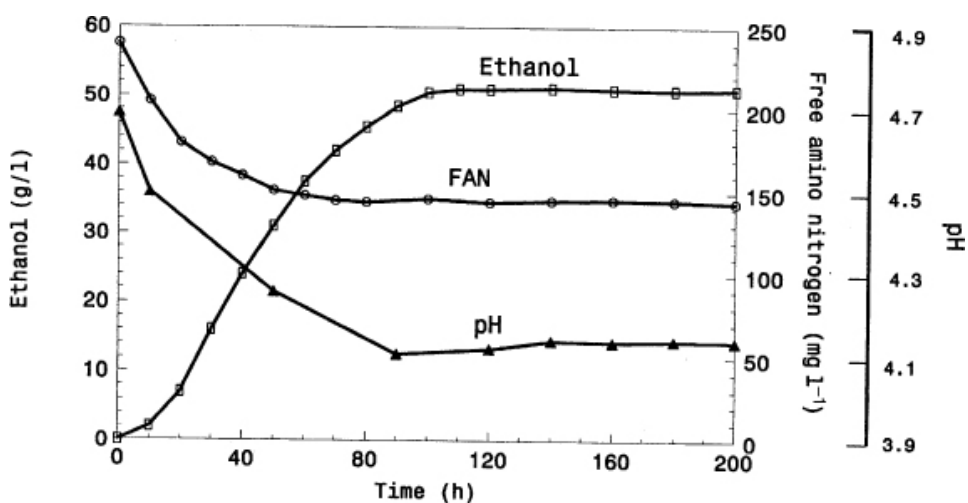
Geralmente a fermentação para cervejas tipo *lager* inicia com temperatura inicial de 11 °C, podendo subir para 12 °C e comumente é mantida neste valor durante a primária fase. O início da fermentação é caracterizado pela fase *lag*, que pode durar de 12 a 24 h. Durante esse período, há pouca ou nenhuma alteração na concentração de açúcares, na contagem de leveduras e na concentração de etanol. No entanto, a concentração de oxigênio diminuiu rapidamente, caindo para níveis indetectáveis nas primeiras 24 h. A concentração de FAN começa a cair assim que a fermentação se inicia e é acompanhada por um rápido declínio no pH.

Após a fase *lag*, para uma fermentação em boas condições, o declínio na concentração de açúcares é inversamente proporcional ao aumento de biomassa, etanol e levedura. Durante a fase de fermentação ativa, a biomassa total de leveduras e a contagem de leveduras suspensas são coincidentes. Porém, a contagem máxima de leveduras suspensas, geralmente é atingida ao final da fermentação, depois esse parâmetro decresce com a desaceleração na taxa de fermentação, devido a falta de açúcares. Geralmente, o declínio do valor de FAN e de pH são espelhados, e atingem valores mínimos após cerca de 80 h do início da fermentação (BOULTON; QUAIN, 2001). As Figuras 6 (a), (b) e (c) ilustram graficamente esses fatores durante a fermentação.

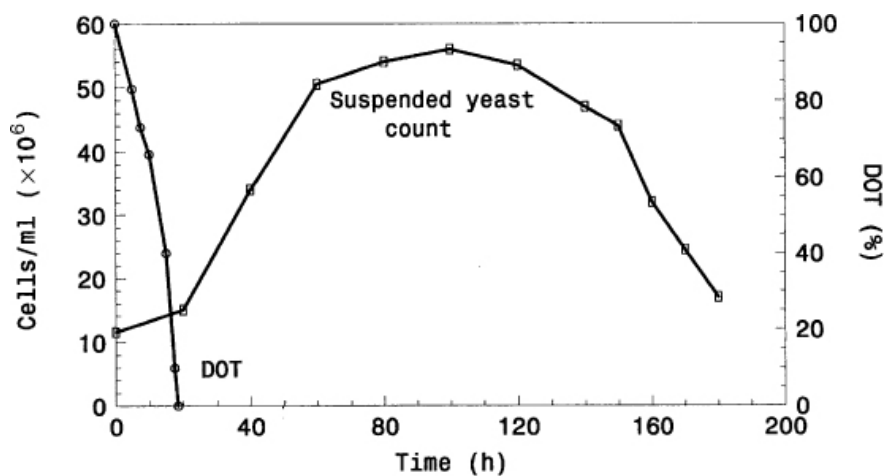
Figura 6 - Fatores que são alterados durante o processo de fermentação high-gravity.



(a)



(b)



(c)

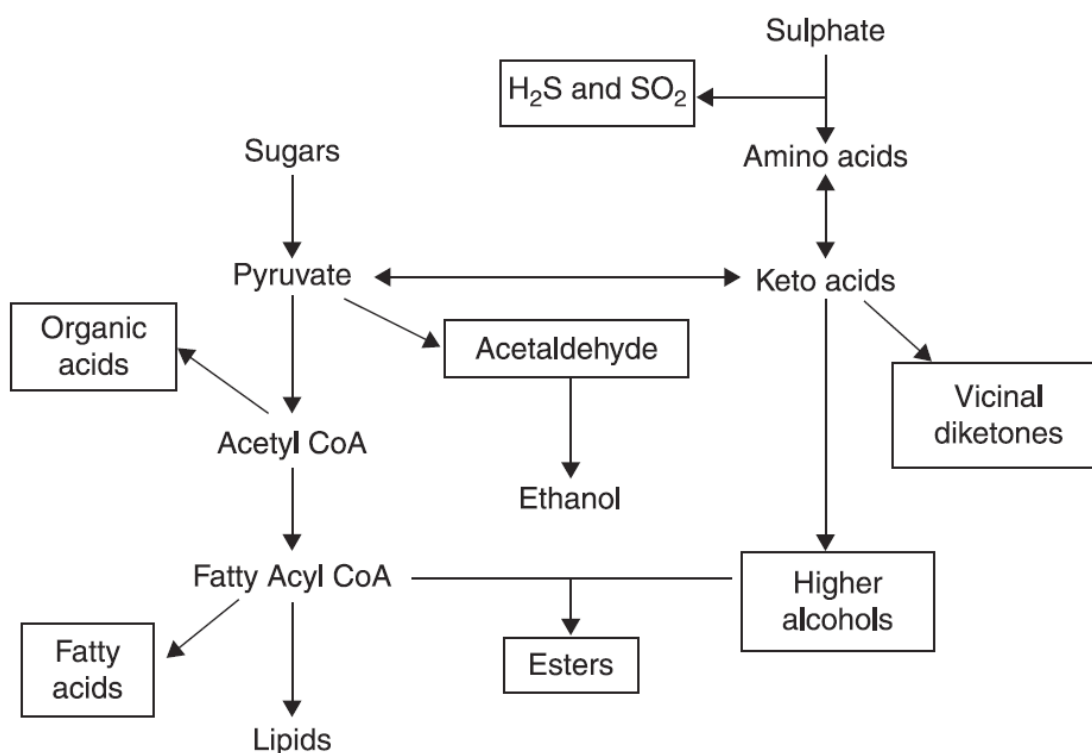
Fonte: Boulton e Quain (2001).

Os dois principais produtos da fermentação são etanol e dióxido de carbono, no entanto, não são os únicos produtos da fermentação. Uma matriz inteira de compostos voláteis é formada, cujo perfil depende da cepa de levedura utilizada, do controle da temperatura durante a fermentação, das matérias primas empregadas durante a brassagem, entre outros. Os ésteres são o grupo mais importante de componentes ativos de aroma e sabor derivados da fermentação. Eles conferem aromas frutados, florais e semelhantes a solvente às cervejas. Os ésteres mais importantes incluem acetato de etila (solvente, frutado), acetato de isoamila (doce, banana), acetato de isobutila (banana, frutado), caproato de etila (maçã) e acetato de 2-feniletil (rosa, mel) (HUGHES, 2009).

Outro grupo importante relacionado ao sabor e aroma, são as dicetonas vicinais, que são um subproduto do metabolismo de aminoácidos. O mais importante deles é o diacetil, que possui um sabor intenso de manteiga. O diacetil é produzido em grandes quantidades por leveduras durante a fermentação, mas é reabsorvido pela levedura e convertido em substâncias menos ativas. Ao final da fermentação é comum deixar a temperatura da fermentação aumentar 2 - 3 °C naturalmente, para facilitar a reabsorção do diacetil a níveis abaixo do limiar de sabor de 0,15 mg/L (PARKER, 2012).

A levedura também produz muitos compostos diferentes contendo enxofre durante a fermentação. A maioria é expelida como gases durante a fermentação, maturação e condicionamento e, dessa forma, geralmente estão presentes na cerveja em níveis baixos. Em níveis baixos, compostos de enxofre podem contribuir para o sabor geral e são uma característica de algumas cervejas, mas em níveis mais altos podem se tornar indesejáveis. Os compostos comuns contendo enxofre produzidos pela levedura incluem sulfeto de hidrogênio (ovo), dióxido de enxofre (SO₂) e dissulfeto de dimetila (vegetais cozidos, couve). Esses compostos de enxofre tendem a apresentar limiares de sabor muito baixos, geralmente em µg/L (PARKER, 2012). Na Figura 7, é possível visualizar as rotas metabólicas simplificadas para a formação de aromas e sabores durante a fermentação.

Figura 7 - Diagrama esquemático do metabolismo de leveduras e produção de aromas e sabores.



Fonte: Parker (2012)

A maturação consiste em um período que a cerveja fica a frio, com o objetivo de amadurecer os sabores e aromas da cerveja; reduzir o potencial da cerveja para formar turbidez; limpar a cerveja da carga de levedura antes da filtração (MOSHER; TRANTHAM, 2017). Mantar a cerveja a temperaturas baixas é uma boa prática proveniente dos métodos tradicionais de fabricação de cerveja que envolviam períodos de maturação de 0 a 1 °C. A ideia é que a cerveja seja resfriada o mais frio possível, sem congelamento, para garantir a precipitação de material particulado. As cervejas *high gravity* podem ser resfriadas a uma temperatura mais baixa devido ao seu alto teor alcoólico, otimizando tempo, pois um curto período de armazenamento em temperatura muito baixa antes da filtração pode ser tão benéfico para a estabilidade coloidal quanto períodos mais longos em temperaturas menos frias (LEIPER; MIEDL, 2009). Nessa etapa também é possível adicionar condimentos, frutas e/ou lúpulo (*dry hopping*), quando se tem o objetivo de adicionar algum aroma ou sabor para a cerveja. Além disso, pode-se maturar a cerveja em barris de madeira

novos, ou utilizados previamente para envelhecimento de vinho, whiskey, bourbon, etc. (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Filtração

A instabilidade físico-química da cerveja pode advir de várias fontes: β -glucanos, amido, pentosanas, oxalatos e microrganismos. No entanto, a principal reação que causa turbidez na cerveja é a polimerização de polifenóis e sua interação com proteínas de alto peso. Quando a cerveja é resfriada abaixo de 0 °C, uma associação reversível de polifenóis e proteínas é formada. Essa interação é conhecida como turbidez a frio. Quando a cerveja é restaurada à temperatura ambiente, essa associação se desfaz, e a cerveja volta a ser brilhante novamente. Se a cerveja é resfriada e aquecida várias vezes, ou se a cerveja é armazenada à temperatura ambiente por um período prolongado (6 meses ou mais), a turbidez torna-se permanente.

A formação de turbidez se correlaciona com a presença de proteínas sensíveis - substâncias que precipitam com o ácido tânico - e taninos - polifenóis adsorvidos pela polivinilpolipirrolidona (PVPP). A força motriz para a formação de turbidez é a interação de grupos hidrofílicos nessas proteínas sensíveis com os polifenóis (STEWART, 2016).

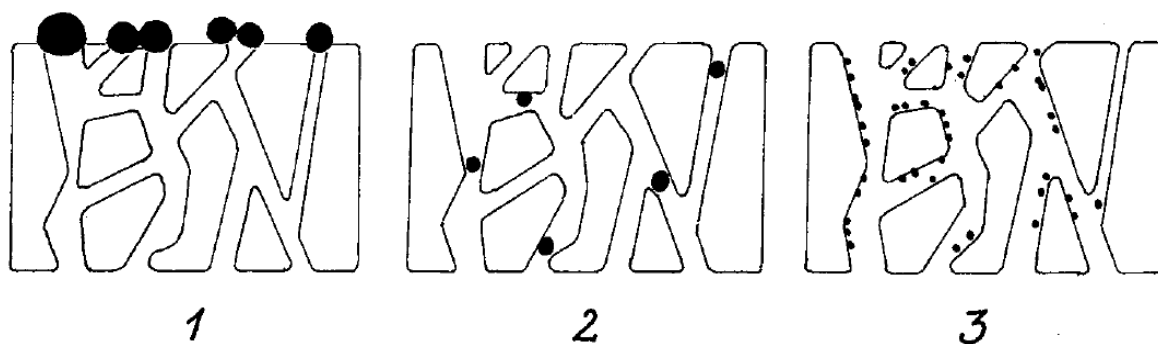
Assim, o objetivo da filtração é tornar a cerveja estável para que não ocorram mudanças significativamente visíveis por um longo período de tempo. Além disso, em processos onde a fermentação é do tipo *high gravity*, essa etapa também visa diluir a cerveja com água e carbonata-la. O agente que controla o processo de filtração é o diferencial de pressão do líquido que está entrando no sistema e do que está saindo (KUNZE, 1999).

O primeiro passo para o processo de filtração é resfriar a cerveja a temperaturas abaixo de 0 °C, para induzir a formação de turbidez a frio. Então o líquido segue para o sistema de filtração, que em grandes indústrias geralmente é composto por um filtro a velas que utiliza auxiliares de filtração como terra diatomácea e perlita.

Existem três mecanismos de retenção de partículas durante a filtração, como ilustrado na Figura 8. O item 1 faz alusão ao princípio de peneiramento, onde a porosidade da camada filtrante é menor que a grandeza das partículas causadoras da turbidez, assim partículas grandes, como por exemplo, leveduras e complexos de

proteínas com polifenóis se aglomeram na superfície da camada filtrante. O segundo mecanismo é conhecido como efeito de profundidade, onde as partículas são retidas no interior da camada filtrante (KUNZE, 1999).

Figura 8 - Mecanismos de Filtração.



Fonte: Kunze (1999)

O último método é o de adsorção, onde a filtração ocorre devido à diferença de cargas elétricas do meio filtrante e do líquido que está sendo filtrado. Para retirada de polifenóis da cerveja pode-se utilizar o auxiliar PVPP que atua como adsorvente, e tem a vantagem de poder ser regenerado após o uso.

Após a filtração, em cervejas fermentadas em sistema *high-gravity*, ocorre a diluição da cerveja com água desaerada até atingir os parâmetros desejados de álcool e extrato. Também é feita a carbonatação forçada da cerveja, geralmente utilizando o CO₂ que foi produzido durante a fermentação.

Envase

Quando a cerveja estiver pronta para ser enviada para o consumidor, ela será canalizada para a linha de envase, que é um sistema que prepara a embalagem, a enche e sela. As principais embalagens utilizadas comercialmente são as garrafas de vidro e as latas de alumínio, e em menor quantidade também são utilizados barris. Os princípios gerais das embalagens são os mesmos, independentemente do tamanho. Em essência, a embalagem deve proteger a cerveja do meio externo; proteger a cerveja para que não prejudique o cliente; conter um volume específico; auxiliar na distribuição; é o meio de comunicação entre a empresa e o consumidor (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

Durante esta etapa existem dois fluxos separados que devem ser observados: o fluxo da cerveja e o fluxo dos recipientes vazios e cheios, visando otimizar a produção e minimizar as perdas e os possíveis danos sensoriais. Assim, é importante impedir / minimizar a entrada de ar na cerveja, principalmente durante o enchimento, pois o oxigênio incorporado nesta etapa ocasionará grandes prejuízos sensoriais, visto que será facilmente solubilizado no líquido. A cerveja é envase a temperaturas baixas, visando preservar a concentração de dióxido de carbono dissolvido, contudo também facilita a incorporação de oxigênio no meio (BRIGGS et al., 2004).

Após o envase, é comum que as cervejarias pasteurizem a cerveja visando aumentar o tempo de validade do produto e também para assegurar a segurança do consumidor. O método tradicionalmente utilizado em grandes cervejarias é a pasteurização de túnel. Nesta abordagem, a cerveja é primeiro embalada em garrafas ou latas e selada. Em seguida, as embalagens fechadas são enviadas através de um túnel, onde são pulverizadas com água aquecida recirculante. A temperatura do produto aumenta lentamente até atingir a temperatura de pasteurização desejada e mantida pelo tempo de descanso desejado. Em seguida, a temperatura é reduzida, borrifando as embalagens com água mais fria (MOSHER; TRANTHAM, 2017).

2.4. Vida de prateleira de cervejas

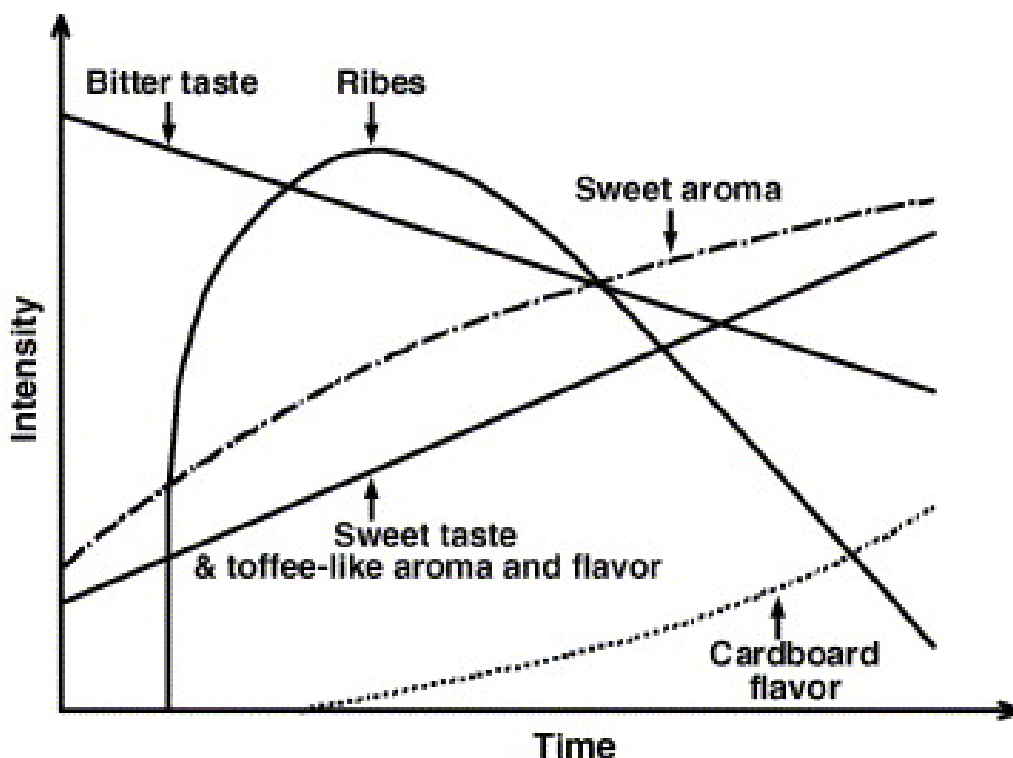
Com relação a contaminação microbiológica a cerveja é uma bebida reconhecidamente estável, devido a presença de etanol (0,5 a 16 % v/v), aos compostos amargos do lúpulo, alto teor de dióxido de carbono (aproximadamente 0,5% p/v), baixo pH (entre 3,8 e 4,7), baixas concentrações de oxigênio (> 0,3 ppm) e a pasteurização. Como resultado, patógenos comuns a outros alimentos, como *Salmonella* e *Staphylococcus aureus*, não são uma preocupação para o produto final. No entanto, existem microrganismos deteriorantes da cerveja, entre eles *Lactobacillus*, *Pediococcus*, *Pectinatus* e *Megasphaera* (SUZUKI, 2011).

A maneira pela qual uma cerveja envelhece é muito específica da própria cerveja e depende de muitos fatores, como a composição da cerveja, o teor de oxigênio dissolvido, o nível de antioxidantes presentes, as condições de pasteurização e as temperaturas de armazenamento (STEWART, 2016). Os constituintes da cerveja recém-engarrafada não estão em equilíbrio químico, assim, termodinamicamente, uma garrafa de cerveja é um sistema fechado e, portanto, se esforçará para alcançar

um status de energia mínima e entropia máxima. Conseqüentemente, as moléculas são submetidas a muitas reações durante o armazenamento, que acabam por determinar o tipo de características de envelhecimento da cerveja (VANDERHAEGEN et al., 2006).

Durante o envelhecimento das cervejas uma diminuição constante no amargor é observada. Isso se deve, em partes, ao mascaramento sensorial devido ao crescente sabor doce, e aromas doces, como caramelo e açúcar queimado. Além disso, como demonstrado na Figura 9, é observada a formação rápida do que é descrito como sabor de *Ribes*, que após um tempo decai consideravelmente. Esse termo faz referência ao odor característico das folhas de groselha *Ribes nigrum*. O sabor do papelão se desenvolve após o aroma de Ribes (VANDERHAEGEN et al., 2006). No entanto, o gráfico da Figura 9 é uma generalização da evolução sensorial durante o armazenamento da cerveja e não é de forma alguma aplicável a todas as cervejas.

Figura 9 - Mudanças sensoriais durante o envelhecimento da cerveja.



Fonte: Vanderhaegen et al. (2006)

Existem outros componentes que são formados mais lentamente, mas ainda assim podem ter um impacto profundo no sabor final da cerveja. A formação de trans-2-nonenal como resultado da oxidação do ácido linoleico (Figura 4) e de aldeídos,

umentam durante o envelhecimento da cerveja e possuem uma variedade de atributos de sabor, como mel e batata cozida. Em princípio, o controle de FAN no produto final poderia ser uma estratégia útil para retardar as mudanças sensoriais durante a estocagem da cerveja (PARKER, 2012).

O dióxido de enxofre não é particularmente ativo no sabor, mas pode ser um problema sensorial para a cerveja. É produzido naturalmente durante a fermentação como parte da via de assimilação de sulfato. O impacto mais significativo que o dióxido de enxofre tem no sabor da cerveja é o fato de ajudar a cerveja a manter sua frescura na embalagem. Pensa-se que isso advém da capacidade de reagir com aldeídos formando bissulfitos (reduzindo sua atividade de sabor) e também por agir como antioxidante (PARKER, 2012).

2.5. Oxidação e Danos causados pelo oxigênio no produto final

A oxidação pode ocorrer durante o processo de malteação, na cervejaria ou durante a vida de prateleira. O problema é que os efeitos dessas reações de oxidação geralmente se tornam visíveis somente após algumas semanas de estocagem. A maioria das mudanças de sabor oxidativo que ocorrem são o resultado da formação de carbonilos voláteis (HUIGE, 1993).

O oxigênio no estado fundamental ($^3\text{O}_2$) é estável e não reage facilmente com moléculas orgânicas. Na presença de ferro Fe^{2+} , o oxigênio pode capturar um elétron e formar o ânion superóxido O_2^- e Fe^{3+} (o mesmo ocorre com os íons de cobre). Acredita-se que os íons $\text{Cu}^+ / \text{Cu}^{2+}$ e $\text{Fe}^{2+} / \text{Fe}^{3+}$ façam parte de um sistema de oxidação de função mista no qual polifenóis, açúcares, isohumulonas e álcoois possam atuar como doadores de elétrons. O ânion superóxido pode ser protonado para formar o radical perhidroxil ($\text{OOH}\bullet$), que possui uma reatividade muito maior. O pKa dessa reação é 4,8, o que significa que, no pH da cerveja, a maioria do superóxido estará na forma perhidroxila. Radicais hidroxila ($\bullet\text{OH}$) podem ser produzidos a partir de H_2O_2 ou do ânion superóxido O_2^- por reações induzidas por metais. A reatividade das espécies de oxigênio aumenta com seu status de redução, ânion superóxido < radical perhidroxil < radical hidroxil (VANDERHAEGEN et al., 2006).

O oxigênio contribui para a produção de compostos carbonílicos com limiares de sabor muito baixos, como por exemplo, 2-heptenal, 2-octenal e trans-2-nonenal. Durante a fermentação, os compostos carbonílicos são convertidos em álcoois, que

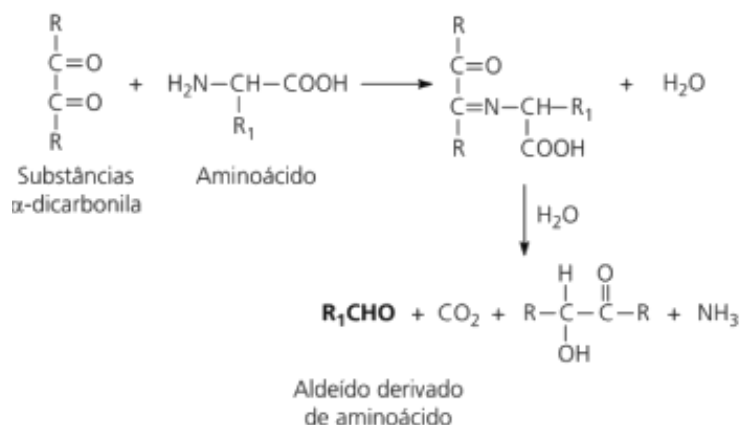
apresentem menor percepção de aroma e sabor. O problema surge durante a distribuição do produto acabado, quando as concentrações dos compostos carbonílicos podem aumentar potencialmente devido às reações dos radicais de oxigênio. As notas de sabor carbonil são frequentemente descritas como pastosas, que lembram papel ou papelão (KUCHEL; BRODY; WICKER, 2006).

Huige (1993) listou os quatro mecanismos principais que estão relacionados com compostos carbonílicos na cerveja:

1. Degradação Strecker de aminoácidos

A degradação de Strecker faz parte do conjunto de reações que compõe a Reação de Maillard. Nessa reação, como ilustrado na Figura 10, uma substância carbonílica reage com um aminoácido, formando um aldeído. Cada aminoácido produz um aldeído diferente, com aromas distintos (DAMODARAN; PARKIN, 2018).

Figura 10 - Degradação de Strecker.



Fonte: Damodaran e Parkin (2018)

2. Oxidação mediada por melanoidinas de álcoois superiores

As melanoidinas são formadas pela Reação de Maillard durante a ebulição do mosto e a mostura. As melanoidinas que sofreram oxidação aceitam átomos de hidrogênio dos álcoois superiores, formando aldeídos correspondentes. Assim, o oxigênio molecular não oxida álcoois diretamente na ausência de melanoidinas (HUIGE, 1993).

3. Degradação oxidativa de iso- α -ácidos.

Os iso- α -ácidos podem estar sujeitos a oxidação durante o envelhecimento da cerveja. O teor de isohumulona da cerveja diminui durante o envelhecimento e conseqüentemente o amargor da cerveja também diminui. A degradação oxidativa das isohumulonas é acelerada por íons de ferro, peróxido de hidrogênio ou a combinação desses dois fatores (KING; DUINEVELD, 1999).

A diminuição do amargor da cerveja prevista na Figura 9, pode ser causada também pelas reações oxidativas.

4. Oxidação enzimática e não enzimática de ácidos graxos.

A oxidação enzimática dos ácidos graxos presentes na cerveja ocorre majoritariamente na etapa de mosturação (Figura 4).

A oxidação dos ácidos graxos pode ocorrer de forma não enzimática, formando radicais livres. Os radicais livres são moléculas ou átomos que apresentam elétrons não pareados. O radical hidroxil ($\bullet\text{OH}$), resultado da oxidação de ácidos graxos, tem energia de reação muito elevada, podendo oxidar qualquer molécula. (DAMODARAN; PARKIN, 2018). Assim, a formação de radicais hidroxilas acelera a degradação de isohumulonas, como descrito no tópico anterior e a formação de aldeídos.

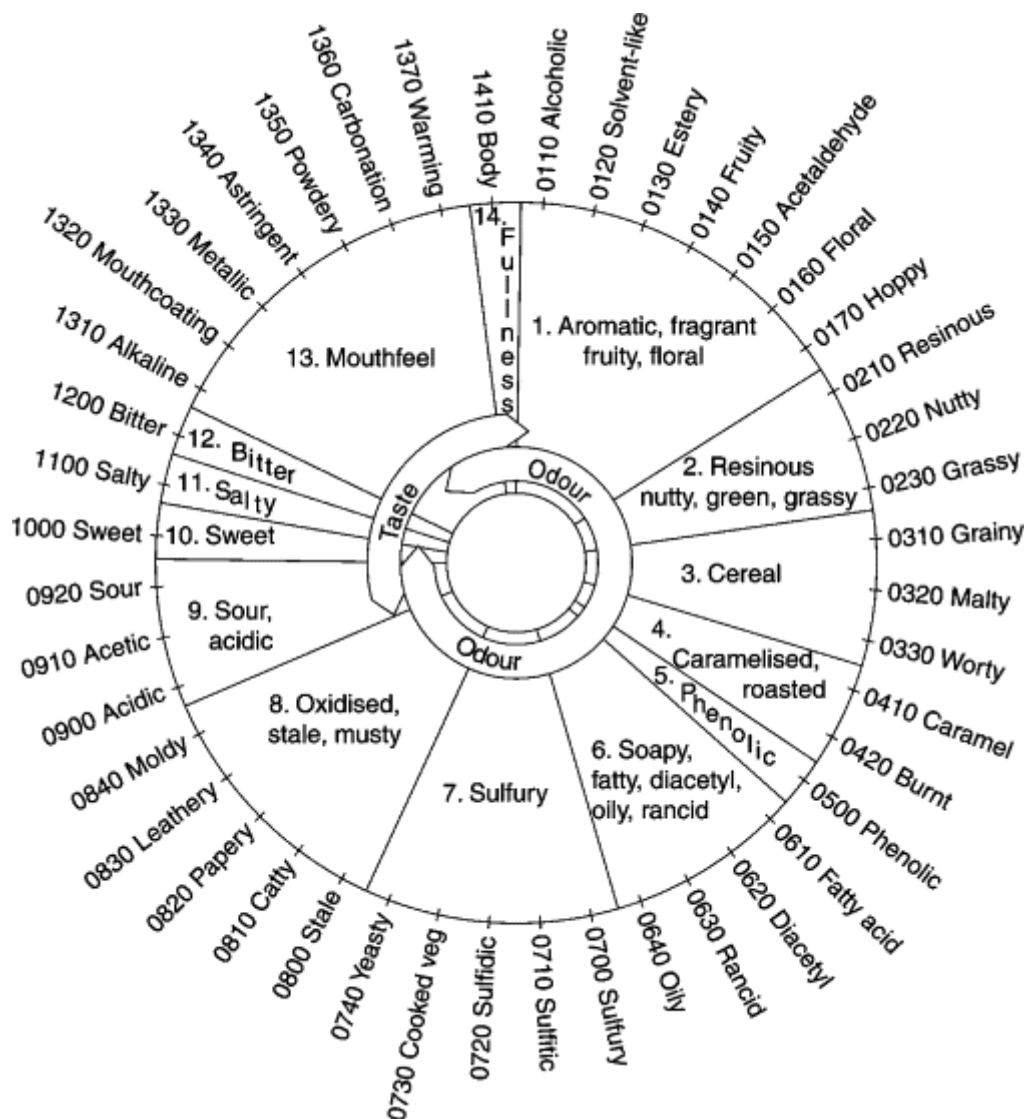
2.6. Análise Sensorial

Um dos princípios da análise sensorial de cervejas é a *The Beer Flavour Wheel*, em tradução literal a Roda do sabor e aroma da cerveja - Figura 11. Ela foi desenvolvida para fornecer um sistema de análise e facilitar a comunicação entre os degustadores de cerveja e tornar a análise sensorial da cerveja objetiva, pois nela não são encontrados termos como equilibrado, bom ou ruim.

Ela é dividida em 14 classes, que indicam o tipo de sabor - 1. Aromático, com fragrância frutada / floral; 2. Resinoso de noz / gramado; 3. Cereal; 4. Caramelizado, tostado; 5. Fenólico; 6. Sabão, diacetil, óleo, ranço; 7. Sulfuroso; 8. Oxidado, envelhecido, mofado; 9. Azedo, ácido; 10. Doce; 11. Salgado; 12. Amargo; 13. Sensações de boca (aquecimento, carbonatação, adstringência, metálico, etc.); 14. Corpo/preenchimento. As 14 classes, por sua vez são subdivididas em sabores e aromas específicos, que são geralmente utilizados por profissionais treinados

(PARKER, 2012). A terminologia da Beer Flavour Wheel é reconhecida pela indústria e por órgãos renomados como European Brewing Convention (EBC), American Society of Brewing Chemists (ASBC) e o Institute of Brewing and Distilling (IBD).

Figura 11 - The Beer Flavour Wheel.



Fonte: Parker (2012)

A cerveja tem muitos componentes de voláteis (por exemplo, ésteres, compostos de enxofre e compostos de aroma de lúpulo), e não voláteis (por exemplo, componentes de amargor de lúpulo) e compostos que contribuem para as características da sensação na boca (por exemplo, álcool, carbonatação e polifenóis). É a complexidade da interação desses compostos na matriz da cerveja que determina o aroma e o sabor da cerveja final.

A melhor temperatura para avaliar o sabor da cerveja é de 8 a 12 °C, pois servir a cerveja a temperaturas mais baixas tende a suprimir muitos dos voláteis positivos e / ou negativos. A apresentação das cervejas em copos escuros ou transparentes depende do objetivo da avaliação. Quando são utilizados copos transparentes uma parte da análise sensorial consiste na avaliação da aparência da cerveja (cor, espuma, dispersão de gás carbônico), o que não é analisado quando são utilizados copos escuros (PARKER, 2012). A ordem de apresentação deve ser aleatória e as amostras devem ser codificadas com números aleatórios de três dígitos. Muitas amostras não devem ser apresentadas em uma única sessão para evitar fadiga sensorial (BRIGGS et al., 2004).

Um dos métodos de análise sensorial, comumente empregado na indústria consiste na avaliação da cerveja com base em se a mesma é fiel a marca. Isso envolve determinar se a cerveja apresenta todas as características corretas de aroma e sabor e está livre de sabores desagradáveis. Os avaliadores são informados da identidade da marca antes da avaliação e devem estar familiarizados com o sabor de cada marca que avaliam. É comum comparar as intensidades das principais características do sabor e aroma com um perfil de referência para a marca e pontuar para cima; igual; para baixo. Também é comum avaliar a presença ou ausência das principais características de sabor e certos aromas e sabores desagradáveis (PARKER, 2012).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Identificação dos principais defeitos

Os defeitos sensoriais de uma cerveja são características que não são esperadas para aquele produto. Nas cervejas analisadas neste estudo, os avaliadores são treinados a detectar 21 defeitos diferentes - oxidação, diacetil, floral, amargo, doce, azedo, adstringente, H₂S, trans-2-nonenal, ácido isovalérico, ácido isoamílico, DMS, mofado, defumado, metálico, clorofenol, lúpulo, acetaldeído, acetato de etila, urina de gato.

Assim, todas as cervejas são degustadas por um painel treinado composto por 9 pessoas, na planta onde foram fabricadas, e uma vez ao mês é enviada uma amostra de cada tipo de produto para análise sensorial do painel corporativo. Além disso, as cervejas são analisadas sensorialmente após 90 dias do envase. As

amostras são servidas em cabines individuais, em copos pretos e numeradas com três dígitos.

Foi analisado o histórico de notas e comentários das amostras enviadas para análise sensorial corporativa, bem como, os resultados dos testes sensoriais com 90 dias de *shelf-life*, de janeiro a outubro de 2019, visando elencar os principais defeitos detectados. No total, foram realizadas 162 análises sensórias de *shelf-life* de diferentes lotes e 40 análises sensórias de produto pós envase, de lotes diversos.

3.2. Aplicação de checklist

Visando mapear os pontos do processo de produção que impactam negativamente na qualidade final do produto, foram aplicados dois checklists. Eles foram desenvolvidos internamente pela empresa, e já foram aplicados em outras plantas fabris, e visam mapear todas as etapas do processo de fabricação que podem impactar negativamente na qualidade da cerveja, aumentando a oxidação do produto final.

O primeiro (Tabela 2) é focado nas partes quentes do processo, analisando desde a moagem do malte, passando pela mostura, fervura até o resfriamento, bem como a pasteurização. Foram investigados os dados de 219 bateladas de fabricação de mosto com adição de adjuntos e 52 bateladas de fabricação de mosto puro malte.

O segundo é voltado para a etapa de fermentação e maturação (Tabela 3), neste escopo está inserida a liberação dos tanques de cerveja filtrada que serão enviadas para o envase. Foram avaliados 186 tanques de fermentação para mosto com adjunto e 13 fermentadores de mosto puro malte, no período de janeiro a agosto de 2019. Além disso, 81 tanques de cerveja pressão foram analisados entre agosto e outubro de 2019. Os pontos de análise foram divididos em grau de importância de 1 (*) a 3 (***), sendo que na escala 1 representa pontos de menor impacto para a qualidade sensorial do produto e 3 os de maior influência.

Tabela 2 - Checklist 1.

Nº	Parâmetro	Padrão	Prioridade
1. Moagem			
1.1	Tempo de estocagem do malte	Tempo de estocagem:	*

	moído o mais curto possível (do início da moagem ao início da arriada)	Moinho de rolos: < 120 min	
		Moinho martelo: 90 min	
1.2	Especialmente no moinho de martelos, opere o moinho com capacidade de projeto para evitar superaquecimento da matéria-prima	temperatura máxima < 50°C	*
2. Mash Tun			
2.1	Temperatura de arriada	55 - 60°C	*
2.2	Rampa de aquecimento	0,8 - 1,5 °C/min	*
2.3	Tempo total de mostura (do início do enchimento ao início do esvaziamento da tina)	140 min	*
3. Filtração			
3.1	Filling to full	5 min	*
3.2	Filtração mosto primário	< 30 min	*
3.3	Tempo total de filtração	85 min	**
4. Fervura			
4.1	Tempo de aquecimento	< 45 min	*
4.2	Tempo de fervura	60 min a 75 min	***
4.3	Temperatura no centro do cozinhador (chapéu)	< 104 °C – Max 106 °C	**
4.4	Taxa de evaporação	3 - 4%	*
4.5	Tempo entre o final da fervura e o início da transferência para o decantador	0 min	***
5. Decantador			
5.1	Tempo de transferência	10 – 20 min	**

5.2	Tempo de descanso no decantador	10 – 30 min Target: ≤ 20 min	**
5.3	Velocidade de entrada no decantador	≥ 2,5 m/s	*
5.4	Tempo total de resfriamento	< 60 min	***
5.5	Tempo total de fabricação de mosto	390 min	***
6. Túnel Pasteurização			
6.1	Temperatura máxima na saída do pasteurizador	< 35°C	*
6.2	UP máxima	10 a 20 UP	*

Tabela 3 - Checklist 2.

Nº	Parâmetro	Padrão	Prioridade
1. Controle do fermento			
1.1	Geração do fermento	< 5	*
1.2	Recolha de fermento	24 – 48 horas	**
1.3	Qualidade da levedura	Escolha do fermento que será dosado com base no histórico de fermentações anteriores (% de células mortas, fermentação prévia sem desvios)	**
2. Enchimento do tanque			
2.1	Tempo de enchimento do tanque	12 – 24 horas	*
2.2	Dosagem de levedura	Todo o fermento é dosado na primeira batelada de enchimento	*
2.3	Aeração do mosto	12 – 34 mg/L O ₂	***
3. Fermentação			

3.1	Controle da temperatura de fermentação		*
3.2	Quantidade de levedura dosada	486 - 504 g/hL (mosto com adjunto) 259 - 317 g/hL (mosto puro malte)	*
3.3	Velocidade de fermentação	2,36 - 3,04 °P/dia (mosto com adjunto) 1,9 - 2,02 g/hL (mosto puro malte)	*
4. Tanque de pressão			
4.1	Baixa concentração de oxigênio no tanque de pressão	$\leq 0.05\text{mg/L}$	**
4.2	Oxigênio na água de blendagem	$\leq 0,10\text{ mg/L}$	***
4.3	Temperatura da cerveja após filtração	$\leq 2\text{ °C}$	*

A partir dos itens que compõem os checklists foi montado um histórico de dados, entre os meses de julho, agosto e setembro de 2019, que foram analisados conforme sua aderência ou não aos padrões estabelecidos.

3.3. Análise do Potencial Redox

3.3.1. Solução indicadora DCI

Foi dissolvido 2,25 g de 2,6-Diclorofenol-Indofenol em 10 mL de Ácido Acético Glacial e adicionado 1 L de Dioxano a um balão volumétrico. A solução foi agitada durante 5 min, filtrada em papel filtro Whatman n°1, e estocada por 24 h em temperatura ambiente no escuro.

3.3.2. Coleta de amostra

A coleta de amostra foi realizada após o resfriamento do mosto, durante a fermentação, ao final da maturação, no tanque de pressão e após a pasteurização, em recipientes que foram previamente lavados com CO₂. Foram coletadas amostras de três diferentes marcas (A, B e C) de acordo com a Tabela 4.

Tabela 4 - Coleta de amostras para análise redox.

Marca	Etapas
A	Resfriamento mosto
	Fermentação
	Maturação
	Esvaziamento tanque maturação
	Tanque de pressão
	Enchedora linha de lata
	Pasteurizador
A	Resfriamento mosto
	Fermentação
	Esvaziamento tanque maturação
	Tanque de pressão
	Enchedora linha de garrafa
	Pasteurizador
B	Resfriamento mosto
	Fermentação
	Maturação
	Enchedora linha de lata
	Pasteurizador
C	Resfriamento mosto
	Maturação
	Esvaziamento tanque maturação
	Tanque de pressão
	Enchedora linha de vidro
	Pasteurizador

Além disso, foi realizada análise do valor redox de um teste realizado com temperatura de ariada do malte igual a 56 °C, para o mosto produzido para a marca A. Para este teste foram coletadas amostras durante o resfriamento do mosto, fermentação e do tanque de pressão.

3.3.3. *Determinação do Valor Redox do Mosto*

A amostras foram estabilizadas a temperatura de 20 °C, e posteriormente foi determinado o pH do mosto. Em ambiente com atmosfera de CO₂, para minimizar os efeitos do oxigênio presente no ar, as amostras foram filtradas em papel filtro com o auxílio de terra diatomácea. Do filtrado, 20 mL foram transferidos para um tubo de ensaio com tampa e adicionado 0,5 mL do indicador DCI e o cronômetro foi acionado imediatamente.

O espectrofotômetro foi zerado com o mosto clarificado, tendo sido ajustado previamente o comprimento de onda de acordo com o pH encontrado, conforme o Tabela 5. Para valores de pH intermediários aos da tabela, foi utilizado o pH que mais se aproximava.

Tabela 5 - Relação entre o pH da solução, comprimento de onda e fator de correção.

pH	nm	f (L/mol*s)
<5	515	13,3
5	525	14,8
5,25	503	15,8
5,5	555	17,8
5,75	580	21,9
6	590	32

3.3.4. *Cálculo do valor Redox*

O cálculo do valor redox é baseado na equação abaixo:

$$\text{Valor Redox} = f * \left(\frac{1}{\text{Abs } 480s} - \frac{1}{\text{Abs } 180s} \right)$$

f = constante de correção dependente do comprimento de onda

$\text{Abs } 480s$ = absorbância da solução no tempo $t = 480 s$

$\text{Abs } 180s$ = absorbância da solução no tempo $t = 180 s$

Os resultados podem ser expressos de maneira qualitativa, de acordo com o Tabela 6.

Tabela 6 - Qualificação do valor redox encontrado.

Valor Redox	Qualificação
> 25	Bom
16 - 25	Suficiente
10 - 15	Insuficiente
< 10	Ruim

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

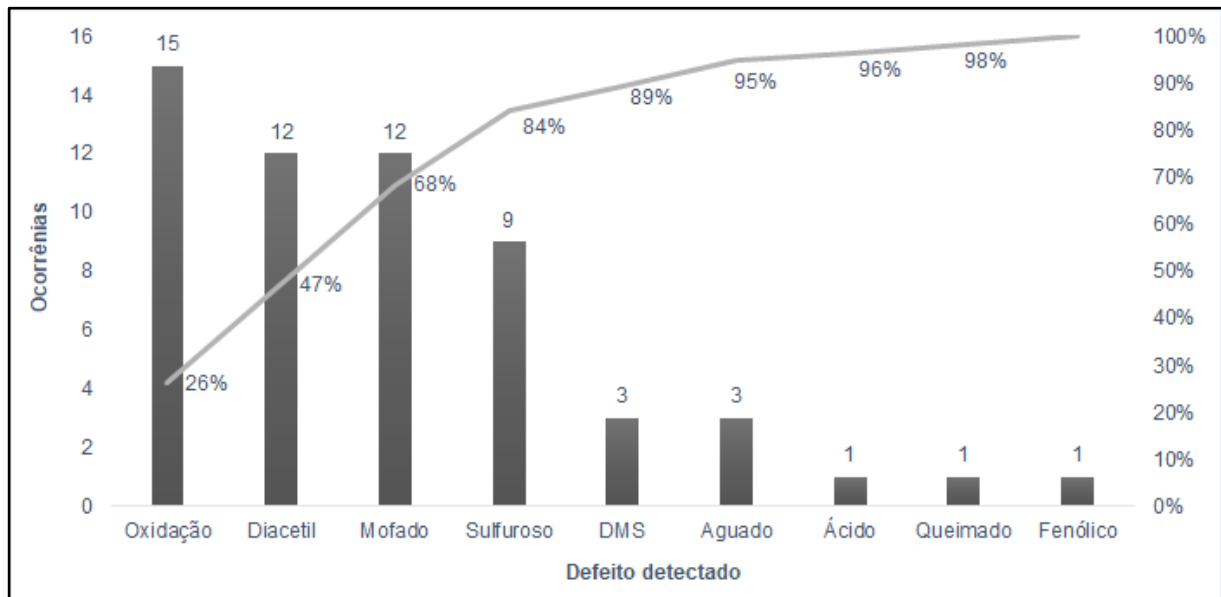
4.1. Identificação dos principais defeitos

Através da análise de Pareto, é possível identificar que 68 % das ocorrências em cervejas frescas, são relacionados a três defeitos: oxidação, diacetil e mofado, como ilustrado na Figura 12. Para os dados referentes aos testes sensoriais após 90 dias de envase, 90 % das amostras receberam comentários referentes à oxidação e 2 % a papelão (trans-2-nonenal). Dentro do universo de 92 % de cervejas que apresentaram defeito, 67 % destes casos o defeito foi apontado por no mínimo um quarto do painel treinado.

Os defeitos de oxidação, mofado e papelão estão dentro da mesma classe sensorial da *Beer Flavour Wheel* (Figura 11). Por esse motivo, o método escolhido

para identificar as possíveis causas desses defeitos, foi um checklist desenvolvido pela própria empresa e já aplicado em outras unidades, que tem como foco principal detectar problemas relacionados a oxidação.

Figura 12 - Defeitos detectados nas cervejas frescas.



Fonte: Elaborado pela autora

4.2. Aplicação de checklist

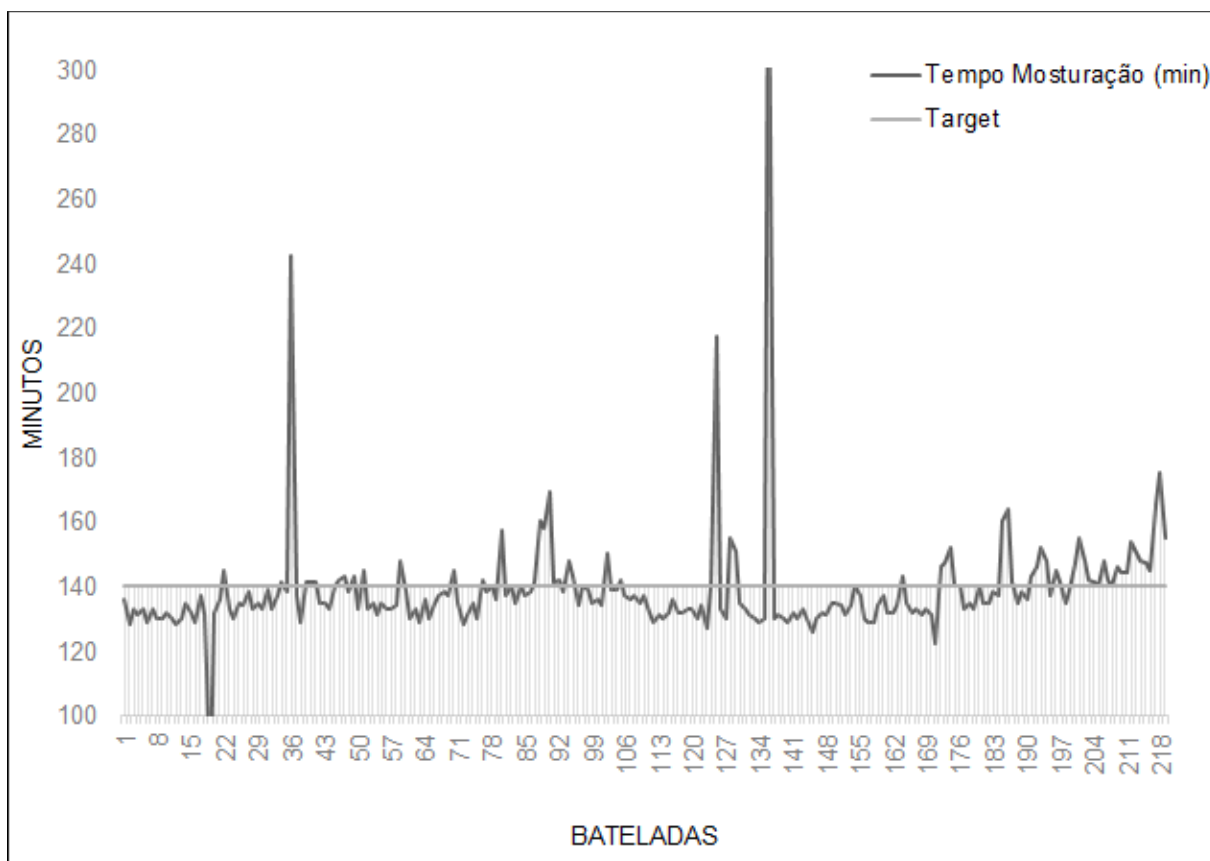
O primeiro checklist teve foco em todas as partes quentes do processo de fabricação. Dessa forma, foram analisados os parâmetros de processamento referentes a moagem do malte, os tempos relacionados à mosturação, filtração do mosto, fervura, decantação e pasteurização.

O sistema de moagem utilizado na planta é de moinho martelo. Um dos problemas que pode ocorrer durante a moagem do malte é o aumento da temperatura dos grãos devido ao atrito. O conjunto do moinho não possui controle de temperatura, e dessa forma fica difícil afirmar que não há sobrecarga durante a moagem. Porém, ao final da moagem foram feitas cinco coletas de malte moído para medição da temperatura com termômetro espeto e todas apresentaram temperaturas inferiores a 35 °C. À vista disso, e considerando que o malte moído tem um tempo média de espera entre o final da moagem e o início da arriada de 20 min, o tempo total de

moagem é de 50 min, e que a criticidade da etapa é 1 no checklist, o beneficiamento não foi considerado como um fator relevante e que impulsiona a oxidação da cerveja.

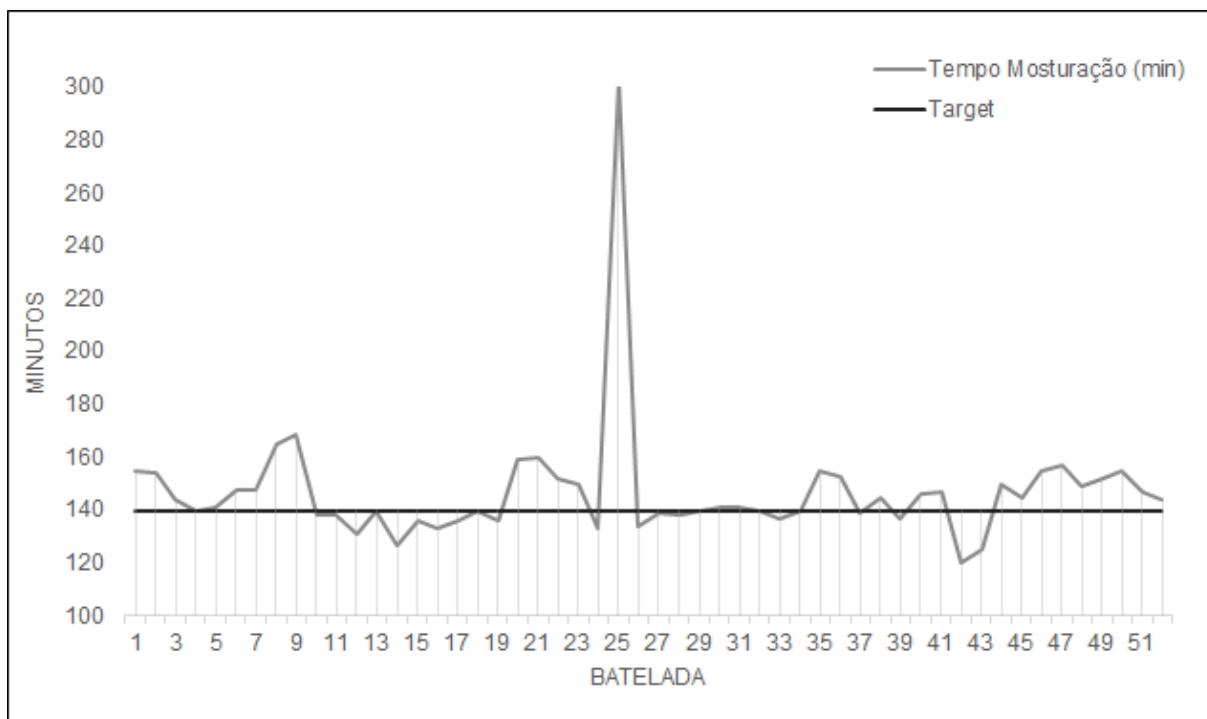
O tempo total de mostura durante a brassagem, é considerado um fator categoria 3 para o potencial oxidativo da cerveja, e a Figura 13 e a Figura 14 apresentam o compilado dos tempos de fabricação para cervejas com adjuntos e puro malte, respectivamente. A distribuição de frequência dos tempos de mostura pode ser visualizado na Figura 15. A partir do histograma é possível verificar que a maior concentração de tempo está entre 120 e 140 minutos.

Figura 13 - Tempo total de mostura para produção de mosto com adjunto.



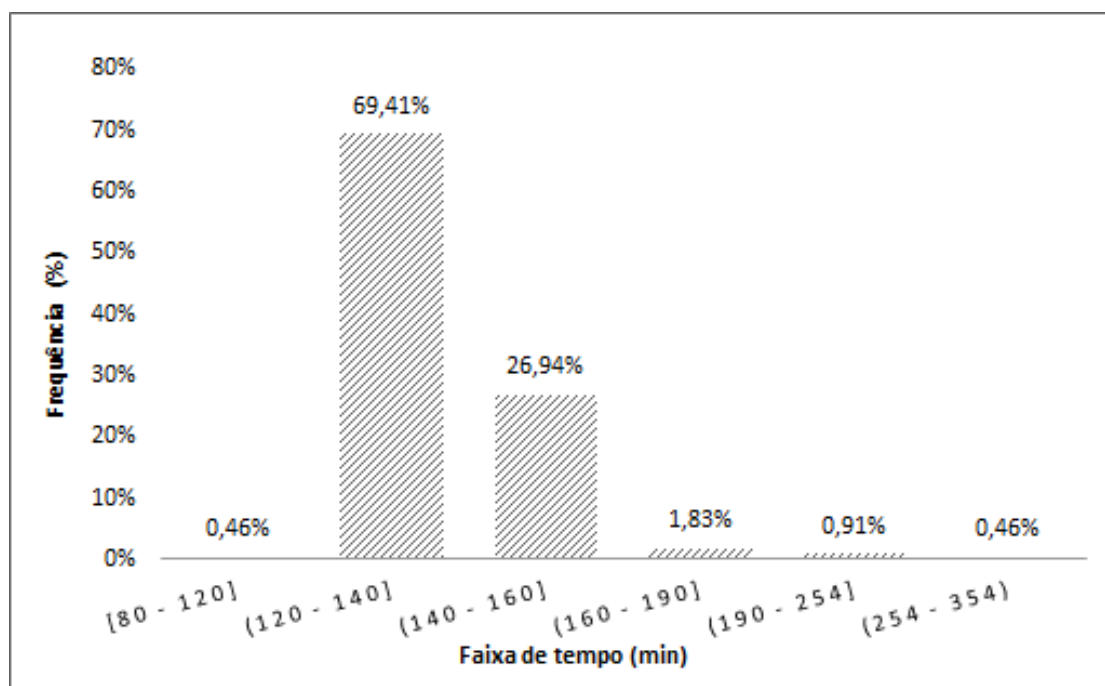
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 14 - Tempo total de mostura para produção de mosto puro malte.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 15 - Distribuição de frequência dos tempos de mosturação para mosto com adjunto.



Fonte: Elaborado pela autora

Para as 219 bateladas de mosto com adjunto analisadas, 66 estavam fora do tempo máximo de processo estabelecido de 140 minutos, ou seja, 30,1%. Já para as 52 bateladas de mosto puro malte analisadas, 33 estavam fora do tempo máximo estabelecido de 140 minutos, correspondendo a 63,46% de não conformidade. Os três picos de tempo da Figura 13 foram ocasionados por quebra de equipamentos, assim como pico único presente na Figura 14. Desconsiderando os picos devido a quebras, é notável que os tempos de mostura não são constantes. Quanto maior for o tempo que o mosto permanece a temperaturas quentes, maior a probabilidade de gerar precursores de oxidação, pois em temperaturas inferiores a 65 °C as lipoxigenases ainda estão ativas (KOBAYASHI et al., 1993) e em temperaturas elevadas as reações de oxidação são potencializadas.

Wietstock, Kunz e Methner (2016) analisaram se a presença de oxigênio durante a mosturação influenciava na formação de compostos carbonilas. O oxigênio teve um efeito considerável sobre o padrão de carbonila no mosto, em particular nos aldeídos de Strecker e teve um efeito significativo no pH, cor e quantidade de polifenóis totais. Os tempos de cada rampa de mostura são fixos, e o que varia são os tempos de aquecimento de uma rampa até a próxima. Assim, o problema da variação dos tempos de aquecimento está relacionado ao fornecimento de vapor.

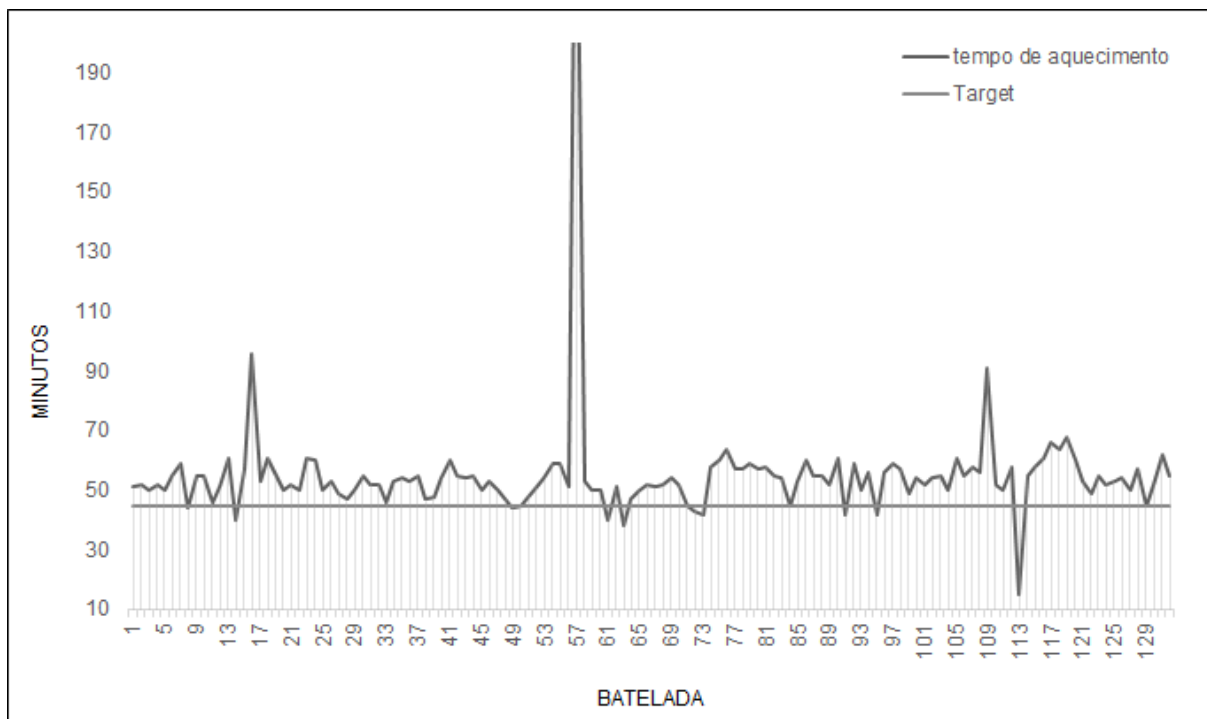
Quando é feita uma análise do tempo de filtração de mosto com adjuntos, apenas 8 % dos casos excedem o tempo limite de 85 min, e podem ser explicados por quebras de equipamentos e pela manutenção do moinho martelo. Devido a manutenção preventiva foi necessário reajustar o grau de intensidade da moagem, e isso ocasionou lentidão na filtração do mosto devido ao tamanho das partículas estar muito pequeno. Já para mosto puro malte o desvio do tempo de filtração é de 67 %.

O tempo de fervura, em 98 % dos casos analisados, foi de 60 min, tempo ideal para a que ocorra a conversão de α -ácidos em iso- α -ácidos, volatilização de DMS e formação de trub quente (MOSHER; TRANTHAM, 2017). Porém, em 89 % das situações o tempo de aquecimento do mosto até a fervura foi superior a 45 minutos, como ilustrado na Figura 16. Nesse caso, foram avaliados somente 131 bateladas de produção. O aquecimento do mosto para atingir a fervura começa quando o volume da tina de fervura atinge certo nível, que é aproximadamente o volume relativo à filtração do mosto primário. No entanto, tempos elevados de aquecimento são prejudiciais ao mosto pois potencializam reações de oxidação. Na presença de oxigênio ocorre a degradação oxidativa dos aminoácidos induzida pelas espécies

reativas de oxigênio, o aumento da formação de aldeídos de Strecker e a diminuição da concentração de polifenóis, quando comparado com atmosfera livre de oxigênio (WIETSTOCK; KUNZ; METHNER, 2016).

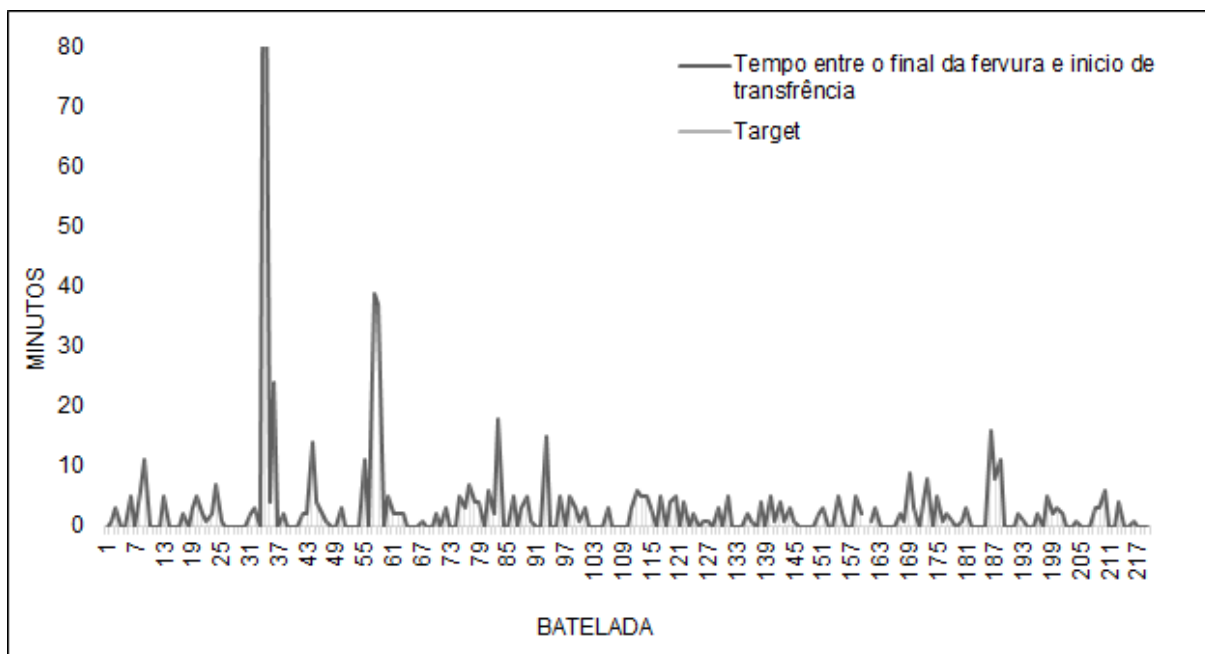
Após a fervura, o mosto é enviado para o decantador, onde ocorre a precipitação do trub quente. A transferência do mosto da tina de fervura para o decantador deve ocorrer imediatamente após o final da fervura. Contudo, como ilustrado na Figura 17, o bombeamento não é direto. A maioria dos tempos de espera - 60 % - está abaixo de 3 min, indicando que os desvios são ocasionados por imprecisão operacional, visto que para que ocorra a trasfega de mosto é necessário o comando do operador.

Figura 16 - Tempo de aquecimento do mosto até a fervura.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 17 - Tempo entre a transferência do mosto da tina de fervura para o decantador.



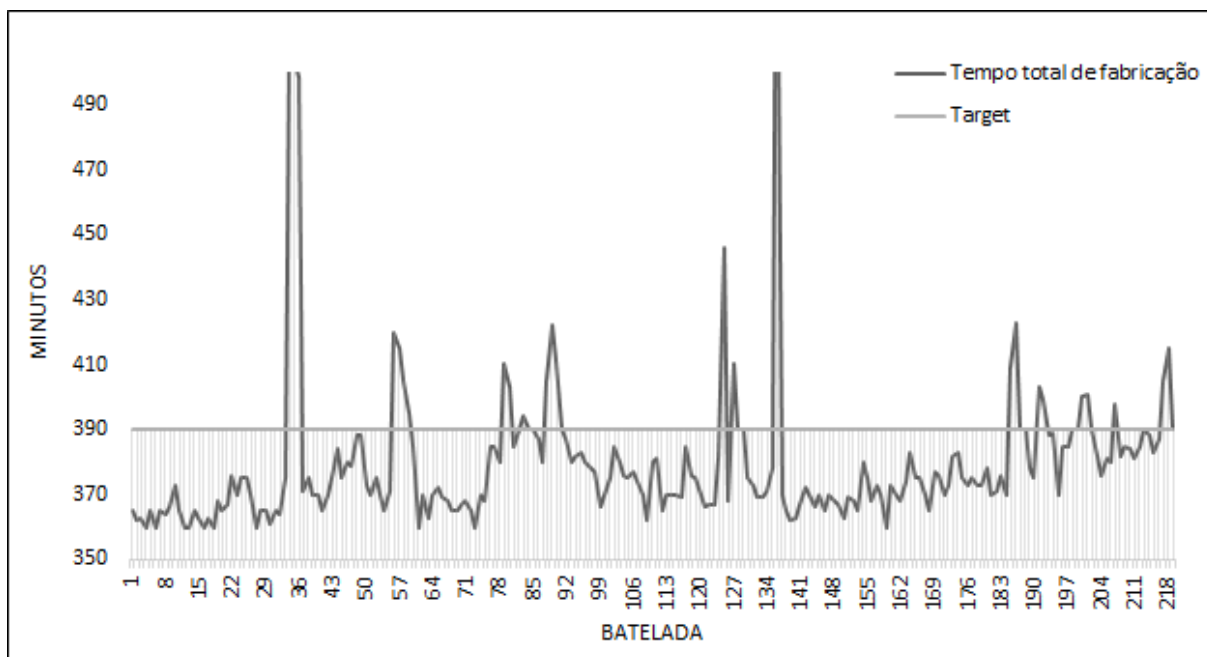
Fonte: Elaborado pela autora

O tempo de repouso no decantador é de 20 min e o tempo de resfriamento é, em média, 50 min. O tempo total de fabricação é a soma do tempo gasta para a fabricação do mosto do início da arriada até o final do resfriamento. Para as 219 bateladas de mosto com adjunto analisadas, 33 estiveram fora do tempo máximo estabelecido de 390 min, ou seja, 15,07 % (Figura 18). Já para as 52 bateladas analisadas de mosto puro malte, 22 estiveram fora do tempo máximo estabelecido de 390 minutos, ou seja, 42,31 % (Figura 19).

Os valores encontrados para os tempos de fabricação são condizentes com os valores intermediários e os desvios apresentados anteriormente. Não é possível obter tempo de fabricação dentro da faixa esperada, se existe lentidão durante o aquecimento das rampas de temperatura durante a mostura, problemas de tempo de filtração (para puro malte) e demora na transferência de mosto da panela de fervura para o decantador.

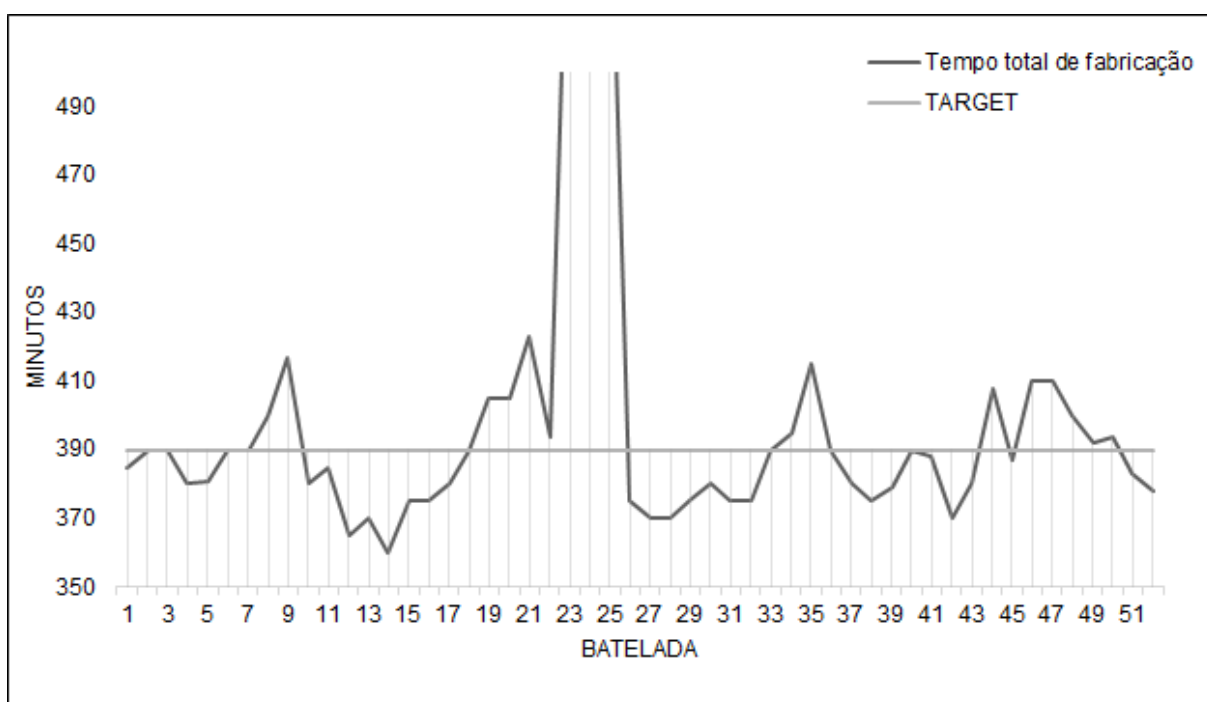
Contudo, não há explicação plausível para as diferenças encontradas para a produção de mosto com adjunto e mosto puro malte, durante as etapas de mosturação, filtração do mosto e conseqüentemente para o tempo total, visto que a diferença entre os dois produtos somente acontece durante a fase de fervura onde é adicionado o adjunto líquido.

Figura 18 - Tempo total de fabricação para produção de mosto com adjunto.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 19 - Tempo total de fabricação para produção de mosto puro malte.



Fonte: Elaborado pela autora

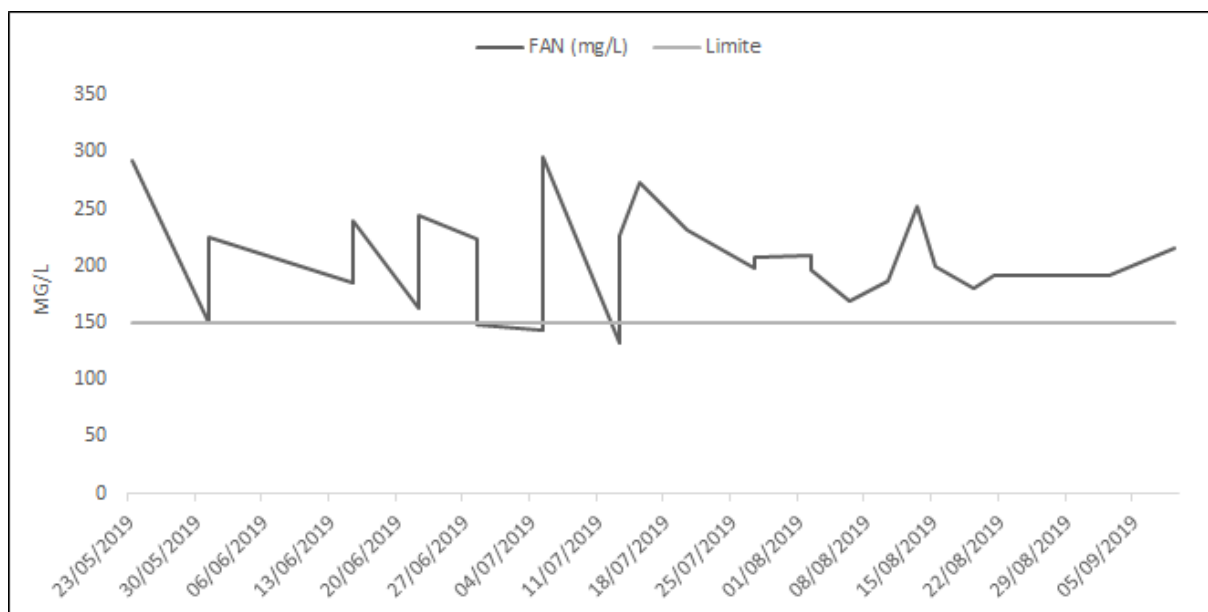
Após a brassagem, inicia-se o processo de fermentação, e foi analisado o segundo checklist. A aeração do mosto é feita em linha, durante a transferência do mosto para o tanque fermentador. Porém, não é possível medir a quantidade exata

de oxigênio injetado e tampouco a quantidade de oxigênio dissolvido. O controle de dosagem é manual e não é possível fazer um ajuste fino de vazão e o sistema não contém um oxímetro.

Na fermentação ocorrem inúmeras reações que impactam na qualidade final da cerveja. Os aminoácidos estão envolvidos na maioria dessas vias, pois são precursores de álcoois superiores e aldeídos, duas classes de compostos que são muito importantes para o desenvolvimento de sabores desagradáveis na cerveja. No entanto, a qualidade geral da cerveja também depende da formação de ésteres, diacetil e compostos de enxofre, que são subprodutos metabólicos da síntese de aminoácidos (FERREIRA; GUIDO, 2018).

É possível quantificar os aminoácidos livres - FAN - presentes no mosto, apesar de os laudos de malte geralmente conterem a informação da quantidade presente na matéria-prima. A Figura 20 apresenta o histórico de FAN presente no mosto, de fevereiro a agosto de 2019. As análises de quantificação de FAN foram feitas uma vez por semana, e as amostras foram coletadas após o resfriamento e antes da aeração. Somente em dois casos a concentração foi menor que a especificação de 150 mg/L, sendo que nos outros casos a quantidade presente foi muito superior.

Figura 20 - Concentração de FAN no mosto resfriado.

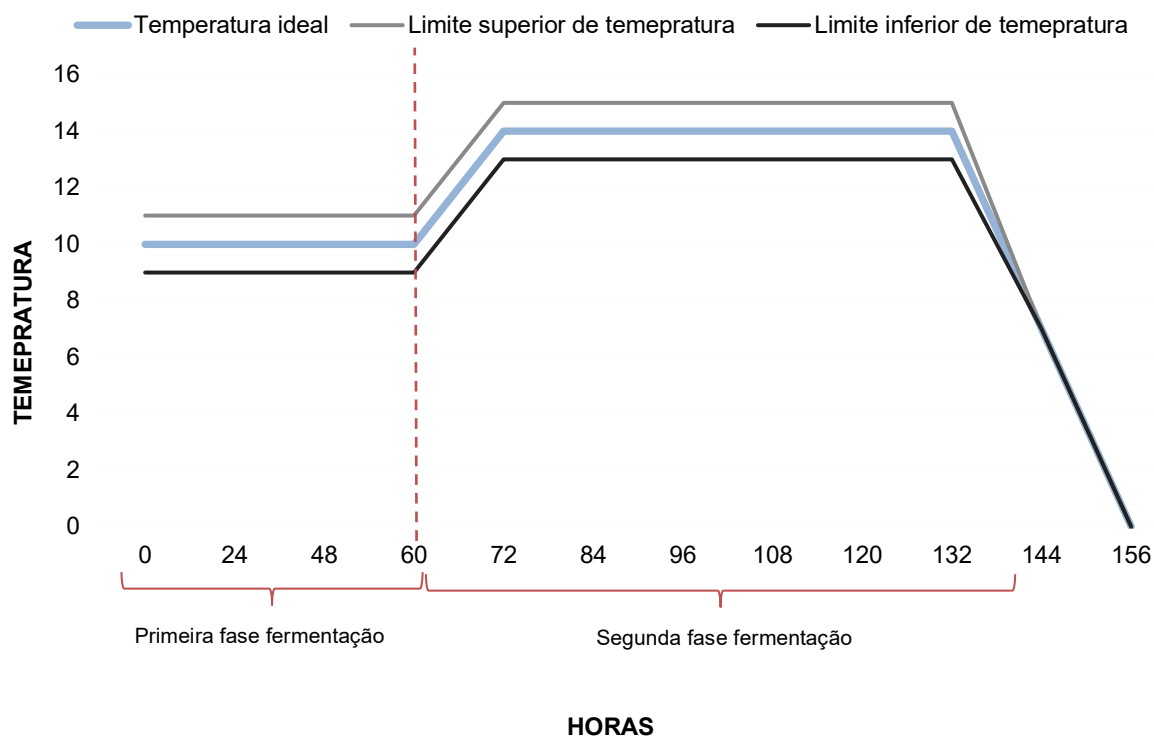


Fonte: Elaborado pela autora

O teor de aminoácidos do mosto desempenha um papel central na regulação do metabolismo durante a fermentação (FERREIRA; GUIDO, 2018) assim, é importante equilibrar a proporção de FAN presente no mosto, pois em excesso pode potencializar o surgimento de compostos que irão influenciar negativamente na qualidade sensorial da cerveja, mas ao mesmo tempo, em quantidades muito baixas pode perturbar o desenvolvimento metabólico das leveduras, também ocasionando potenciais problemas sensoriais. Uma das formas de controlar FAN no mosto é a partir da ação enzimática de endopeptidases e exopeptidases. Visto que o mosto produzido apresenta uma elevada quantidade de aminoácidos livres, o ideal seria iniciar a mostura acima de 60 °C.

O controle de temperatura durante a fermentação é de suma importância para a homogeneidade dos lotes produzidos, pois em temperaturas irregulares a levedura pode produzir subprodutos de fermentação diferentes (BOULTON; QUAIN, 2001). A fermentação é dividida em duas faixas de temperatura: no início as temperaturas são mais baixas, e permanecem nessa faixa em torno de 60 h, e depois a temperatura aumenta naturalmente 4 °C, conforme ilustrado na Figura 21.

Figura 21 - Faixas de controle de temperatura dos fermentadores.



Fonte: Elaborado pela autora

A análise dos desvios de temperatura foi baseada no processo tecnológico para cada tipo de receita, onde é especificado as faixas de temperatura de fermentação para cada fase. A Figura 21 representa uma curva de fermentação, com temperaturas hipotéticas. A curva azul equivale ao ideal de fermentação, enquanto que as curvas preta e cinza, correspondem ao limite inferior ($- 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ da temperatura ideal) e o limite superior ($+ 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ da temperatura ideal), respectivamente. Assim, foi considerado uma não conformidade toda a vez que a temperatura de fermentação saiu dos limites estabelecidos.

Existe um sério problema relacionado ao controle de temperatura de fermentação, principalmente para cervejas puro malte. Na primeira fase da fermentação foi detectado uma inconsistência de 35 % para mosto com adjunto e 23 % para mosto puro malte. Na segunda fase, o cenário é pior para mosto puro malte, onde 85% das fermentações tiveram algum problema relacionado a temperatura, e para mosto com adjunto o cenário é de 54 % de imprecisão.

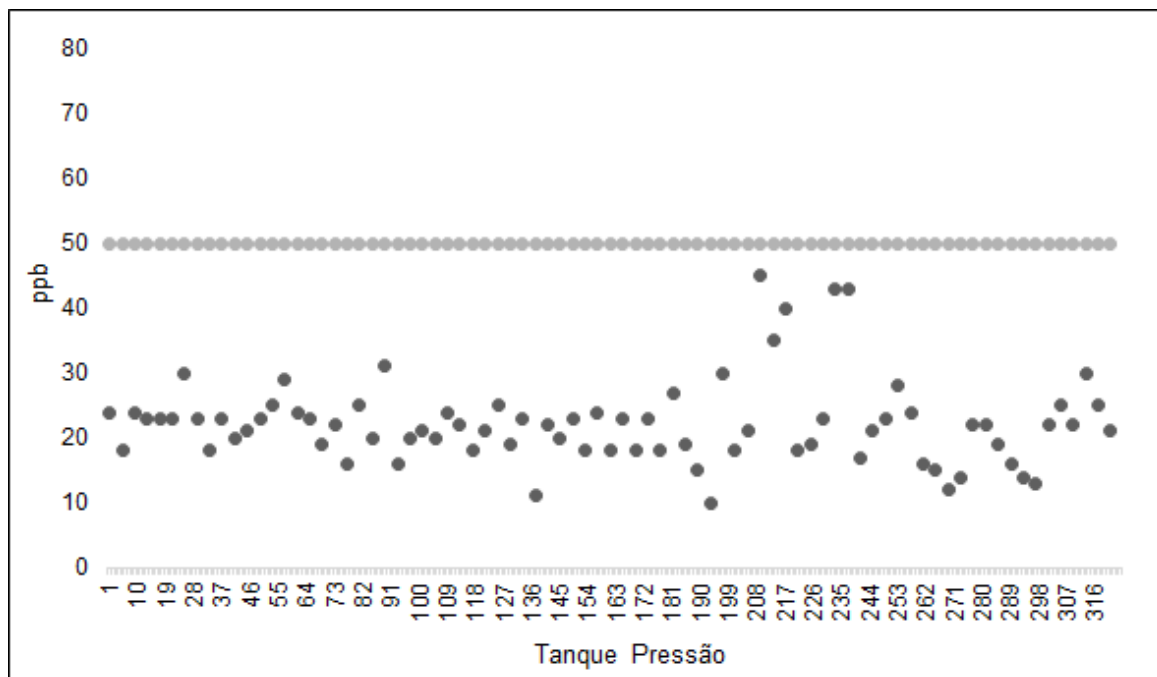
Problemas no controle de temperatura dos fermentadores podem gerar estresse indesejado sobre a levedura. Temperaturas mais elevadas geram o rápido consumo de carboidratos e FAN, levando a desequilíbrios de sabor (OLANIRAN et al., 2017) e, temperaturas mais baixas podem ocasionar lentidão na fermentação.

Segundo Olaniran et al. (2017), o uso de altas concentrações de células melhora o desempenho da fermentação. Assim, dosagens mais altas de fermento aumentam consideravelmente a velocidade de fermentação sem ocasionar modificações severas no sabor. Em contrapartida, dosagens elevadas de fermento levam a uma menor multiplicação celular, implicando em uma população antiga de leveduras no final da fermentação. Na indústria, é uma prática comum o reaproveitamento do fermento em até cinco gerações, por isso a renovação de células é um fator importante. Ao analisar os dados de dosagem de levedura (em gramas de fermento por hectolitro de mosto), 90 % dos tanques de fermentação de mosto com adjuntos estão dentro da faixa de dosagem estipuladas nas receitas tecnológicas, no entanto para mosto puro malte apenas 77 % estavam dentro do esperado.

Olhando mais de perto para as dosagens fora da especificação (23 %), nenhuma teve um desvio maior que 10 g/hL. Levando em consideração o tamanho do fermentadores, a imprecisão na dosagem de fermento não foi considerada um fator preocupante para a estabilidade sensorial do produto.

Em muitas plantas de produção de cerveja, a etapa de filtração, blendagem e carbonatação são consideradas críticas para a qualidade sensorial da cerveja, pois é um momento em que pode ocorrer grande incorporação de oxigênio. A água de blendagem deve passar por um sistema de desaeração, e o nível de oxigênio dissolvido deve tender a zero. No entanto, não foram encontrados registros de avaliação de oxigênio dissolvido na água. Dessa forma, a avaliação foi feita diretamente sobre o nível de oxigênio da cerveja no tanque de armazenamento sob pressão, como ilustrado na Figura 22. O nível máximo estipulado para a concentração de oxigênio é de 50 ppb, e das amostras analisadas, nenhum encontrou-se acima da especificação.

Figura 22 - Concentração de O₂ na cerveja após filtração.

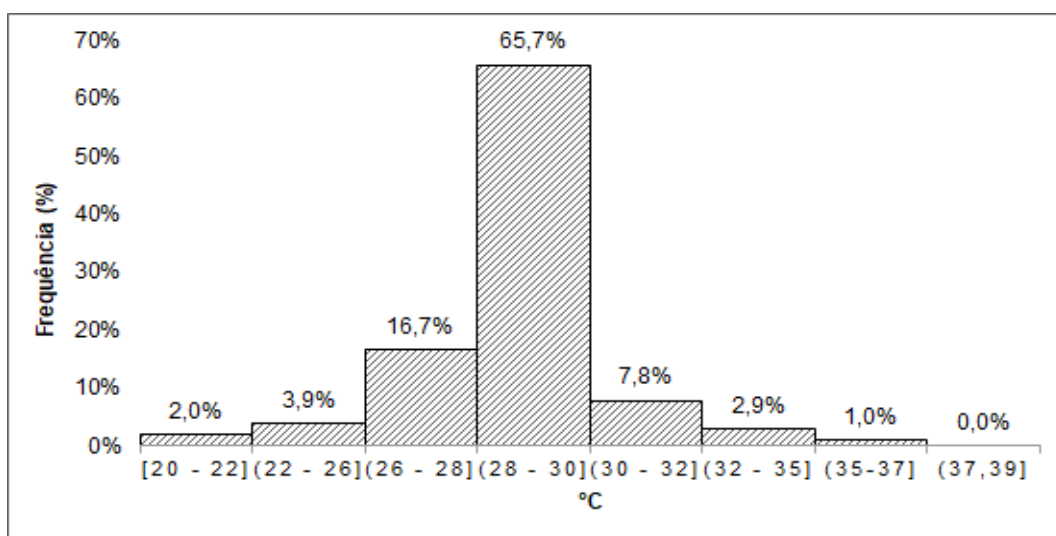


Fonte: Elaborado pela autora

O presente trabalho avaliou dois tipos de envase: em lata e em garrafa de vidro. Após o envase, a cerveja passa por um túnel de pasteurização. A pasteurização é empregada para obter uma cerveja estável em termos de crescimento e deterioração microbiológicos, porém influencia a estabilidade oxidativa da cerveja (LUND et al., 2012). Durante a pasteurização a temperatura da cerveja chega a 60 °C, para que ocorra a inativação de possíveis contaminantes. É importante que após a pasteurização a cerveja não permaneça por longo período de tempo a altas

temperaturas. A Figura 23 demonstra a distribuição de frequência de temperatura da saída do pasteurizador da linha de vidro de 01 de julho de 2019 à 01 de agosto de 2019. Das amostras analisadas, somente uma estava fora da temperatura máxima estipulada de 35 °C, correspondendo a uma porcentagem de 1 % de inconformidade. A maior concentração de amostras sai do pasteurizador entre 28°C e 31°C.

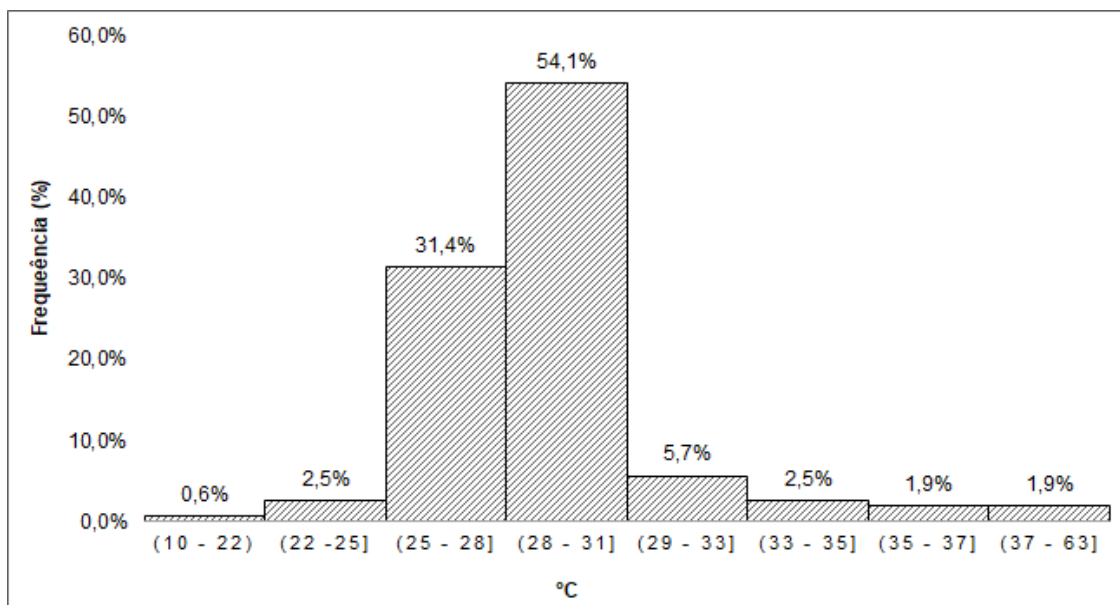
Figura 23 - Distribuição de frequência da temperatura de saída do pasteurizador envasadora de vidro.



Fonte: Elaborado pela autora

A Figura 24 apresenta a distribuição de frequência de temperatura na saída do pasteurizador da linha de envase de lata, de 01 de julho de 2019 a 01 de agosto de 2019. Das amostras avaliadas, seis amostras estavam fora da temperatura máxima estabelecida de 35°C, correspondendo a uma não conformidade de 3,8 %. Houve dois casos críticos em que a cerveja saiu do pasteurizador acima de 60°C, contudo foram casos isolados por conta de um problema mecânico.

Figura 24 - Distribuição de frequência da temperatura de saída do pasteurizador envasadora de lata.



Fonte: Elaborado pela autora

Outro fator importante durante a pasteurização é valor de UP (unidades de pasteurização). Valores de UP muito altos indicam que a cerveja sofreu uma carga térmica muito grande durante a pasteurização, porém valores de UP baixos podem significar que a pasteurização não foi eficiente.

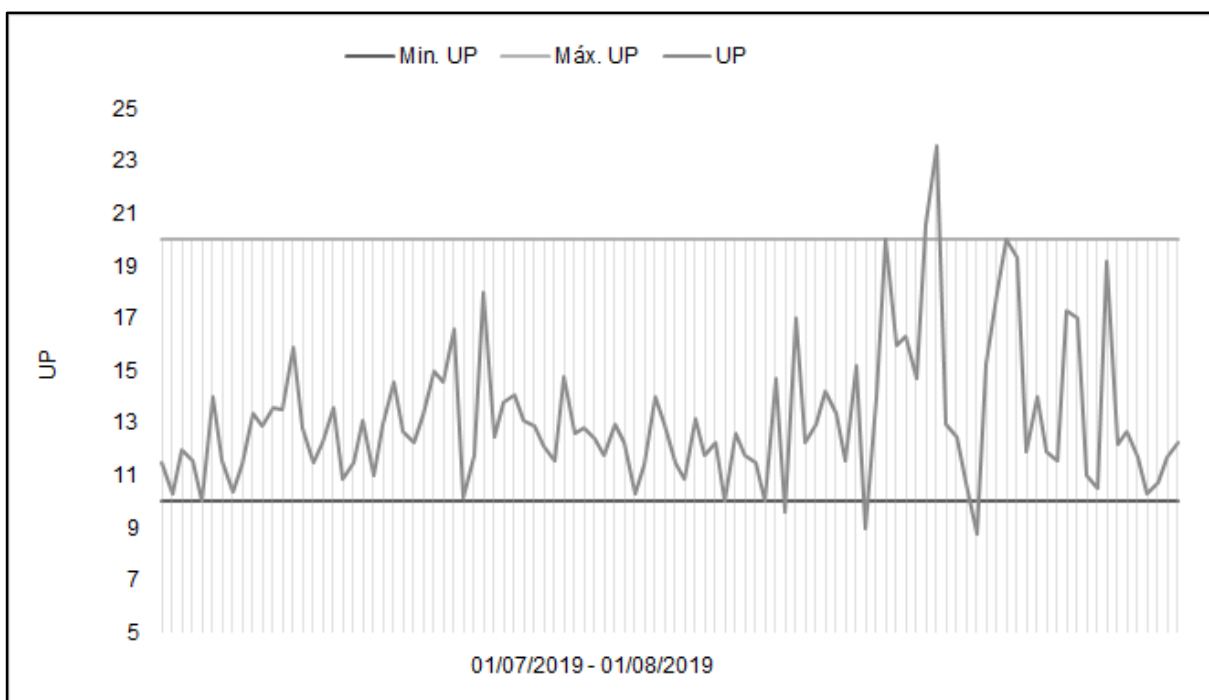
A cada 4 h, para cada linha de envase - lata e garrafa - uma embalagem é introduzida no pasteurizador com o aparelho conhecido como Redpost, que mede a temperatura do líquido, a cada 30 segundos, e o tempo de permanência dentro do túnel pasteurizador. Ao final o mesmo calcula o valor da UP para a amostra. Os dados de UP foram coletados entre os dias 01 de julho de 2019 e 01 de agosto de 2019. A Figura 25 apresenta o compilado dos dados para a envasadora de garrafa de vidro. Das 102 coletas de UP, 4 não estavam entre 10 e 20 UPs, tendo um percentual de não conformidade de 3,9 %. Destas 4 amostras, uma apresentou valores acima de 20 UP e três estavam abaixo de 10 UP. Para as amostras que apresentaram UP abaixo do esperado foram realizados testes microbiológicos para garantir a segurança do consumidor.

Para a linha de envase de lata foram coletadas 160 amostras, sendo que 8 delas estavam acima de 20 UP e nenhuma estava abaixo de 10 UP, conforme ilustrado na Figura 26.

Cao et al. (2011), estudaram a influência da pasteurização da estabilidade sensorial de cervejas tipo pilsen. Os resultados revelaram que, com o aumento da intensidade de pasteurização, o acúmulo de absorção térmica da cerveja acelerou as reações internas, o que causou um envelhecimento prejudicial da cerveja. Para as cervejas com alto valor de UP, houve decréscimo no valor de amargor - proveniente da oxidação de isohumulonas - e no teor de polifenóis e de compostos aromatizantes favoráveis como os ésteres. Em contrapartida, houve um aumento no teor de aldeídos e de DMS.

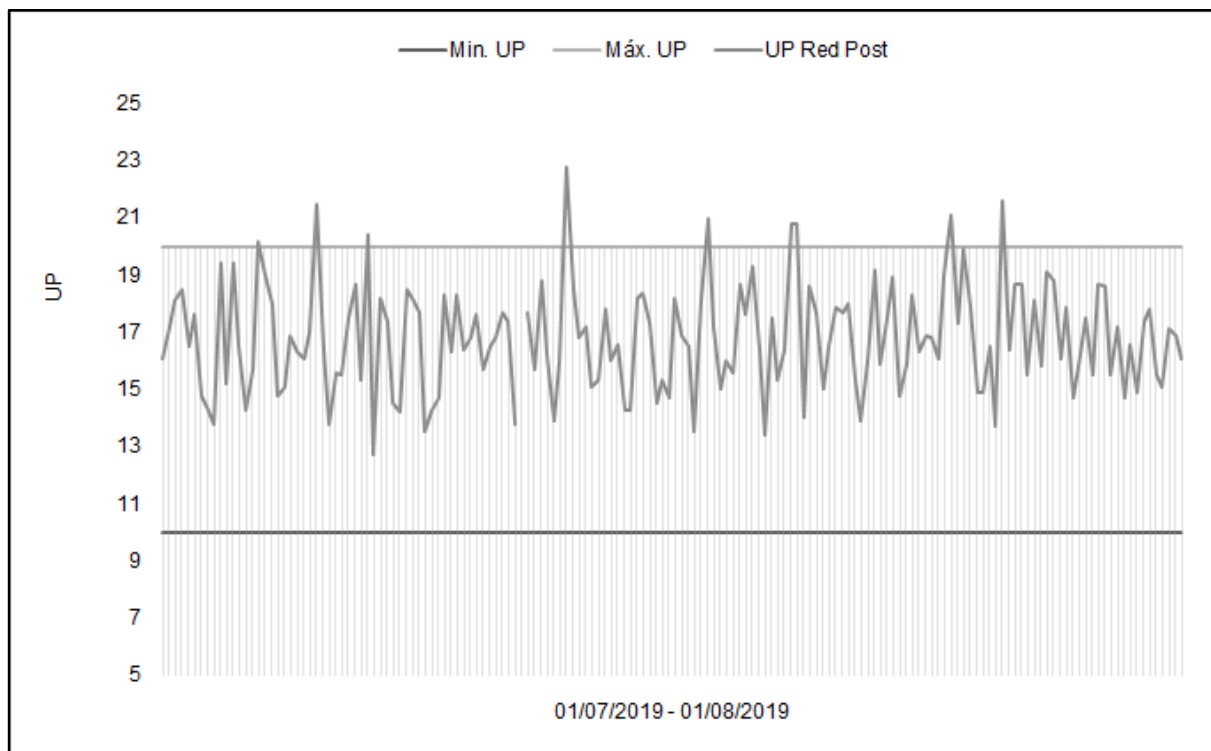
Dessa forma, pode-se trabalhar para melhorar os valores de UP durante a produção, de forma que os mesmos se aproximem a valores próximos do limite inferior de 10 UP, sem prejudicar a segurança microbiológica do produto.

Figura 25 - UP do pasteurizador da envasadora de vidro.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 26 - UP do pasteurizador da envasadora de lata.



Fonte: Elaborado pela autora

A Tabela 7 e a Tabela 8 apresentam um resumo de todos os resultados obtidos a partir da análise dos dados levantados.

Tabela 7 - Resultados obtidos para o checklist 1.

Nº	Parâmetro	Padrão	Resultado
1. Moagem			
1.1	Tipo de moinho	Moinho de rolos Moinho martelo	Moinho martelo
1.2	Tempo de estocagem do malte moído o mais curto possível (do início da moagem ao início da arriada)	Tempo de estocagem:	Tempo de moagem: 50 min Tempo médio de espera: 20 min
		Moinho de rolos: < 120 min	
		Moinho martelo: 90 min	

1.3	Especialmente no moinho de martelos, opere o moinho com capacidade de projeto para evitar superaquecimento da matéria-prima	temperatura máxima < 50°C	Não há controle de temperatura no moinho
2. Mash Tun			
2.1	Temperatura de arriada	55 - 60°C	Temperatura inferior a 55°C
2.2	Rampa de aquecimento	0,8 < 1,5 °C/min	Em média 0,7°C/min
2.3	Tempo total de mostura (do início do enchimento ao início do esvaziamento da tina)	140 min	Figura 13 e Figura 14
3. Filtração			
3.1	Enchimento total do filtro	5 min	O tempo de enchimento é em média 5 minutos
3.2	Filtração mosto primário	< 30 min	Não conformidade de 69 % na filtração de mosto primário puro malte
3.3	Tempo total de filtração	85 min	Não conformidade de 67 % na filtração de mosto primário puro malte
4. Wort Boiling			
4.1	Tempo de aquecimento	< 45 min	Figura 16
4.2	Tempo de fervura	60 min a 75 min	98 % a 60 minutos
4.3	Temperatura no centro do cozinhador (chapéu)	< 104 °C – Max 106 °C	Sem controle de temperatura

4.4	Taxa de evaporação	3-4 %	O cálculo de taxa de evaporação não é confiável, pois os medidores de nível dos cozinhadores não são confiáveis e geram números distorcidos
4.5	Tempo entre o final da fervura e o início da transferência para o decantador	0 min	Figura 17 53 % de não conformidade

5. Decantador

5.1	Tempo de transferência	10 – 20 min	Tempo de transferência de 15 minutos
5.2	Tempo de descanso no decantador	10 – 30 min Target: ≤ 20 min	Tempo de descanso de 20 minutos
5.3	Velocidade de entrada no decantador	≥ 2,5 m/s	Considerando: 490 hL em 15 min - 0,0544 m ³ /s Diâmetro entrada do whirlpool: 4" = 01016 m ± 6 m/s
5.4	Tempo total de resfriamento	< 60 min	Tempo de resfriamento em média 50 minutos
5.5	Tempo total de fabricação de mosto	390 min	Figura 18 e Figura 19

6. Túnel Pasteurização

6.1	Temperatura máxima na saída do pasteurizador	< 35 °C	Figura 23 e Figura 24
6.2	UP máxima	10 a 20 UP	Figura 25 e Figura 26

Tabela 8 - Resultados obtidos para o checklist 2.

Nº	Parâmetro	Padrão	Resultado
1. Controle do fermento			
1.1	Geração do fermento	< 5	O fermento é somente até a quinta geração
1.2	Recolha de fermento	24 – 48 h	A recolha do fermento é feita em até 36 horas após o final da fermentação
1.3	Qualidade da levedura	Escolha do fermento que será dosado com base no histórico de fermentações anteriores (% de células mortas, fermentação prévia sem desvios)	Não é feita uma seleção do fermento com base no histórico do fermento. Somente é analisado as células mortas no momento da dosagem
2. Enchimento do tanque			
2.1	Tempo de enchimento do tanque	12 – 24 h	Em média os tanques são enchidos em 22 horas
2.2	Dosagem de levedura	Todo o fermento é dosado na primeira batelada de enchimento	Não é possível dosar toda a quantidade de levedura na primeira batelada, por causa da capacidade da bomba de envio de fermento
2.3	Aeração do mosto	12 – 34 mg/L O ₂	Não é possível quantificar a concentração de oxigênio dissolvido
3. Fermentação			
3.1	Controle da temperatura de fermentação		O controle de temperatura não é eficiente

3.2	Quantidade de levedura dosada	486 - 504 g/hL (mosto com adjunto) 259 - 317 g/hL (mosto puro malte)	Apesar de alguns desvios, a dosagem de levedura está dentro do padrão
3.3	Velocidade de fermentação	2,36 - 3,04 °P/dia (mosto com adjunto) 1,9 - 2,02 g/hL (mosto puro malte)	Grande problema na velocidade de fermentação de mosto puro malte - 98% de não conformidade
4. Tanque de pressão			
4.1	Baixa concentração de oxigênio no tanque de pressão	$\leq 0,05\text{mg/L}$	Todas as liberações analisadas foram feitas abaixo de 0,05mg/L
4.2	Oxigênio na água de blendagem	$\leq 0,10\text{ mg/L}$	Não há histórico de medição de oxigênio da água de blendagem.
4.3	Temperatura da cerveja após filtração	$\leq 2\text{ °C}$	A temperatura é mantida abaixo de 2°C

4.3. Análise do Potencial Redox

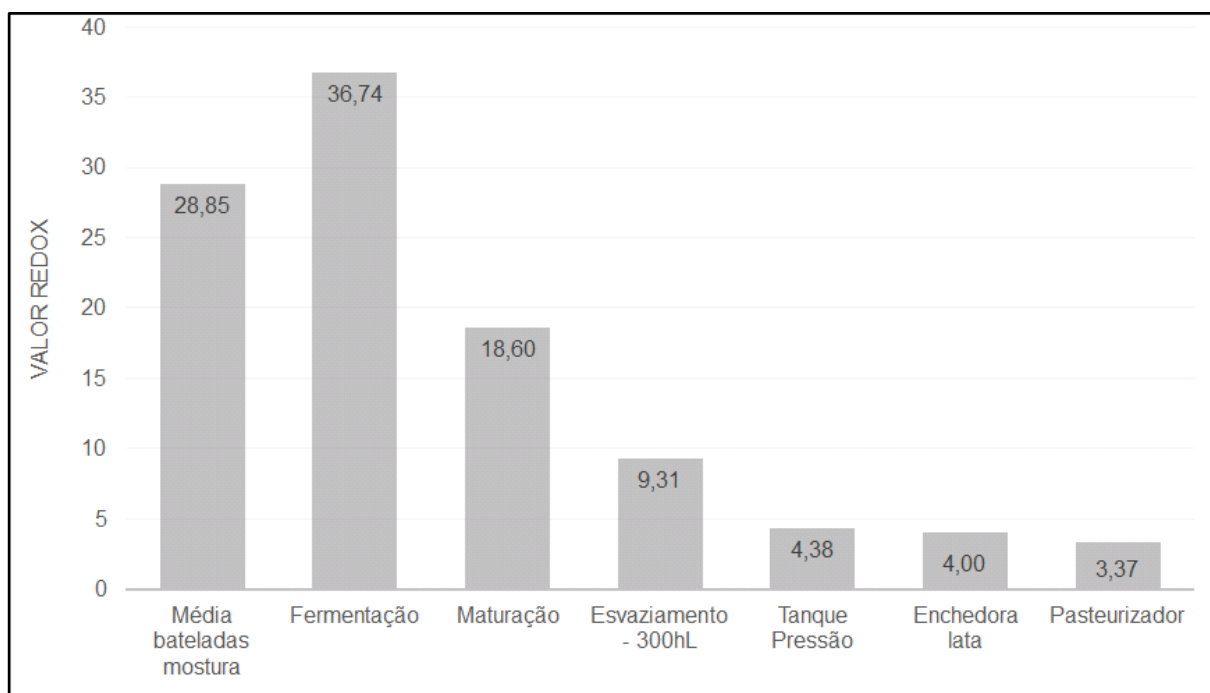
Quando um agente oxidante é adicionado à cerveja, as substâncias redutoras serão oxidadas. Em uma amostra contendo muitas substâncias redutoras, o reagente DCI, que possui uma coloração púrpura viva, será reduzido rapidamente e totalmente consumido, nesse caso o valor redox, isto é, a constante da velocidade da reação, será elevado.

Pretendeu-se acompanhar toda a produção da cerveja, desde a etapa de fabricação do mosto até a saída do pasteurizador. A partir da avaliação dos resultados das análises foi possível identificar quais os principais pontos que prejudicam a qualidade da cerveja.

O produto A foi analisado durante a produção de dois tanques de fermentação. Foram coletadas amostras de três bateladas de produção de mosto, após o resfriamento, durante o enchimento do tanque. A Figura 27 apresenta os resultados obtidos durante a produção do fermentador que foi envasado em lata, e a Figura 28 os resultados obtidos durante a produção do fermentador que foi envasado em garrafa de vidro.

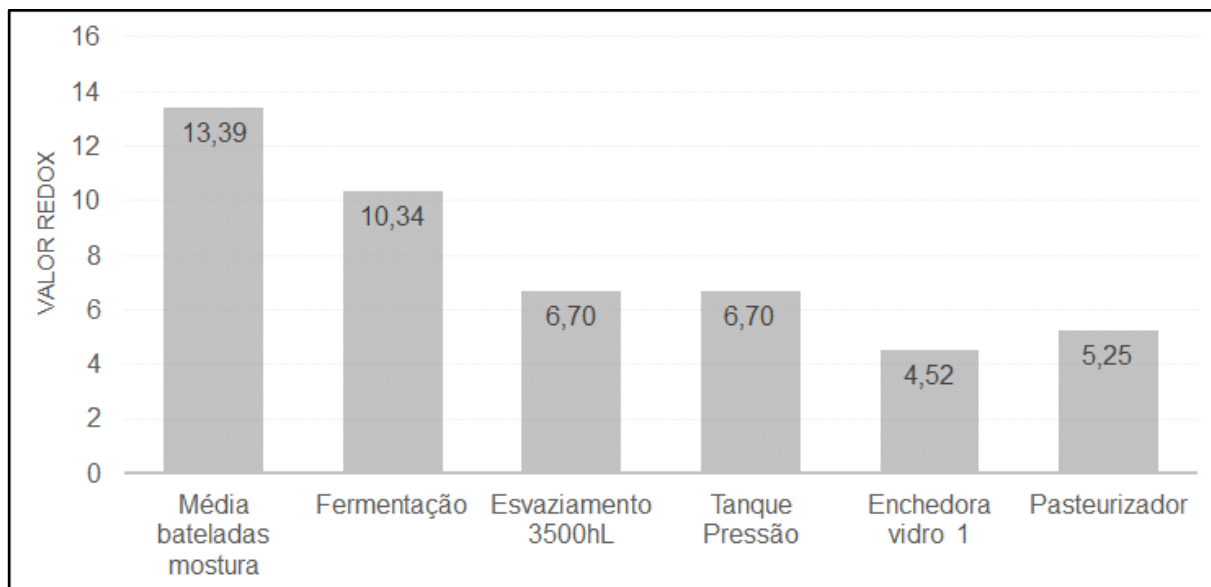
A principal diferença entre as duas produções é o valor redox de partida, que foi muito maior na fabricação do mosto apresentado na Figura 27, se comparada a da Figura 28. No entanto, ao analisar os dados de produção (tempo total de mosturação, tempo de filtração, tempo de fervura, tempo total de fabricação) não foi possível concluir as razões que levaram a essa inconsistência. Contudo, ao longo da produção a queda do valor redox do referente a Figura 27 foi muito maior do que a da Figura 28.

Figura 27 - Valor redox ao longo do produto A envasado em lata.



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 28 - Valor redox ao longo do produto A envasado em vidro, pela enchedora 1



Fonte: Elaborado pela autora

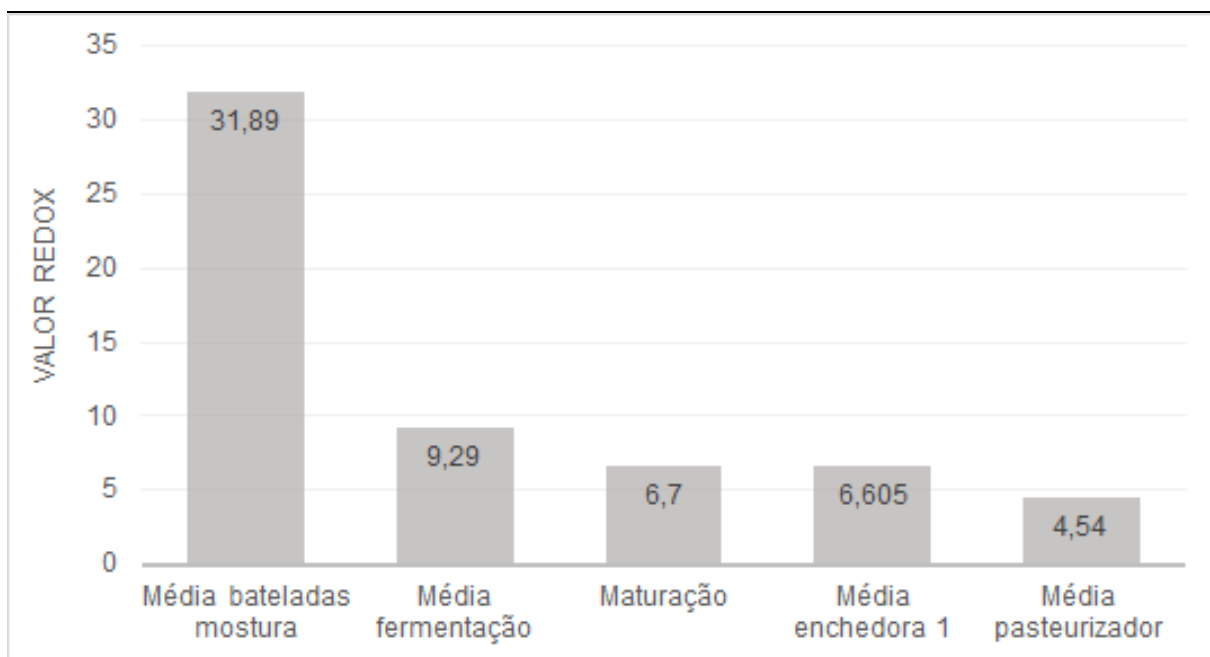
No produto B – Figura 29 - foi analisado somente um tanque de fermentação. Foram analisadas três bateladas de produção de mosto, e houve uma diminuição de aproximadamente 71% do valor redox quando comparado a média dos valores obtidos na brassagem e fermentação. Entre a maturação e a enchedora, o valor redox manteve-se estável, porém houve um decréscimo de 31% no pasteurizador.

O comportamento do produto B é similar ao encontrado para o produto C - Figura 30 – onde, houve uma queda brusca do valor redox entre a fase de mostura e a maturação, em torno de 75 % de decréscimo. A filtração praticamente não alterou o valor redox do produto, como ocorreu no caso da Figura 27, e a enchedora propiciou um declínio de aproximadamente 30 %.

A diferença entre o produto A para os produtos B e C é que, o primeiro é produzido com mosto a partir da adição de adjuntos e o segundo e o terceiro são mostos puro malte.

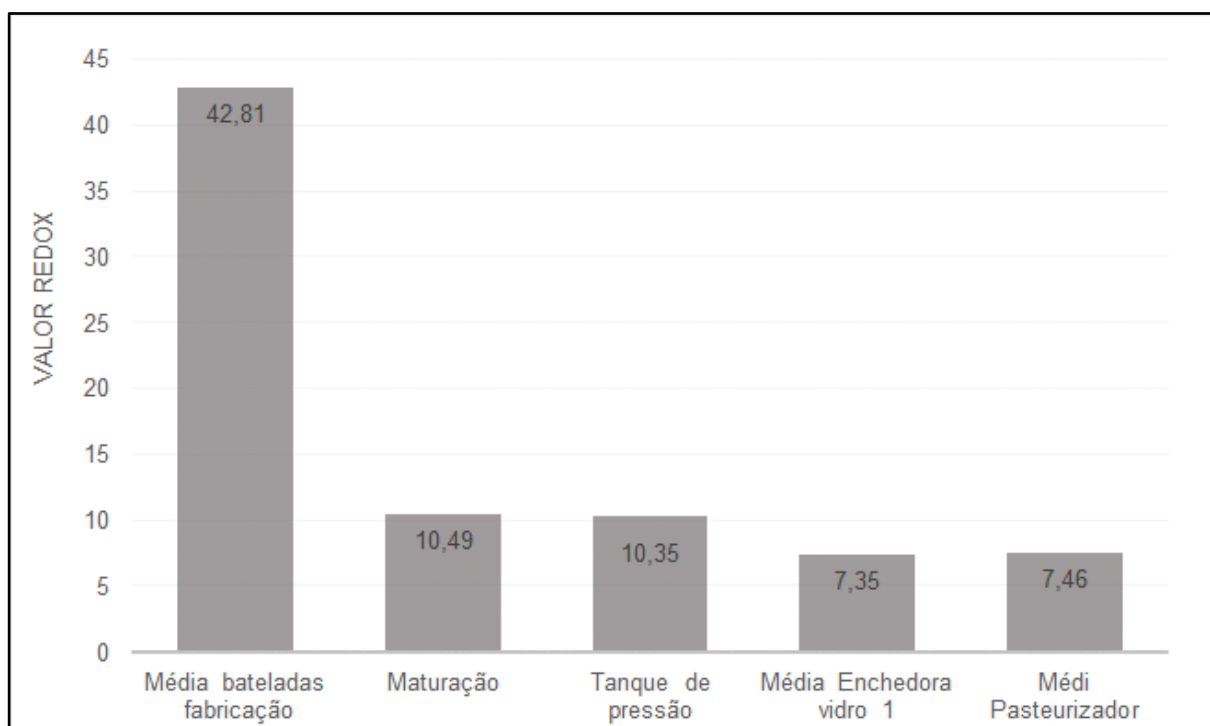
Visando melhorar o valor redox de partida - mosturação - foi feito um teste de produção com temperatura de arriada de 56 °C, objetivando diminuir a atuação de lipoxigenases. Os valores de redox obtidos estão apresentados na Figura 31. Contudo, não houve aumento do valor redox, porém novos testes podem ser realizados com temperaturas diferentes.

Figura 29 - Valor redox do produto B envasado em vidro, pela enchedora 1



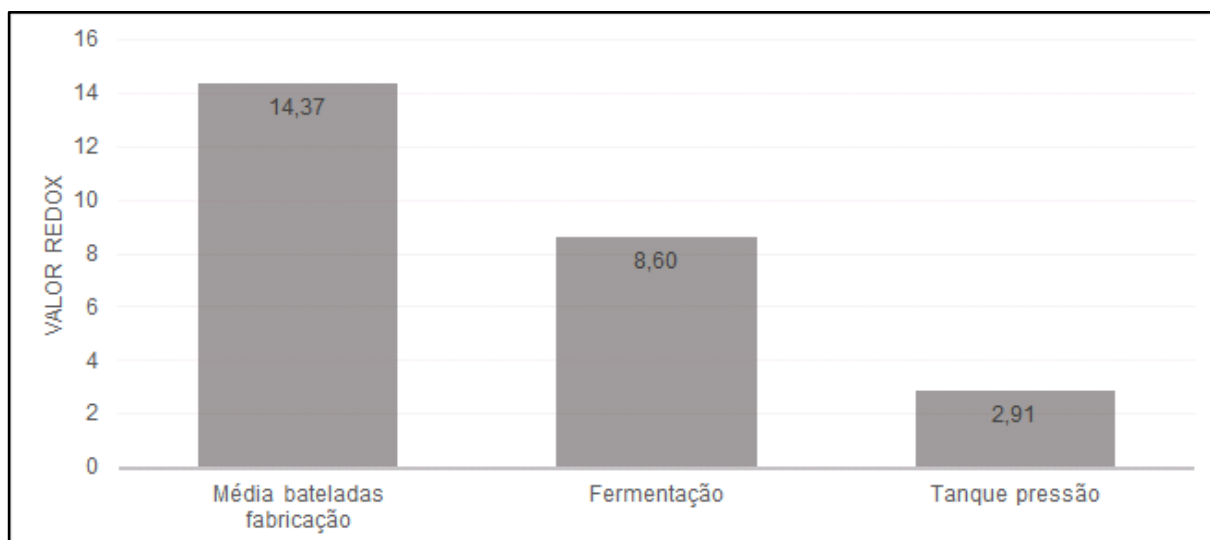
Fonte: Elaborado pela autora

Figura 30 - Valor redox do produto C envasado em vidro



Fonte: Elaborado pela autora

Figura 31 - Valor redox do produto A - Teste arriada a 56°C.



Fonte: Elaborado pela autora

4.4. Sugestões de melhorias de processo

A partir dos resultados obtidos é possível propor ações visando aumentar a qualidade sensorial das cervejas produzidas na planta industrial analisada. Tendo em vista as avaliações sensoriais durante a vida de prateleira das diferentes marcas produzidas, o objetivo não é somente aumentar a qualidade das cervejas frescas, mas sim até o final de seu ciclo de vida.

Além do teste realizado aumentado a temperatura de arriada do malte para 56 °C, é possível realizar teste a 60 °C e avaliar não somente o valor redox do mosto, mas também a quantidade de FAN gerada e posteriormente o teor de aldeídos ao final da fermentação, via cromatografia gasosa. Ajustar a pressão de vapor que chega até as tinas de mosturação, visando aumentar a taxa de aquecimento do mosto e diminuir os desvios de tempo de produção. Ademais, regular o aquecimento do mosto até a fervura, diminuindo a carga térmica incidente sobre o mosto, são ações que podem melhorar o valor redox do mosto que vai para a fermentação.

Contudo, o maior problema de perda de qualidade está na fermentação/maturação. Controlar a aeração do mosto é fundamental para a produção de cervejas com qualidade, assim como o controle rigoroso da temperatura de fermentação. Contudo, ajustar esses dois controles requer alto investimento financeiro, pois implica na troca do sistema de aeração atual e também a troca das mantas térmicas e do sistema de injeção de líquido refrigerante dos tanques

fermentadores. Dessa forma, uma ação que pode auxiliar durante essa fase é realizar uma análise de estresse fermentativo prévio, antes de reutilizar fermento.

5. CONCLUSÃO

Os principais defeitos descritos nas avaliações sensoriais da cerveja estão relacionados ao envelhecimento oxidativo da cerveja, principalmente quando analisadas as amostras com três meses de vida de prateleira.

Com base nas análises realizadas, foi possível concluir que a etapa do processo de fabricação que mais impacta na qualidade sensorial da cerveja é a fermentação / maturação. Não é possível quantificar a quantidade de oxigênio dissolvido no mosto, durante a etapa de aeração, a temperatura dos tanques de fermentação sofre variações não intencionais durante a fermentação, gerando estresse desnecessário ao fermento, que já está submetido a um ambiente com alta concentração de açúcares e pressão de coluna, devido ao tamanho dos tanques.

Apesar disso, existem oportunidades durante a brassagem, pois os tempos que o mosto permanece a quente podem ser diminuídos, como por exemplo, ajustar o tempo de aquecimento do mosto até o ponto de fervura, transferir o mosto imediatamente após o fim da fervura para o decantador e diminuir o tempo de descanso no decantador.

Como perspectivas futuras, dando continuidade a este trabalho uma avaliação do sistema de propagação de levedura, e da sua saudabilidade durante a fermentação, do ponto de vista dos impactos sensoriais causados pelo estresse devido a alterações de temperatura, concentração de açúcares e aeração não controlada. Além disso, é importante avaliar com mais detalhes o envase e a pasteurização da cerveja, que não foram o foco principal deste estudo.

Nesse aspecto, o uso de ferramentas da gestão da qualidade são essências para a continuidade do estudo desenvolvido nesse trabalho, pois corroboram tornando o projeto mais robusto. Deste ponto de vista, é possível implementar a metodologia Kaisen, semelhante ao ciclo PDCA.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARTH, Roger. **The Chemistry of Beer: The science in the suds**. New Jersey: Wiley, 2013. 330 p.

BAUTZER, Tatiana; BLENKINSOP, Philip; REUTERS, Gram Slattery da. **Bar por bar, Heineken enfrenta AB Inbev no Brasil**. 2018. Revista Exame. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/negocios/bar-por-bar-heineken-enfrenta-ab-inbev-no-brasil/>>. Acesso em: 26 nov. 2019.

BELTRAMELLI, Mauricio. **Cervejas - Brejas & Birras: Um guia completo para desmistificar a bebida mais popular do Brasil**. 2. ed. São Paulo: Leya, 2014. 320 p.

BOULTON, Chris; QUAIN, David. **Brewing Yeast and Fermentation**. Blackwell Science, 2001. 659 p.

BRAVI, Elisabetta et al. Influence of barley variety and malting process on lipid content of malt. **Food Chemistry**, v. 135, n. 3, p.1112-1117, dez. 2012.

BRASIL. Instrução Normativa nº 65, de 11 de dezembro de 2019. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para os produtos de cervejaria. **Instrução Normativa Nº 65, de 10 de dezembro de 2019**. Brasília, DF: Diário Oficial da União, n. 239, Seção 1, p. 31. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento.

BRIGGS, Dennis E. et al. **Brewing Science and practice**. Cambridge: Woodhead Publishing Limited, 2004. 983 p.

BRIGGS, Dennis E. et al. **Malts & Malting**. Londres: Blackie Academic & Professional, 1998. 796 p.

CAO, Lei et al. Influence of Pasteurising Intensity on Beer Flavour Stability. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 117, n. 4, p.587-592, 2011.

CERVBRASIL. **Dados do setor.** Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/>. Acesso em: 10 set. 2019.

DAMODARAN, Srinivasan; PARKIN, Kirk L. **Química de alimentos de Fennema.** 5. ed. Porto Alegre: Artmed Editora, 2018. 1090 p. Revisão técnica: Adriano Brandelli.

DRAGONE, G.; SILVA, J.B.A. Cerveja. In: VENTURINI FILHO, Waldemar Gastoni (Coord.). **Bebidas alcoólicas: Ciência e Tecnologia.** São Paulo: Edgar Blücher, 2011. (Bebidas, v.1), p. 15-50

EUROMONITOR INTERNATIONAL. Beer in Brazil - Analysis. Country Report jun. 2018.

FERREIRA, Inês M.; GUIDO, Luís F. Impact of Wort Amino Acids on Beer Flavour: A Review. **Fermentation**, v. 4, n. 2, p.23-36, 28 mar. 2018.

HUGHES, Paul. Beer flavour. In: BAMFORTH, Charles W. (Ed.). **Beer: A Quality Perspective.** Elsevier, 2009. Cap. 2. p. 61-83.

HUIGE, Nick J. Progress in Beer Oxidation Control. **Acs Symposium Series**, p.64-97, ago. 1993.

KING, Bonnie M; DUINEVELD, C.a. Changes in bitterness as beer ages naturally. **Food Quality and Preference**, v. 10, n. 4-5, p.315-324, jul. 1999.

KOBAYASHI, Naoyuki et al. The production of linoleic and linolenic acid hydroperoxides during mashing. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v. 76, n. 5, p.371-375, jan. 1993.

KUCHEL, Lynne; BRODY, Aaron L.; WICKER, Louise. Oxygen and its reactions in beer. **Packaging Technology and Science**, v. 19, n. 1, p.25-32, jan. 2006.

KUNZE, Wolfgang. **Technology Brewing and Malting.** 2. ed. Berlin: VLB, 1999. 722 p. Tradução: Travor Wainwright.

LEIPER, Kenneth A.; MIEDL, Michaela. Colloidal stability of beer. In: BAMFORTH, Charles W. (Ed.). **Beer: A Quality Perspective**. Elsevier, 2009. Cap. 4. p. 111-161.

LIZARELLI, Fabiane Letícia; TOLEDO, José Carlos de. Práticas para a melhoria contínua do Processo de Desenvolvimento de Produtos: análise comparativa de múltiplos casos. **Gestão & Produção**, v. 23, n. 3, p.535-555, 17 maio 2016.

LUND, Marianne N. et al. Effect of Pasteurization on the Protein Composition and Oxidative Stability of Beer during Storage. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**, v. 60, n. 50, p.12362-12370, 11 dez. 2012.

MADSEN, Erik Strøjer; WU, Yanqing. Marketing and Globalization of the Brewing Industry. **Brewing, Beer and Pubs**, p.34-53, 2016.

MELO FILHO, Eber R. **Comportamento do consumidor de cervejas especiais: motivos que levam os consumidores a optarem pelo produto**. 2018. 16 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração de Empresas, Centro Universitário de Brasília – Uniceub, Brasília, 2018.

MOSHER, Michael; TRANTHAM, Kenneth. **Brewing Science: A Multidisciplinary Approach**. Springer International Publishing, 2017. 408 p.

OLANIRAN, Ademola O. et al. Flavour-active volatile compounds in beer: production, regulation and control. **Journal of the Institute of Brewing**, v. 123, n. 1, p.13-23, jan. 2017.

OLIVEIRA, Ailson Luiz de; HU, Osvaldo Ramos Tsan. **Gerenciamento do Ciclo da Qualidade**. Alta Books, 2018. 300 p.

PALMER, John; KAMINSKI, Colin. **Water: A comprehensive guide for brewers**. Boulder, EUA: Brewers Publications, 2013.

PARKER, D. K. Beer: production, sensory characteristics and sensory analysis. In: PIGGOTT, John (Ed.). **Alcoholic Beverages: Sensory Evaluation and Consumer Research**. Woodhead Publishing, 2012. Cap. 6. p. 133-158.

PHILIPPS-WIEMANN, Petra. Proteases—human food. **Enzymes in Human and Animal Nutrition**, p.267-277, 2018.

SCHÜSSLER, Vilmar. **Elaboração de malte**. Porto Alegre: Instituto da Cerveja Brasil, 2019. 129 slides, color.

SILVA, Joyce Anne Ribeiro Franco da; NASCENTES, Zama Caixetas. Caso Toddyinho: Uma Análise do Gerenciamento da Crise do Achocolatado contaminado em 2011. In: CONGRESSO BRASILEIRO CIENTÍFICO DE COMUNICAÇÃO ORGANIZACIONAL E DE RELAÇÕES PÚBLICAS, 13., 2019, São Paulo. **Anais...** . São Paulo: Abrapcorp, 2019. p. 1 - 11.

SUZUKI, Koji. 125th Anniversary Review: Microbiological Instability of Beer Caused by Spoilage Bacteria. **Journal of the Institute Of Brewing**, v. 117, n. 2, p.131-155, 2011.

STRONG, Gordon; ENGLAND, Kristen (Ed.). **Beer Judge Certification Program 2015: Beer Style Guidelines**. BJCP Inc., 2015. Disponível em: <https://www.bjcp.org/docs/2015_Guidelines_Beer.pdf>. Acesso em: 14 set. 2019.

STEWART, G.G. Beer Shelf Life and Stability. In: SUBRAMANIAM, Persis (Ed.). **The Stability and Shelf Life of Food**. 2. ed. Woodhead Publishing, 2016. Cap. 10. p. 293-309.

VANDERHAEGEN, B et al. The chemistry of beer aging – a critical review. **Food Chemistry**, v. 95, n. 3, p.357-381, abr. 2006.

WIETSTOCK, Philip C.; KUNZ, Thomas; METHNER, Frank-jürgen. Relevance of Oxygen for the Formation of Strecker Aldehydes during Beer Production and Storage. **Journal Of Agricultural And Food Chemistry**, v. 64, n. 42, p.8035-8044, 18 out. 2016.