



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO
SUL
ESCOLA DE ENGENHARIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO EM
ENGENHARIA QUÍMICA



**Utilização da Metodologia Agile para diminuir a
quantidade de oxigênio incorporado na cerveja**

Autor: João Vitor Khauam Ferla

Orientadores: Júlia Ribeiro Sarkis e Edson Cordeiro do Valle

Porto Alegre, dezembro de 2021

Autor: João Vitor Khauam Ferla

Utilização da Metodologia Agile para diminuir a quantidade de oxigênio incorporado na cerveja

*Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
COMGRAD/ENQ da Universidade Federal do Rio Grande
do Sul como parte dos requisitos para a obtenção do título
de Bacharel em Engenharia Química*

Orientadores: Júlia Ribeiro Sarkis e Edson Cordeiro do Valle

Banca Examinadora:

Prof^a Doutora, Daniele Misturini Rossi, UFRGS

Prof^a Doutora, Debora Jung Luvizetto Faccin, UFRGS

Porto Alegre

2021

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha mãe, Gislaine, que é a pessoa mais forte e guerreira que já conheci. Se houvesse uma lista de pré-requisitos para ser a melhor mãe do mundo, ela cumpriria todos e adicionaria mais alguns à lista. Agradeço ao meu pai, Ricardo, a pessoa que mais se preocupa em garantir que eu esteja bem, em todos os aspectos da vida, fazendo de tudo para isso. Agradeço às minhas irmãs de sangue, Dani e Laura, e ao meu irmão de vida, Pedro, por estarem sempre presentes para conversar e me aconselhar, me apoiando nos momentos difíceis e comemorando as vitórias comigo. Agradeço, muito, aos meus avós, Luiz e Lara, por termos uma relação do que é o amor em estado puro, com um carinho mútuo imensurável e uma intimidade que nunca vi igual entre avós e netos. Agradeço à minha sobrinha, Marina, por alegrar a minha vida em todos os momentos que estamos juntos.

Agradeço aos meus amigos e todas as pessoas com quem convivi na faculdade. Obrigado por estarem comigo nas minhas melhores histórias. São pessoas que me ajudaram a tomar as decisões certas, como não incomodar, ir para a prova de Inorgânica, não colar coisas nas paredes dos outros, julgar adequadamente a idade de pessoas desconhecidas, não deixar a família preocupada ao perder o celular, medir o comprimento da sala de estar com unidades reconhecidas internacionalmente, subir em palcos, não violar nenhum mandamento, não falar idiomas diferentes em momentos desnecessários, andar em brinquedos seguros em cidades do interior do RS, imitar corretamente integrantes de programas esportivos, ajudar os amigos nas atividades no ERE, manter o comportamento apropriado no Bar 1, reagir de maneira adequada a uma notícia dada no Parcão, terminar as noites no lugar certo, não imitar jogadores de futebol em concentrações, mascar chiclete de maneira silenciosa, ponderar bastante antes de ir para o interior do RS, não quebrar nada, manter o controle de convidados em um after e ir para O Lago.

RESUMO

A elevada concentração de oxigênio na cerveja causa efeitos indesejados na sua qualidade, como envelhecimento mais rápido do produto e características aromáticas e sensoriais indesejadas. Com o objetivo de reduzir a incorporação de oxigênio durante o processo produtivo da cerveja, foi montado um grupo de estudo na Cervejaria Ambev de Viamão, Rio Grande do Sul, para, com a implementação da metodologia *Agile*, elaborar um plano de ações para corrigir esse problema. Para a correta implementação da metodologia e resolução do problema, foi empregado um conjunto de ferramentas diversas: *Scrum*, *Kanban*, Diagrama de Espinha de Peixe, Matriz de Esforço e Impacto, Matriz GUT, Matriz de Priorização de Causas Prováveis e Método dos 5 Porquês. Após a realização do mapeamento do processo, identificação dos principais pontos de incorporação de oxigênio na cerveja (para reduzir sua concentração para menos de 10ppb) e elaboração do plano de ação, foram realizadas as medidas corretivas durante quatro meses, de fevereiro a maio de 2021. A evolução foi notória, com redução da média de incorporação de oxigênio de 18,45 ppb para 7,86 ppb. Além disso, houve decréscimo significativo na quantidade de amostras acima do limite permitido, com redução de 20 amostras no mês inicial para 5 no mês final. O estudo de caso foi um sucesso, com resultado positivo observado a partir da implementação da metodologia *Agile* para a redução da concentração de oxigênio na cerveja e, conseqüentemente, melhora da sua qualidade na venda para o consumidor. Os objetivos de identificação dos principais pontos de incorporação de oxigênio no processo e ações para eliminá-los foram cumpridos de forma satisfatória.

Palavras-chave: *Cerveja, Oxigênio, Agile, Scrum*

ABSTRACT

The high oxygen concentration in beer causes unwanted effects on its quality, such as fast product aging and unwanted aromatic and sensory characteristics. Aiming to reduce oxygen incorporation during the beer production process, a study group was set up to, with the implementation of the Agile methodology, prepare an action plan to correct this problem. For the correct implementation of the methodology and problem solving, a set of different tools was defined: Scrum, Kanban, Fishbone Diagram, Effort and Impact Matrix, GUT Matrix, Probable Causes Prioritization Matrix and Method of 5 Why. After carrying out the process mapping, identifying the main points of oxygen incorporation in the beer to reduce its concentration to less than 10ppb and preparing the action plan, they were carried out as corrective measures for four months, from February to May 2021. Evolution is notorious, with a reduction in the average oxygen incorporation from 18.45 ppb to 7.86 ppb. In addition, there was a significant decrease in the number of samples above the allowed limit, reducing from 20, in the initial month, to 5 in the final month. The case study was a success, with the positive result observed from the implementation of the Agile methodology to reduce the oxygen concentration in beer and, consequently, improve its quality when sold to the customer. The objectives of identifying the main points of incorporation of oxygen in the process and actions to eliminate them were satisfactorily met.

Keywords: *Beer, Oxygen, Agile, Scrum*

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração da divisão das colunas do Método Kanban	4
Figura 2: Quadrantes da Matriz de Esforço e Impacto	6
Figura 3: Significado das notas da Matriz GUT	7
Figura 4: Fluxograma do Processo Cerveja	8
Figura 5: Fluxograma da Área Fria do Processo Cerveja	11
Figura 6: Imagem de uma Placa de Manobra de Tubulações	12
Figura 7: Funcionamento de uma bomba centrífuga	13
Figura 8: Esquema completo de reações de oxidação da cerveja	16
Figura 9: Diagrama de Espinha de Peixe para Incorporação de Oxigênio	17
Figura 10: 5 Porquês do vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga	20
Figura 11: Soluções propostas para o vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga	21
Figura 12: 5 Porquês do oxigênio agregando durante o deslodamento	21
Figura 13: Soluções propostas para o oxigênio agregando durante o deslodamento	23
Figura 14: 5 Porquês da incorporação de oxigênio na partida da Filtração 3	23
Figura 15: Soluções propostas para incorporação de oxigênio na partida da filtração	24
Figura 16: 5 Porquês do Aldox produzindo água com oxigênio alto	24
Figura 17: Soluções propostas para Aldox produzindo água com alta concentração de oxigênio	25
Figura 18: 5 Porquês da incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração	26
Figura 19: Soluções propostas para incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração	26

Figura 20: Medidor portátil de oxigênio	28
Figura 21: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) <i>versus</i> número de lotes em fevereiro de 2021	29
Figura 22: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) <i>versus</i> número de lotes em março de 2021	29
Figura 23: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) <i>versus</i> número de lotes em abril de 2021	30
Figura 24: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) <i>versus</i> número de lotes em maio de 2021	30

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Causa-raiz para cada categoria dos 6M	5
Quadro 2: Principais enzimas que atuam na mosturação	9

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Diagrama de Priorização das possíveis causas incorporadoras de oxigênio na cerveja	19
Tabela 2: Análise dos dados de concentração de oxigênio por amostra	31

SUMÁRIO

1	Introdução	1
2	Revisão Bibliográfica	2
2.1	Agile	Erro! Indicador não definido.
2.1.1	<i>Scrum</i>	3
2.1.2	<i>Kanban</i>	3
2.1.3	Diagrama de Espinha de Peixe	4
2.1.4	<i>Matriz de Esforço e Impacto e GUT</i>	5
2.1.5	<i>Método dos 5 Porquês</i>	7
2.2	Oxigênio na Cerveja	15
3	Estudo de Caso	17
3.1	Processo Cerveja	8
3.1.1	<i>Brassagem</i>	8
3.1.2	<i>Fermentação</i>	10
3.1.3	<i>Maturação</i>	13
3.1.4	<i>Filtração</i>	14
3.2	Diagrama de Espinha de Peixe	17
3.3	Matriz de Priorização de Causas Prováveis e Matriz GUT	19
3.4	Método dos 5 Porquês	19
4	Resultados	Erro! Indicador não definido.8
5	Conclusões e Trabalhos Futuros	32
	REFERÊNCIAS	33

1 Introdução

Durante o processo de produção da cerveja, a incorporação de oxigênio prejudica a qualidade do produto, uma vez que reduz o seu prazo de validade, além de adicionar aromas e sabores indesejados para o consumidor.

A metodologia empregada no trabalho é a metodologia *Agile*, cuja principal missão é garantir a qualidade do produto entregue ao cliente. Neste caso, uma baixa concentração de oxigênio incorporado representa melhor qualidade da cerveja. Dentro do princípio *Agile*, se pode fazer uso de diversas outras metodologias e ferramentas para se atingir o objetivo. Neste trabalho, serão explicados e aplicados os conceitos das metodologias *Scrum*, *Kanban* e o Método dos 5 Porquês, além da aplicação das ferramentas Diagrama de Espinha de Peixe, Matriz de Esforço e Impacto e Matriz GUT.

Visando a correta aplicação de métodos e ferramentas de gestão para identificação e correção dos principais pontos de incorporação de oxigênio, é necessário um conhecimento profundo do processo de produção da cerveja. Assim, este trabalho apresenta o detalhamento deste processo, incluindo suas principais etapas: brassagem, fermentação, maturação e filtração. Ademais, se demonstra de forma detalhada o impacto da presença do oxigênio na cerveja em altas concentrações, com a presença das principais reações envolvidas.

De posse do conhecimento necessário para a realização do estudo de caso, se chega à causa-raiz dos problemas encontrados no mapeamento do processo através do emprego do Método dos 5 Porquês, que resulta em um plano de ação para a correção dos principais problemas. Os resultados do cumprimento deste plano de ação são exibidos e possibilitam uma análise para determinar se as ações empregadas foram eficientes para diminuir a incorporação de oxigênio na cerveja.

Este trabalho tem como objetivo reduzir a concentração de oxigênio incorporado na cerveja produzida na Cervejaria Ambev de Viamão, no estado do Rio Grande do Sul, para o limite máximo de 10ppb, através da montagem de um grupo de estudo para realizar o mapeamento do processo e a elaboração de um plano de ação para corrigir as principais causas de incorporação de oxigênio na cerveja.

2 Revisão Bibliográfica

A revisão bibliográfica está dividida em duas partes. Primeiramente, é realizada uma descrição da Metodologia *Agile*, utilizada no trabalho para atingir o objetivo de redução da incorporação de oxigênio na cerveja. Essa descrição engloba tanto os conceitos de metodologias ágeis, como *Scrum* e *Kanban*, como ferramentas utilizadas dentro dessas metodologias, como Diagrama de Espinha de Peixe, Matriz de Esforço Impacto e GUT (Gravidade, Urgência e Tendência) e o Método dos 5 Porquês.. Por fim, são detalhados os riscos de alta incorporação de oxigênio na cerveja, incluindo as reações químicas envolvidas.

2.1 Agile

A metodologia *Agile* de gestão surgiu através das ideias de 17 profissionais da área de *software*, que se reuniram e lançaram o Manifesto Ágil em 2001. O principal objetivo era encontrar melhores maneiras de desenvolver *software* (AMBLER, 2002). Apesar de ter sido lançado para satisfazer as necessidades de times que trabalhavam com a entrega de *software*, é possível utilizar os princípios empregados no *Agile* para o desenvolvimento de projetos ou melhorias de processos. O Manifesto Ágil é composto por 12 princípios (BECK et al., 2001) que são apresentados a seguir

1. Nossa maior prioridade é satisfazer o cliente, através de entregas rápidas e contínuas de *software* de valor.
2. Aceitar as mudanças de requisitos, mesmo que o desenvolvimento esteja adiantado. Processos ágeis aproveitam mudanças para que o cliente obtenha vantagem competitiva.
3. Entregar *software* que funcionam com frequência, em poucas semanas ou meses, dando preferência para a escala de tempo mais curta.
4. Empresários e desenvolvedores devem trabalhar juntos diariamente durante o projeto.
5. Construir projetos ao redor de indivíduos motivados. Entregar a esses indivíduos o ambiente e o apoio que precisam, e confiar neles para concluírem o trabalho.
6. A maneira mais eficiente de comunicar informações para e dentro de um time de desenvolvimento é a conversa cara a cara.
7. Um *software* que funciona é a primeira medida de progresso.
8. Processos ágeis promovem desenvolvimento sustentável. Os patrocinadores, desenvolvedores e usuários devem ser capazes de manter um ritmo constante indefinidamente.
9. Atenção contínua para excelência técnica e bom design aumentam a agilidade.
10. Simplicidade – a arte de maximizar a quantidade de trabalho não feito – é essencial.
11. A melhor arquitetura e os melhores requerimentos e designs surgem de times que se auto-organizam.
12. Em intervalos regulares, o time reflete em como se tornar mais efetivo, e, então, ajusta seu comportamento de acordo com a reflexão.

Percebe-se que a principal missão do *Agile* é satisfazer o cliente, entendendo as suas necessidades e trabalhando em conjunto para cumpri-las. Para atender a esse objetivo, se destacam valores que devem ser seguidos na área de *software*, mas que também possuem aplicabilidade em outras áreas, tais como trabalho em equipe, comunicação efetiva, qualidade na execução e, principalmente, flexibilidade e adaptação. Ao longo dos anos, desenvolveram-se diversos métodos ágeis, que se utilizam dos princípios para realizar gerenciamento de projetos. Dois deles serão abordados com mais detalhes a seguir: Scrum e Kanban. Além dos métodos ágeis, serão explicadas as ferramentas de gestão utilizadas no *Agile*: o Diagrama de Espinha de Peixe, a Matriz de Esforço e Impacto e GUT e o Método dos 5 Porquês.

2.1.1 Scrum

O *Scrum* é uma metodologia ágil baseada em atividades de monitoramento através de reuniões fixas em curtos períodos de tempo, para que a equipe envolvida possa identificar e corrigir problemas no processo de maneira rápida (SCHWABER, 2004). A equipe tem papel fundamental no *Scrum*, devendo ser composta por indivíduos empenhados em resolver o problema e com autonomia para isso. É importante destacar as funções do time envolvido no *Scrum*:

Product Owner: é a pessoa que define os itens que compõem o *Product Backlog* – a lista de requisitos que precisam estar no produto - e os prioriza nas *Sprint Planning Meetings*, as reuniões de planejamento. O *Scrum Team* (time envolvido no Scrum) olha para o *Product Backlog* priorizado, seleciona os itens mais prioritários e se compromete a entregá-los ao final de um *Sprint* (iteração). Estes itens transformam-se no *Sprint Backlog*, a priorização das tarefas a serem feitas.

Scrum Master: procura assegurar que a equipe respeite e siga os valores e as práticas do *Scrum*. Ele também protege a equipe assegurando que ela não se comprometa excessivamente com relação àquilo que é capaz de realizar durante um *Sprint*. O *Scrum Master* atua como facilitador do *Scrum* e torna-se responsável por remover quaisquer obstáculos que sejam levantados pela equipe durante essas reuniões.

Scrum Team: Membros do *Scrum Team* com o objetivo de executar as diversas atividades necessárias para a resolução do problema. Todos os membros do time têm como função sanar o *Sprint Backlog* definido pela *Product Owner*.

2.1.2 Kanban

Kanban é uma metodologia de facilitar a visualização do trabalho. Para tal, se utilizam divisões em um quadro através de colunas, dentro das quais cada atividade é inserida como um *post-it* para que seu progresso seja explicitado. Geralmente, são feitas três colunas, dividindo as tarefas em “para fazer”, “em andamento” e “concluídas”, conforme ilustrado na Figura 1. O principal objetivo do método é apresentar a evolução do trabalho de forma visual, evidenciando os problemas e incentivando a melhoria constante (GOMES, 2010).



Figura 1: Ilustração da divisão das colunas do Método *Kanban* (CAVALLARI, 2019).

2.1.3 Diagrama de Espinha de Peixe

O Diagrama de Espinha de Peixe, Diagrama de Ishikawa, ou ainda, Diagrama de Causa e Efeito, é uma ferramenta utilizada para estabelecer uma relação de causa e efeito e permitir uma análise visual para determinação dos principais fatores que afetam o problema a ser corrigido (ZINCHENKO et. al, 2020). Para aplicação desta ferramenta é realizado um *Brainstorming*. Ele foi utilizado na Ambev para a determinação da causa raiz da incorporação de oxigênio na transferência da Adega de Fermentação até os Tanques de Pressão. Para isso, realizou-se um *Brainstorming* com o time envolvido no Agile.

A tradução literal de *Brainstorming* indica que a técnica é uma tempestade de ideias. Ela não consiste, entretanto, apenas em reunir-se em um grupo e esperar que as soluções para os problemas surjam sem nenhuma estruturação. Pelo contrário, a técnica de *Brainstorming* requer um moderador, para liderar a reunião e garantir o cumprimento de quatro regras essenciais para o funcionamento da ferramenta: gerar o máximo de soluções possíveis, julgar soluções apenas após o encerramento da etapa de *Brainstorming*, ter ideias criativas e combinar as ideias novas com ideias pré-existentes (BONNARDEL, DIDIER, 2020).

Para efetivamente construir o diagrama, destaca-se o problema a ser resolvido em uma caixa à direita e traça-se uma linha até a caixa. Perpendicularmente a essa linha principal, adicionam-se outras 6 linhas, dividindo o diagrama em seis categorias, chamadas de 6M: Medição, Máquina, Método, Mão de Obra, Matéria-Prima e Meio Ambiente. Cada uma dessas categorias é uma causa, sendo que essas seis razões foram identificadas por Ishikawa como sendo as principais razões que causam o problema a ser solucionado na elaboração do diagrama (ANDRADE, 2017). Dentro de cada um dos 6M, há várias possibilidades de causa-raiz do problema, conforme o Quadro 1.

Quadro 1: Causa-raiz para cada categoria dos 6M (SABINO, 2021).

6M	DESCRIÇÃO
MÉTODO	Procedimentos, manuais, instruções de trabalho
MATÉRIA PRIMA	Especificações, fornecedores, toxicidade
MÃO DE OBRA	Treinamento, motivação , habilidades
MÁQUINAS	Manutenção , proteções, condições inseguras
MEDIÇÃO	Verificação, instrumentos
MEIO AMBIENTE	Relações interpessoais, clima , sujeira

2.1.4 Matriz de Esforço e Impacto e GUT

A fim de definir prioridades para os problemas levantados através do Diagrama de Espinha de Peixe, foi desenvolvida uma combinação entre a Matriz de Esforço e Impacto e o modelo GUT (Gravidade, Urgência e Tendência). A Matriz de Esforço e Impacto serve para priorização de problemas e identifica as ações que trazem maiores resultados com menor esforço (RODRIGUES, 2018). Traça-se um eixo vertical, representando o impacto que a ação terá, levando em conta a produtividade ou lucro, e o horizontal considerando esforço, o que inclui tempo, energia e dinheiro, conforme a Figura 2. Os afazeres são então divididos em quatro quadrantes:

- Quadrante 1: Têm alto impacto e baixo esforço. Devem ser a prioridade máxima, pois necessitam de pouco investimento e produzem grandes resultados.
- Quadrante 2: Têm alto impacto, mas alto esforço. Tais ações são de importante execução, já que podem aumentar a produtividade. Contudo, uma vez que exigem grande esforço e paciência, devem ser tratadas com planejamento prévio.
- Quadrante 3: Têm baixo impacto e baixo esforço. São ações que, quando realizadas, não resolverão o problema maior de forma completa.
- Quadrante 4: Têm baixo impacto e alto esforço. Não devem ser realizadas.

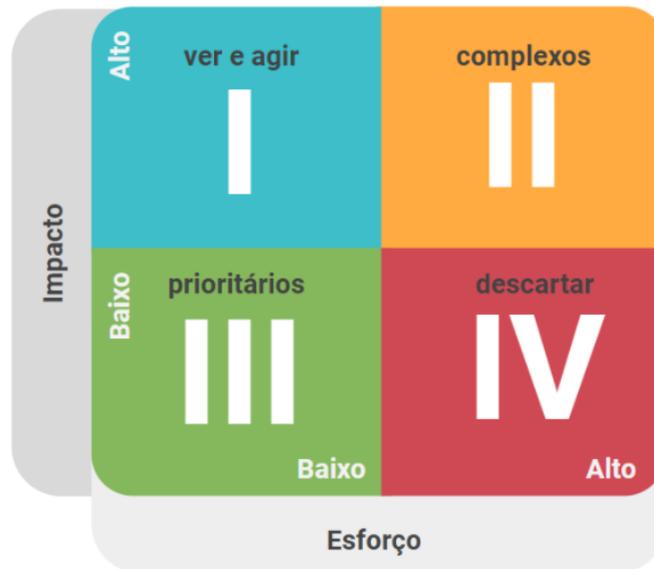


Figura 2: Quadrantes da Matriz de Esforço e Impacto (ROCK CONTENT, 2018).

Dificuldade e Impacto apresentam o mesmo significado que Esforço e Impacto, respectivamente, na Matriz de Esforço e Impacto. Impacto é o quanto a resolução do problema apresentado vai ajudar no aumento da produtividade. Dificuldade representa o esforço, é o quanto de dinheiro, tempo e/ou energia devem ser investidos na ação para poder solucioná-la.

Um novo conceito incorporado na Matriz de Priorização de Causas Prováveis, a partir da Matriz RACI, é o conceito de Autoridade. A Matriz RACI é uma ferramenta utilizada para atribuição de responsabilidades em uma organização, sendo que a sigla representa: Responsável (R), Autoridade (A), Consultado (C) e Informado (I). A Autoridade é a pessoa responsável pelo trabalho, aceitando a tarefa a ser realizada e garantindo que ela será cumprida, seja através de ação direta ou delegando a função (FINATTO, 2018).

A Matriz de Priorização GUT, também utilizada para priorização de ações, pondera sobre Gravidade, Urgência e Tendência de cada tarefa, tendo como vantagem a possibilidade de quantificar os problemas para priorizá-los. No Modelo GUT, os aspectos principais são (BEHR et. al, 2008):

- Gravidade: o quanto a ação impacta no processo;
- Urgência: o quanto a resolução do problema é necessária;
- Tendência: o quanto a situação vai piorar caso o problema não seja resolvido em breve.

Para realizar a quantificação da Matriz GUT, atribui-se uma nota de 1 a 5 para cada ação em cada um destes aspectos. Cada nota significa um peso, conforme a Figura 3 apresentada a seguir:

G GRAVIDADE	U URGÊNCIA	T TENDÊNCIA
5 = extremamente grave	5 = precisa de ação imediata	5 = irá piorar rapidamente se nada for feito
4 = muito grave	4 = é urgente	4 = irá piorar em pouco tempo se nada for feito
3 = grave	3 = o mais rápido possível	3 = irá piorar
2 = pouco grave	2 = pouco urgente	2 = irá piorar a longo prazo
1 = sem gravidade	1 = pode esperar	1 = Não irá mudar

Figura 3: Significado das notas da Matriz GUT (DAEXE ASSESSORIA EXECUTIVA, 2018).

A quantificação da importância do problema é feita com o produto das notas atribuídas a cada fator. Quanto maior o valor desse produto, maior é a necessidade de priorização do problema em questão.

$$\text{Importância} = G \times U \times T \quad (2.1)$$

em que G é a nota atribuída à gravidade, U à urgência e T à tendência.

2.1.5 Método dos 5 Porquês

Este modelo, oriundo do Sistema Toyota de Produção, tem como finalidade encontrar a causa raiz do problema, ou seja, a causa fundamental que impede o perfeito funcionamento do processo. Ele é baseado em perguntar diversas vezes o porquê de o problema estar acontecendo e prosseguir respondendo às perguntas criadas nos passos anteriores, sendo que a primeira etapa deve, necessariamente, ser o problema levantado (AGUIAR, 2014). A cada etapa, entra-se mais profundamente no problema que está sendo analisado até se chegar à sua causa fundamental, que deve se transformar em uma ação corretiva.

2.2 Oxigênio na Cerveja

Como explicado anteriormente, a presença de oxigênio na cerveja é desejada, e até intensificada através da injeção de ar comprimido, antes do começo da fermentação. Tal fato se dá porque é desejável que a levedura se multiplique para poder ser reaproveitada, e a multiplicação com a rota metabólica utilizando oxigênio é facilitada. Não se pode, porém, produzir o mosto com quantidade muito elevada de oxigênio, uma vez que a multiplicação desenfreada das leveduras resulta na sua autólise, o que gera compostos indesejados. Após a primeira etapa de fermentação, a concentração de oxigênio

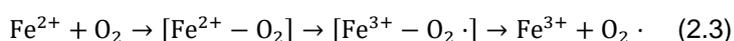
na cerveja deve ser sempre a menor possível, pois elevadas concentrações diminuem o prazo de validade do produto e podem alterar seu aroma e sabor.

A diminuição da concentração de oxigênio dissolvido no produto é fundamental para estabelecer um prazo de validade maior com a manutenção dos parâmetros de qualidade. Um alto teor de oxigênio na cerveja favorece reações químicas que alteram o sabor da cerveja, sendo que o *off flavour* (aroma ou sabor indesejado na cerveja) gerado pela oxidação é geralmente descrito como “gosto de papelão”. As reações químicas envolvidas no processo de oxidação da cerveja durante seu período de estocagem foram descritas por Mattos (MATTOS, 2007):

Espécies Reativas de Oxigênio

Através da ação da luz, de calor, ou de catálise por metais, a molécula de oxigênio tripleto ($^3\text{O}_2$) é convertida em oxigênio singleto ($^1\text{O}_2$), peróxido de hidrogênio (H_2O_2) ou radicais superóxido (O_2^-) ou hidroperóxido ($\bullet\text{OOH}$). Importante destacar que o oxigênio tripleto é o oxigênio molecular no seu estado fundamental e que o oxigênio singleto é o estado excitado eletrônico de menor energia do oxigênio molecular (MAIA, 2015). Um exemplo de reação que ocorre inicialmente, a conversão do oxigênio tripleto por ação de catálise com Fe^{2+} , é descrita abaixo:

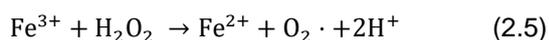
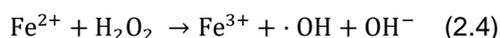
Reação A:

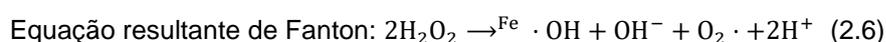


Reações de Fenton e Reações de Haber-Weiss

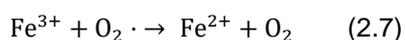
São reações catalisadas por ferro, transformando o peróxido de hidrogênio e o superóxido em radicais hidroxila. A hidroxila é a espécie reativa de oxigênio que reage mais fortemente com os compostos da cerveja, fornecendo energia química para a formação de carbonilas. Estes compostos carbonílicos, por sua vez, são os responsáveis pelo sabor de oxidação (ou papelão) na cerveja (MATTOS, 2007). As reações de Fanton e de Haber-Weiss detalhadas a seguir:

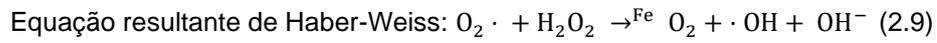
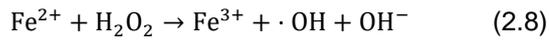
Reação B:





Reação C:





A sequência de reações está ilustrada na Figura 8:

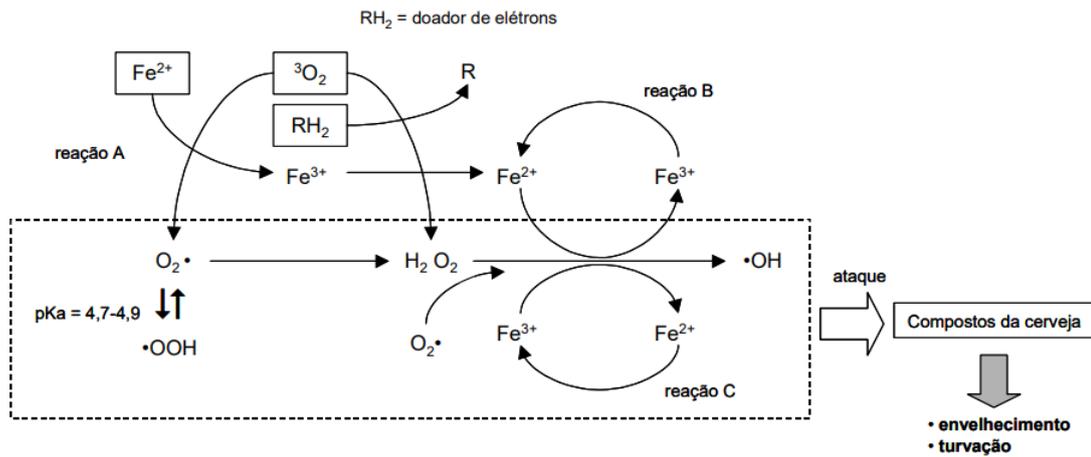


Figura 4: Esquema completo de reações de oxidação da cerveja (MATTOS, 2007)

3 Estudo de caso

O primeiro passo para a aplicação da ferramenta é a identificação do problema. Para isso, é necessário um profundo conhecimento do processo cerveja, que é detalhado a seguir.

3.1 Processo produtivo de cerveja

No presente trabalho, a ferramenta *Agile* foi aplicada no processo produtivo de cerveja; o problema a ser resolvido nesse processo é a incorporação de oxigênio no produto. A fim de identificar os principais pontos onde há possível incorporação de oxigênio na cerveja e tomar ações capazes de mitigar essa incorporação, é necessário um conhecimento profundo do processo responsável por transformar matérias-primas em cerveja. As 4 matérias-primas envolvidas são: malte, água, lúpulo e adjuntos. Este processo é dividido em 3 áreas, brassagem, fermentação e maturação e filtração, e pode ser visto com mais detalhes no fluxograma da Figura 4. Os processos de malteação, moagem, mostura e clarificação, fervura, *whirlpool* e resfriamento presentes na Figura 4 compõe a brassagem, que é seguida da fermentação e maturação.

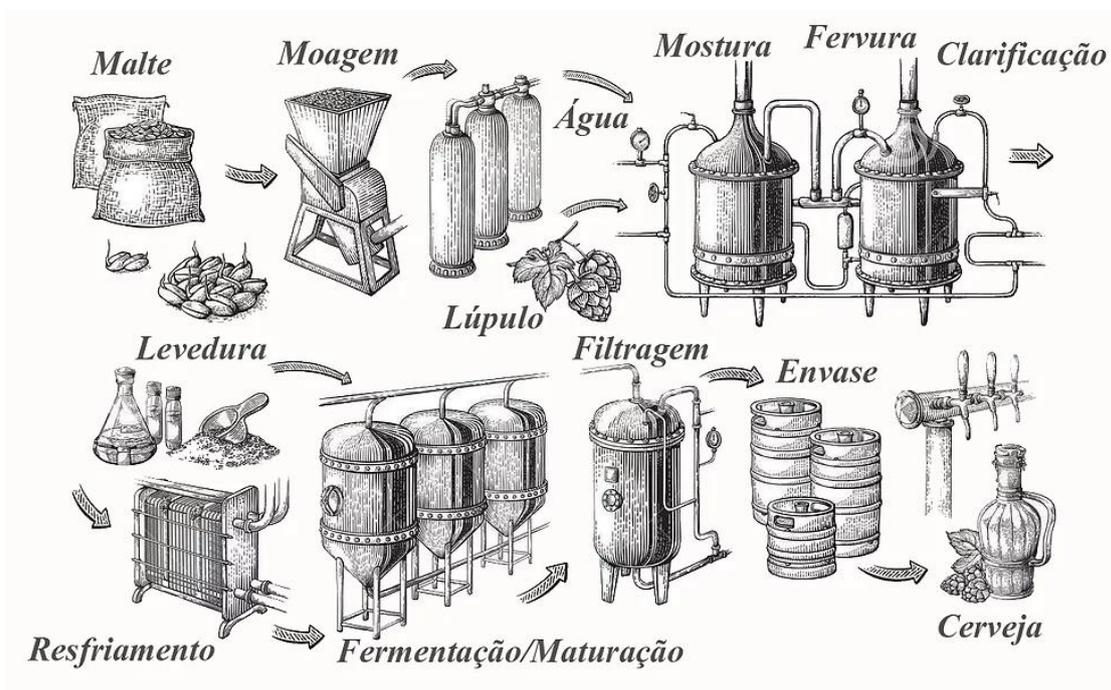


Figura 5: Fluxograma do processo produtivo de cerveja (PROCESSO..., 2021).

3.1.1 Brassagem

Beneficiamento de Malte

O beneficiamento de malte é uma etapa essencial para remover as impurezas oriundas do transporte dos grãos da maltaria até a cervejaria, assim como remover grãos com características

indesejadas, garantindo maior rendimento da malteação. Consiste na passagem dos grãos por três equipamentos, que fazem a separação por diferença de densidade e granulometria: Máquina de Limpeza, Despedradeira e Moinho (DA COSTA, 2010).

Mosturação

A mosturação é a etapa em que ocorre a mistura do malte que foi previamente beneficiado com a água cervejeira e as enzimas. O objetivo dessa etapa é a conversão do amido proveniente do malte em açúcar que será utilizado na fermentação, com ajuste de temperatura e pH para otimizar a atuação das enzimas (AQUARONE, 2001).

A água utilizada para a produção de cerveja sofre um tratamento para ter qualidade de água potável e atingir os parâmetros de qualidade necessários, com concentração balanceada de sais minerais (TSCHOPE, 2001). As enzimas possuem diversas funções no processo de mosturação, sendo que as principais enzimas, suas funções e faixas de temperaturas ótimas de atuação são exibidas no Quadro 2 a seguir:

Quadro 2: Principais enzimas que atuam na mosturação (TSCHOPE, 2001).

Enzima	Função	Temperatura [°C]
β-Glucanase	Hidrólise de glucanos	40 a 45
α-Amilase	Quebra do amido em dextrinas inferiores	60 a 65
β-Amilase	Quebra do amido em maltose	70 a 75
Dextrinase	Quebra do amido em maltose e maltotriose	55 a 60
Proteases	Decomposição de proteínas	40 a 60

Filtração de Mosto

A filtração do mosto obtido na tina de mostura é realizada através de filtros-prensa, onde se retira o bagaço do mosto, que é a parte insolúvel. O mosto é alimentado no filtro-prensa, que é pressionado e se enche com ar comprimido, o que força a passagem do líquido por telas. A parte solúvel atravessa e é armazenada no tanque intermediário e a parte insolúvel fica retida nessas telas. O bagaço de malte que fica retido é lavado com água para garantir a máxima extração possível (AQUARONE, 2001).

Fervura, Decantação e Resfriamento

Após o término da filtração de mosto e passagem pelo tanque intermediário, o mosto segue para o cozinhador, onde será realizada a fervura. Os objetivos da fervura são garantir: a esterilização do mosto, a inativação enzimática, a isomerização do lúpulo – adicionado para garantir aroma e amargor (KUNZE, 1999) -, a coagulação proteica, a redução do volume de água e a evaporação de voláteis.

Com a fervura ocorrendo de modo adequado, ocorre a coagulação de proteínas, que precipitam. A fim de retirar esse sólido do mosto, este é enviado ao decantador após sua passagem pelo cozinhador, onde, por decantação, o sólido é retirado. Para encerrar a brassagem, o mosto é então levado a um trocador de calor, que o resfria de aproximadamente 90°C para 8°C antes da etapa de fermentação.

3.1.2 Fermentação

Após a passagem pelo trocador de calor, o mosto resfriado é enviado por tubulações até o tanque fermentador. Nessas tubulações, são introduzidos o fermento e o ar comprimido, antes da chegada do líquido ao tanque fermentador. O fermento é composto pela levedura *Saccharomyces cerevisiae*, que transforma o mosto em cerveja pela fermentação alcoólica (RUSSEL et. al, 2005). O ar comprimido é injetado para que ocorra multiplicação celular do fermento, e é consumido pelas leveduras na etapa aeróbia do processo.

É a partir dessa etapa que se aumentam as chances de incorporação de oxigênio na cerveja, o que fez com que a fermentação recebesse atenção especial na metodologia *Agile*. A fim de identificar todos os pontos em que haveria possível incorporação de oxigênio na cerveja, foi feito um fluxograma detalhado da área fria do processo, com a fermentação e maturação à esquerda e a filtração à direita, conforme a Figura 6. A função de cada equipamento e a importância de cada etapa serão detalhados na sequência.

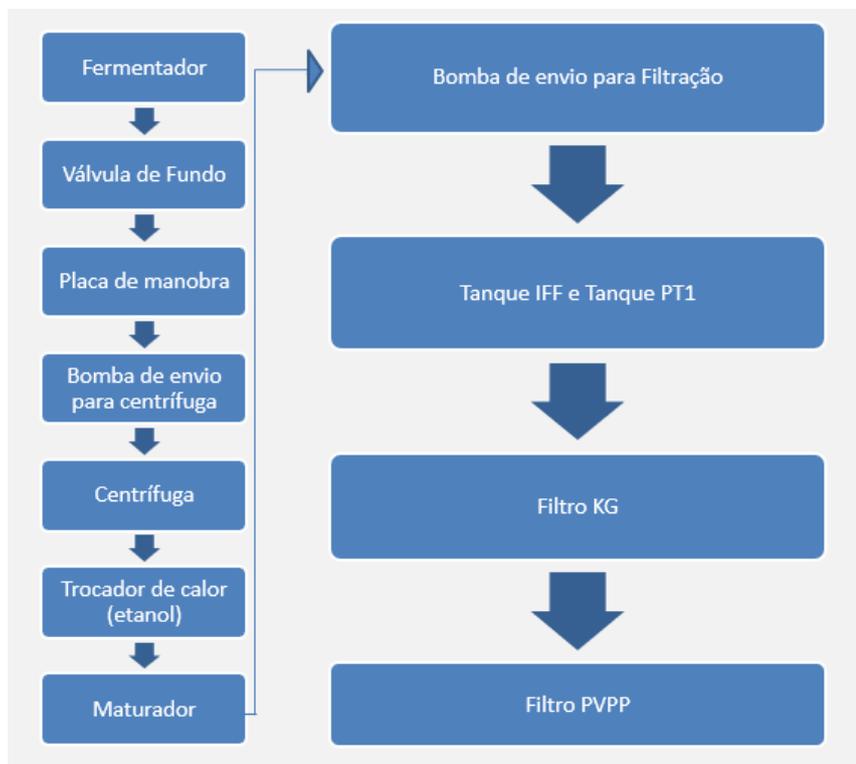
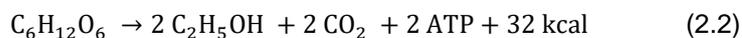


Figura 6: Fluxograma da área fria do processo de cerveja. Tanque IFF é a abreviação de Tanque de Início e Final de Filtração, Tanque PT1 é a abreviação de Pulmão de Transferência 1, Filtro KG é a abreviação de Filtro *Kieselgur* (terra diatomácea, em alemão) e Filtro PVPP se refere a Filtro Polivinilpolipirrolidon.

Tanque fermentador

É o tanque com volume de cerca de 5000 hL onde ocorre a etapa de fermentação do mosto. A fermentação é dividida em duas etapas: aeróbica e anaeróbica. Na fase aeróbica, a levedura utiliza o oxigênio injetado através do ar comprimido na brassagem para realizar sua respiração celular e, assim, poder se multiplicar. Apesar de a multiplicação celular da levedura ser desejável para posterior utilização do fermento em outros tanques fermentadores, o que justifica a adição de ar comprimido contendo oxigênio, esta adição deve ser realizada em quantidade controlada, de modo a não resultar em excesso de oxigênio e, assim, multiplicação excessiva do fermento (TSCHOPE, 2001).

A segunda etapa de fermentação é a anaeróbica. Após o total consumo do oxigênio disponível no mosto, a levedura passa a buscar outras fontes de energia. É a partir dessa etapa que os açúcares, como glicose, maltose e maltotriose, que foram obtidos na tina de mostura através da quebra das moléculas de amido pela ação das enzimas, são consumidos e transformados em álcool e gás carbônico, conforme a reação:



Válvula de fundo

Assim como na brassagem, onde ocorre a coagulação de proteínas, na fermentação também há separação sólido-líquido através de decantação, o que explica o formato cônico do fundo dos tanques fermentadores. No caso da fermentação, o que decanta são células mortas de leveduras utilizadas. Para a retirada dessas células do tanque, se conecta uma mangueira à válvula de fundo do tanque e se abre a válvula para passagem do líquido pastoso contendo as células mortas. Por ser bastante acionada, a válvula de fundo do tanque requer atenção em relação à contaminação de oxigênio, já que problemas na conexão com a mangueira permitem a entrada de ar para a cerveja.

Placa de manobra

A placa de manobra, ou placa de distribuição de bebidas, é uma placa de distribuição de fluidos, com conexões e tubulações que permitem a sua abertura e fechamento de acordo com a necessidade. São essenciais para permitir a chegada da cerveja aos tanques, envio desta para etapas posteriores e liberação ou interrompimento do fluxo de produtos de limpeza dos tanques. Um exemplo de placa de manobra é ilustrado na Figura 7 a seguir:



Figura 7: Imagem de uma Placa de Manobra de Tubulações (ITALIAINOX, 2021)

Centrífuga e Trocador de Calor

O objetivo da centrifugação é realizar a separação da cerveja e das partículas de fermento remanescentes após a retirada por decantação dos tanques fermentadores. (BASTOS et. al, 2015). As centrífugas presentes na unidade são centrífugas de múltiplos pratos, que giram com uma velocidade elevada. Com a rotação, a força centrífuga faz com que o fermento se acumule nas paredes dos pratos, já que é mais pesado que a cerveja.

A retirada do fermento que se acumula nos pratos da centrífuga é um processo chamado de deslodamento (DA SILVA, 2012), que causa o interrompimento periódico do equipamento para que seja realizado o descarte. É um processo crítico, pois há grande possibilidade de incorporação de oxigênio se não for realizado corretamente. A cerveja, por sua vez, sai pela parte superior do equipamento e é resfriada em um trocador de calor antes de seguir para o tanque maturador.

3.1.3 Maturação

Maturador e bombas de envio para a filtração

A maturação é necessária porque após a centrifugação ainda há aromas e sabores indesejados na cerveja, além de substâncias que causam a turvação (MUNROE, 1994). Na Cervejaria Ambev em Águas Claras do Sul, nove tanques são exclusivos para a maturação, nove são chamados tanques flex, que são utilizados tanto para maturação como fermentação, e trinta são utilizados exclusivamente como tanques fermentadores.

Depois de passar pela centrifugação, a cerveja é armazenada em baixas temperaturas (cerca de 0°C) nos tanques maturadores. Nesse período, as células de leveduras remanescentes, que são as causadoras da turvação, precipitam, clarificando a cerveja (KUNZE, 1999). No processo de maturação, também há a estabilização do aroma e do paladar da cerveja.

3.1.4 Filtração

A maturação ocorre por cerca de dois dias, e é seguida da filtração. Para enviar a cerveja dos tanques maturadores para a filtração, também são utilizadas bombas centrífugas, cujo funcionamento foi explicado anteriormente. Os principais objetivos da filtração são a remoção de partículas que causam ou podem causar turvação e não foram completamente removidas na maturação, eliminação de microrganismos, leveduras e bactérias, estabilização da espuma e diluição da cerveja com o uso de água desaerada (AQUARONE, 2001).

Aldox

O Aldox é um equipamento que produz a água desaerada que é utilizada na diluição da cerveja. Apesar de ser responsabilidade da área de utilidades, o resultado do processo de desaeração da água é crítico para a incorporação de oxigênio na cerveja e, portanto, merece destaque.

Seu funcionamento é baseado na operação unitária chamada de esgotamento, dessorção ou ainda *stripping*. Essa operação é utilizada quando se deseja transferir um ou mais componentes dissolvidos no líquido para um gás (NASSER JÚNIOR, 2009). O gás utilizado para absorver o componente dissolvido no líquido é chamado de gás de arraste ou gás de *stripping*. No caso do Aldox na cervejaria, deseja-se remover oxigênio da água e para isso se utiliza gás carbônico como gás de arraste em contracorrente. Este gás também é adicionado à água para sua carbonatação antes de ser adicionada à cerveja.

O tanque PT1 e o tanque IFF são utilizados em conjunto para a transferência da cerveja até o filtro KG. O PT1 atua como um pulmão para a cerveja, permitindo que a vazão se mantenha na linha. Caso a cerveja fosse transferida diretamente do tanque maturador para o filtro KG, uma interrupção dessa transferência resultaria em problemas de vazão e pressão, o que comprometeria a qualidade. Por isso, é necessária a presença do PT1, para onde a cerveja é transferida e armazenada antes de ser levada ao filtro KG.

Já o tanque IFF, serve como um local de armazenamento para posterior descarte de cerveja contaminada. O CIP, do inglês *Cleaning in Place*, é a limpeza periódica das tubulações e tanques na indústria. Na Ambev, é composto por várias etapas em que passam ácido, hidróxido de sódio e água, sendo que a última etapa é a passagem de água. Logo após o término do CIP, é possível haver resquícios dessa água do CIP na linha, então não se pode colocar a cerveja em contato para não haver diluição indesejada. Para resolver, uma pequena quantidade de cerveja oriunda do tanque maturador entra em contato com essa água e o líquido resultante é levado ao tanque IFF para ser descartado

posteriormente. Quando se atinge um nível pré-determinado no tanque IFF, a cerveja que será vendida ao consumidor é liberada para ir ao tanque PT1.

Filtro KG

O Filtro-Terra é um filtro físico composto por elementos filtrantes em formato de velas colocados em um recipiente cilíndrico-cônico. Estes elementos são fixos a uma placa perfurada, que separa a cerveja ainda não filtrada da cerveja já filtrada. A cerveja não filtrada entra pela parte inferior do filtro, passa através das placas perfuradas e dos elementos filtrantes com a terra diatomácea, que é responsável pela retenção de partículas, e sai pela parte superior do filtro (REINOLD, 1995).

A terra diatomácea é dosada em um compartimento externo ao tanque e as molas do filtro comprimem-na em torno das velas, fazendo com que a terra filtre as partículas físicas ainda dissolvidas na cerveja que passa por ela. Quando a quantidade de terra em torno de cada mola aumenta até a terra de uma mola tocar em outra, é o fim do ciclo da filtração.

Filtro PVPP e Adegas de Pressão

Por sua vez, o filtro PVPP é um filtro químico, que adsorve os polifenóis da cerveja através da dosagem do produto químico Polivinilpolipirrolidon, o PVPP. O PVPP é uma molécula de proteína que tem grande afinidade por polifenóis, realizando ligações de hidrogênio (REINOLD, 1995). É desejável a retirada de polifenóis do produto porque essas substâncias são responsáveis por causar turbidez na cerveja.

Por fim, a cerveja é transferida para a adega de pressão (ADP). A ADP é composta por 15 tanques, onde a cerveja fica armazenada à baixa temperatura e alta pressão, para que suas características sejam mantidas. Durante o período de armazenamento, são realizadas análises de pH, condutividade, cor, teor alcoólico, turbidez, concentração de oxigênio e degustação. Caso a cerveja esteja dentro de todos os parâmetros de qualidade, é liberado o seu envase.

4 Resultados

4.1 Diagrama de Espinha de Peixe

No Diagrama de Espinha de Peixe feito na cervejaria, não foram encontradas possíveis causas fundamentais do problema de incorporação de oxigênio nas categorias de Mão de Obra, Matéria-Prima e Meio Ambiente. Por isso, há quadros vazios no Diagrama de Espinha de Peixe. Nas demais categorias, surgiram as causas da incorporação de oxigênio na cerveja, que estão detalhadas na Figura 8:

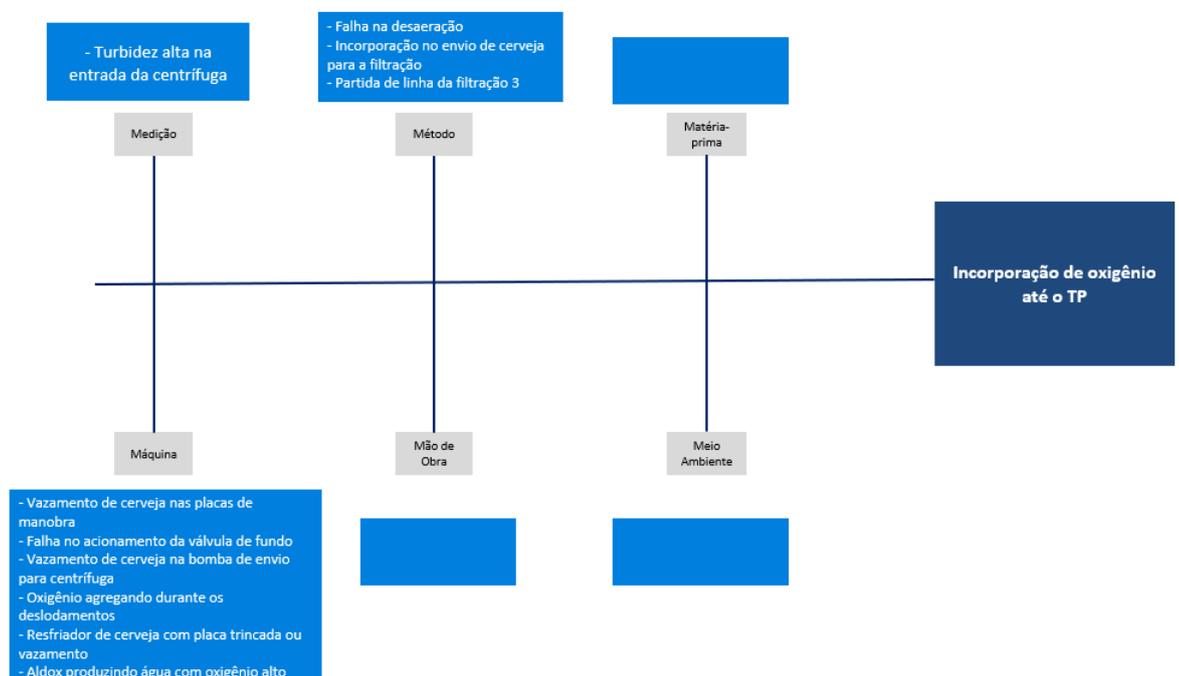


Figura 8: Diagrama de Espinha de Peixe para Incorporação de Oxigênio. TP é a sigla para Tanque de Pressão.

A seguir, são apresentadas as causas prováveis nas categorias de Medição, Máquina e Método.

Máquina

Vazamento de cerveja nas placas de manobra gera incorporação de oxigênio pelo contato direto da cerveja com o ar. As placas de manobra são alinhadas manualmente pelos operadores. Nesse processo, há possibilidade de desgaste do material envolvido no alinhamento, o que causa má vedação da tubulação e, conseqüentemente, possibilidade de contato do ar ambiente cheio de oxigênio com a cerveja.

Outras possibilidades de vazamento associadas exclusivamente a desgaste de material são: vazamento de cerveja na bomba de envio da cerveja dos tanques fermentadores para a centrífuga, falha no acionamento da válvula de fundo dos tanques ou resfriador de cerveja com placa trincada ou com vazamento. Nos três casos, assim como no vazamento através das placas de manobra, a falta do cumprimento adequado do plano de manutenção resulta em incorporação de oxigênio na cerveja.

Também é possível a ocorrência de contato da cerveja com oxigênio durante a remoção de sólidos da centrífuga. Para que este processo ocorra, é necessário o esvaziamento de cerveja da centrífuga, ficando dentro dela apenas o fermento a ser descartado. O deslodamento ocorre de duas maneiras, dependendo do modelo de centrífuga utilizado. Um dos processos ocorre através do enchimento total da centrífuga com água, que é descartada juntamente com o fermento. Com o esvaziamento, ocorre despressurização dentro da centrífuga. Caso haja algum problema de vedação, haverá incorporação de oxigênio dentro do equipamento, pois a maior pressão de ar fora da centrífuga força a passagem de ar atmosférico para dentro. O outro processo de deslodamento empregado consiste em fechar a entrada de cerveja na centrífuga, injetar gás carbônico e abrir a válvula para expulsar o fermento para o tanque de deslodado. Caso a pressão de gás carbônico esteja baixa e ocorra problemas de vedação ou furos, o oxigênio presente no ar atmosférico entrará na centrífuga, causando incorporação.

O sistema Aldox é responsável pela diminuição do nível de oxigênio dissolvido na água que é utilizada no processo de fabricação de cerveja. A dessorção do oxigênio é realizada através da utilização de gás carbônico como gás de decapagem sobre um leito vedado à pressão atmosférica. Erros no processo do sistema Aldox, resultariam na produção de água com oxigênio muito alto. Como a água oriunda do Aldox é utilizada na diluição da cerveja, uma alta concentração de oxigênio nesta água resultaria em elevada incorporação de oxigênio no produto. É feita análise dos gases na saída do Aldox para saber a quantidade de oxigênio.

Medição

Em relação à medição, a sugestão de problema encontrada é muita turbidez na entrada da centrífuga quando a sua medição é realizada. Essa turbidez elevada faz com que a centrífuga tenha que deslodar com mais frequência, o que aumenta o risco de incorporação de oxigênio nesses momentos. Como explicado, a válvula para expulsar o fermento da centrífuga deve ser aberta e, caso haja algum problema de calibração, ela ficará aberta por mais tempo que o necessário, podendo permitir a passagem de ar atmosférico. A válvula que permite a entrada de gás carbônico também deve estar calibrada.

Método

Falha na desaeração da centrífuga pode ser causada devido a uma má calibração da válvula de entrada de gás carbônico. Com pouca passagem de gás carbônico, o oxigênio presente dentro da centrífuga não é totalmente removido, o que causa sua incorporação na cerveja.

Após a cerveja maturar, o seu envio do tanque maturador para a filtração não é simples. Se o produto fosse diretamente para o filtro terra, qualquer ocorrência que gerasse a necessidade de parar a transferência poderia também ocasionar problema de pressão ou vazão na linha, comprometendo a qualidade. Para evitar isso, existe o tanque PT1, que serve como um armazenamento intermediário, permitindo que a mesma vazão se mantenha na linha durante a transferência. Uma possível fonte de incorporação de oxigênio é essa transferência do maturador para o tanque PT1.

A partida de linha, tanto da filtração 1, como da filtração 3, é um momento em que pode ocorrer incorporação de oxigênio. Com a linha parada, é realizada a manutenção nos equipamentos e tubulações, com abertura e exposição destes ao ar atmosférico. Devido a isso, ocorre a entrada de oxigênio nestes equipamentos e, em caso de procedimento incorreto para passagem de gás carbônico, a fim de remover o oxigênio, haverá a possibilidade de incorporação deste na cerveja no momento em que a filtração começar.

4.2 Matriz de Priorização de Causas Prováveis e Matriz GUT

No estudo da incorporação de oxigênio na cerveja, foi realizada uma Matriz de Priorização de Causas Prováveis de origem do problema. Esta matriz incorporou conceitos oriundos da Matriz de Esforço e Impacto, bem como a quantificação proporcionada pela Matriz GUT. Foram listadas as causas prováveis de incorporação de oxigênio levantadas através do Diagrama de Espinha de Peixe e para cada uma dessas causas se designou seus Impactos, suas Autoridades e Dificuldades.

Na Matriz de Priorização criada na Ambev, foram atribuídas nota 5 de Autoridade para todas as ações, porque entendeu-se que o *Time Agile* montado no Processo Cerveja tinha a responsabilidade de cumprir com todas as tarefas. Assim, atribuindo notas de Impacto, Autoridade e Dificuldade e fazendo o produto dessas notas para cada uma das causas prováveis de incorporação de oxigênio, chegou-se ao Diagrama de Priorização que é apresentado na Tabela 1. As linhas marcadas em amarelo na tabela serão os casos estudados:

Tabela 1: Diagrama de Priorização das possíveis causas incorporadoras de oxigênio na cerveja.

PRIORIZAÇÃO - CAUSAS PROVÁVEIS

CAUSAS PROVÁVEIS	IMPACTO	AUTORIDADE	DIFICULDADE	TOTAL
Vazamento de cerveja nas placas de manobra dos tanques	2	5	3	30
Falha no acionamento da válvula de fundo do OD	5	5	1	25
Vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga	5	5	3	75
Falha na desaeração da centrífuga	3	5	3	45
Oxigênio agregando durante o deslodamento	5	5	3	75
Turbidez alta na entrada da centrífuga	3	5	3	45
Trocador de calor com vazamento ou placa trincada	5	5	1	25
Incorporação de oxigênio na partida da filtração 3	5	5	3	75
Aldox produzindo água com oxigênio alto	5	5	3	75
Incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração	5	5	3	75

4.3 Método dos 5 Porquês

Como é possível observar, cinco ações obtiveram a pontuação de 75, sendo o maior resultado da Matriz de Priorização. Sendo assim, estas ações são de alto impacto para a diminuição de incorporação de oxigênio, mas possuem elevado grau de dificuldade. Caso elas fossem colocadas em um Diagrama de Esforço e Impacto, cairiam no Quadrante II, cujos problemas demandam planejamento para que sejam executados e seus benefícios sentidos na área.

A fim de realizar a análise destes problemas, foi aplicado o Modelo dos 5 Porquês. Foram realizados 5 Porquês de todos os problemas levantados através do Diagrama de Ishikawa. A seguir, são apresentados os problemas que obtiveram pontuação máxima na Matriz de Priorização:

Vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga

A Figura 10 apresenta os 5 Porquês encontrado para solucionar o vazamento de cerveja nas bombas de envio da cerveja para a centrífuga:

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ	AÇÃO (S)
Vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga	Selo, rotor e voluta da bomba danificados	Excesso de vibração na bomba danificando os subconjuntos	Tubulação solta após a bomba	Má fixação das tubulações	Fixar tubulações após a bomba de envio de cerveja
			Bomba cavitando por falta de água quente	Chave de nível do tanque posicionado muito embaixo	Alterar altura da chave de nível baixo do tanque pulmão

Figura 10: 5 Porquês do vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga.

O 3º Porquê exibido na figura indica que o excesso de vibração na bomba danifica selo, rotor e voluta da bomba, o que resulta no problema levantado que é vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga. Para resolver o excesso de vibração, duas alternativas surgiram. A primeira delas é que a tubulação está solta após a bomba, o que acontece por má fixação dessa tubulação. Para solucionar, surge como ação a simples fixação das tubulações após a bomba de envio de cerveja.

A segunda alternativa é a cavitação da bomba ocorrendo por falta de água quente. A causa fundamental da cavitação seria a chave de nível do tanque, que indica o volume de água dentro dele, posicionada muito embaixo. Assim, a ação para correção seria alterar a altura da chave de nível baixo do tanque pulmão. A Figura 11 a seguir ilustra o problema a ser corrigido, que é o vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga, e as soluções propostas:

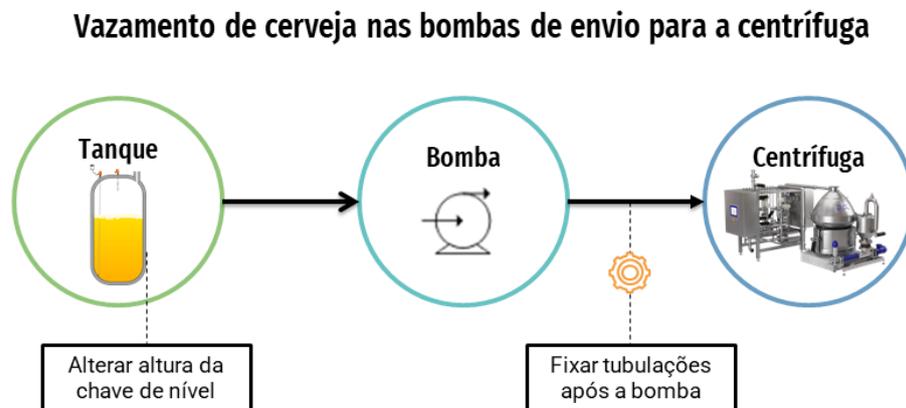


Figura 11: Soluções propostas para o vazamento de cerveja nas bombas de envio para a centrífuga.

Oxigênio agregando durante o deslodoamento

A Figura 12 ilustra os 5 Porquês para resolver o problema de oxigênio agregando durante o deslodoamento da centrífuga:

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ	AÇÃO (S)
Oxigênio agregando durante o deslodoamento	Incorporação nas conexões de entrada e saída da centrífuga	Vazamento de cerveja pelas conexões de entrada e saída	Vedações danificadas / rasgadas	Vida útil do material	Substituir vedações de entrada e saída da centrífuga
	Vibração elevada na centrífuga	Falta de balaceamento dos pratos durante o deslodoamento	Primeiro prato da centrífuga amassado	Falha na retirada dos pratos durante manutenção	Procedimentar a treinar mecânicos no desacoplamentos dos pratos da centrífuga
	Baixa contra-pressão de gás carbônico durante o deslodoamento	Falha no acionamento do capuz da centrífuga	Aletas do diafragma do capuz amassadas	Vida útil	Comprar Aletas novas para o diafragma do capuz da centrífuga
		Falha na abertura das válvulas, pressão de água e gás carbônico	Falta de conhecimento operacional na máquina	Falta de identificação das válvulas e pressão de trabalho e procedimento de operação	Identificar válvulas em campo e pressões de trabalho da água e gás carbônico. Procedimentar funcionamento e abertura das válvulas durante operações. Treinar time no procedimento de operação da centrífuga Criar plano de inspeção para as válvulas de retenção da centrífuga

Figura 12: 5 Porquês do oxigênio agregando durante o deslodoamento.

Em relação à agregação de oxigênio durante o deslodoamento, foram encontrados 3 Porquês imediatos. A primeira possibilidade é incorporação de oxigênio nas conexões de entrada e saída da centrífuga, caso em que o vazamento de cerveja através dessas conexões. Tal vazamento é possibilitado por vedações danificadas ou rasgadas, cuja causa raiz é o desrespeito à vida útil do material. Para corrigir, basta uma simples substituição de vedações de entrada e saída da centrífuga.

Uma segunda possibilidade de fonte de incorporação de oxigênio é um excesso de vibração ocorrendo na centrífuga. Neste caso, a causa raiz é a falha da retirada dos pratos da centrífuga durante a manutenção do equipamento, o que resulta em amassar o primeiro prato da centrífuga, que por sua vez gera a falta de balanceamento dos pratos durante o deslodoamento. Sem o balanceamento adequado, aumenta-se a vibração e há incorporação de oxigênio. A correção na falha no momento de retirada dos pratos deve acontecer através da criação de um procedimento para a atividade, troca do prato amassado e treinamento dos responsáveis pelo procedimento.

Por fim, chega-se ao Porquê de baixa contrapressão de gás carbônico durante o deslodoamento da centrífuga. O gás carbônico é injetado na centrífuga previamente à entrada de cerveja, a fim de expulsar o oxigênio e evitar sua incorporação no líquido. Essa baixa contrapressão de oxigênio, no 2º Porquê, foi desdobrada em duas possibilidades no 3º Porquê. A primeira delas considera que é causada por falha no acionamento do capuz da centrífuga, devido a aletas do diafragma do capuz amassadas por causa do fim de sua vida útil. Como resultado, surgiu a ação de comprar aletas novas para o capuz da centrífuga. Já a segunda possibilidade, considera falha no acionamento de válvulas de pressão de água e gás carbônico. Essa falha de acionamento surge a partir de falha no conhecimento operacional da máquina, cuja causa-raiz é falta de identificação das válvulas e pressão de trabalho e procedimento de operação. Surgiram diversas ações para correção:

- Identificar em campo as válvulas de água e gás carbônico;
- Realizar procedimento sobre o funcionamento e sobre a abertura das válvulas durante operações;
- Treinar o time no procedimento de operação da centrífuga;
- Criar plano de inspeção para as válvulas de retenção da centrífuga, com manutenção periódica.

O problema do oxigênio incorporando durante o deslodoamento e as ações a serem tomadas para corrigi-lo são ilustrados na Figura 13 a seguir:

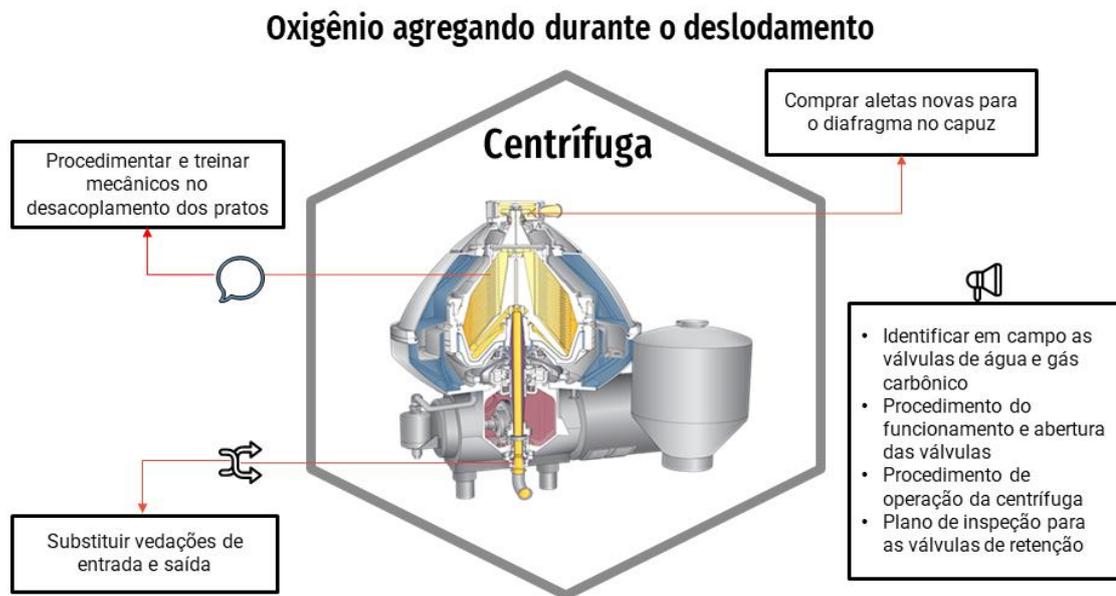


Figura 13: Soluções propostas para oxigênio agregando durante o deslodoamento.

Incorporação de oxigênio na partida da Filtração 3

A Figura 14 indica os 5 Porquês para solucionar a incorporação de oxigênio na partida da filtração:

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ	AÇÃO (S)
Incorporação de oxigênio na partida da filtração 3	Desaeração da linha insuficiente	Parâmetros de desaeração eficiente não são feitos por todos	Conjunto ideal de parâmetros e tempos não é automatizado	Conhecimento preso em filtradores mais experientes	Acompanhar partida de linha e automatizar todas as manobras realizadas em manual
		Esquecimento da válvula manual do filtro KG aberta	Válvula de ar comprimido do Filtro KG dando passagem	Reparos danificados	Trocar reparos da válvula de ar comprimido do Filtro KG

Figura 14: 5 Porquês da incorporação de oxigênio na partida da Filtração 3.

O problema identificado no Diagrama de Espinha de Peixe de incorporação de oxigênio na partida da filtração 3 foi colocado como 1º Porquê, sendo causado pela insuficiência na desaeração da linha de tubulação de transporte de cerveja. Uma das possibilidades para essa insuficiência é que o conhecimento dos parâmetros de desaeração eficiente não sendo feito por todos do time, ou seja, apenas alguns funcionários fazem corretamente a desaeração. Isso estava sendo causado porque não havia automatização do melhor conjunto possível de parâmetros e tempos de desaeração, cuja causa fundamental é o conhecimento destes parâmetros ótimos retido apenas nos filtradores com maior tempo de empresa. Para correção, surgiu como ação que se acompanhe a partida da Linha de Filtração e se automatize todas as manobras realizadas de forma não-automáticas, com treinamento de todos os operadores para os melhores parâmetros.

Outra alternativa para explicar a desaeração insuficiente da linha de transporte de cerveja indica que isso é fruto de esquecimento da válvula manual do filtro KG aberta. Esse esquecimento é causado pela válvula de ar comprimido do filtro KG dando passagem, sendo a causa fundamental os reparos danificados da válvula. Como ação de melhoria, surgiu trocar esses reparos da válvula de ar comprimido do filtro, além de treinamentos. A figura 15 a seguir representa as soluções propostas para o problema de incorporação de oxigênio na cerveja na partida da filtração:

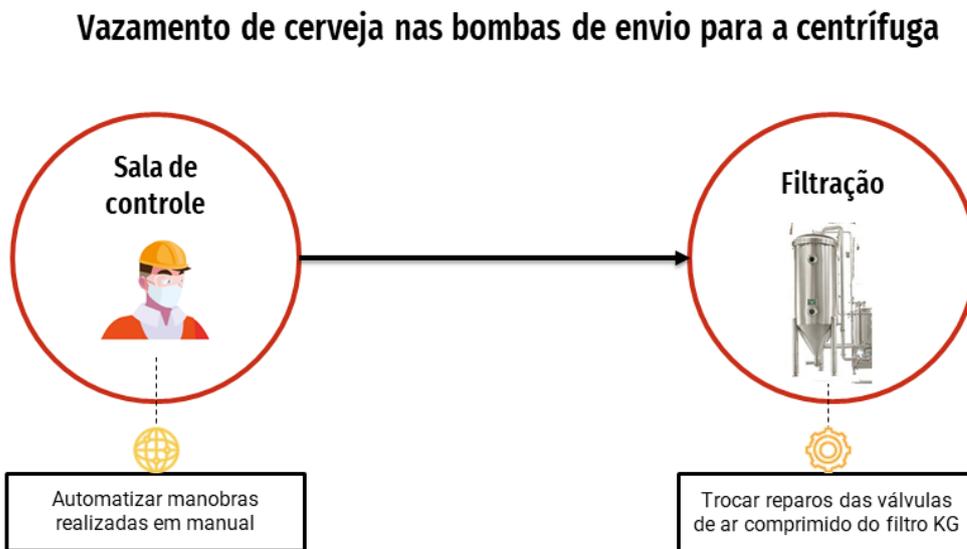


Figura 15: Soluções propostas para incorporação de oxigênio na partida da filtração.

Aldox produzindo água com oxigênio alto

A Figura 16 mostra o plano de ação para sanar o problema de produção de água pelo Aldox com alta concentração de oxigênio:

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ	AÇÃO (S)
Aldox produzindo água com alta concentração de oxigênio	Falha na leitura dos aparelhos de medição críticos	Oxímetro in-line não funciona	Subconjuntos danificados	Instrumento condensado	Comprar oxímetro inline novo para o aldox
		Transmissor de temperatura em fim de escala	Desgaste forçado dos equipamentos	Vazamento pela tubulação da coluna	Sanar vazamentos do aldox
		Moduladora do etanol com resposta lenta	Posicionador fora do ajuste	Equipamento obsoleto	Comprar posicionador da moduladora de etanol para realizar a troca
	Contaminação com água da rede	Tubulação de interligação sem válvula de retenção	Projetos posteriores inadequados	Falha na avaliação dos novos projetos	Instalar válvulas de retenção das tubulações de interligação que não as possuem

Figura 16: 5 Porquês do Aldox produzindo água com oxigênio alto.

Várias foram as explicações pensadas para a água oriunda do Aldox estar com alta concentração de oxigênio. Isso poderia estar ocorrendo devido à falha na leitura dos aparelhos de medição críticos, gerada por três motivos. O primeiro deles é o oxímetro *in-line* não funcionando de maneira apropriada, devido a subconjuntos danificados, com o instrumento condenado como causa-raiz. A fim de corrigir, surgiu a ação de compra de outro oxímetro para realizar a substituição do oxímetro condenado. Outro motivo para a falha na leitura dos aparelhos é o transmissor de temperatura em fim de escala, o que ocorre por desgaste forçado dos equipamentos, cuja causa-raiz é o vazamento pela tubulação da coluna. A ação para correção desse segundo motivo é sanar vazamentos do Aldox. Por fim, o terceiro motivo é a moduladora de etanol apresentando resposta lenta, devido ao posicionador fora do ajuste, que por sua vez é causado pelo fato que o equipamento já está obsoleto. Para corrigir, a ação é comprar posicionador da moduladora de etanol e trocá-la.

A alta concentração de oxigênio na água do Aldox também pode ser explicada pela contaminação dessa água com água da rede. A contaminação se dá na tubulação de interligação, por causa da não atuação da válvula de retenção. Essa ausência da válvula de retenção, por sua vez, foi causada por projetos posteriores à construção da cervejaria sendo realizados de maneira inadequada, sendo que a causa fundamental é a falha na avaliação desses projetos novos. Com o objetivo de corrigir a falta de válvulas de retenção atuando, surgiu como ação instalar tais válvulas nas tubulações que não a possuem. A Figura 17 ilustra as ações para reduzir a concentração de oxigênio na água oriunda do Aldox:

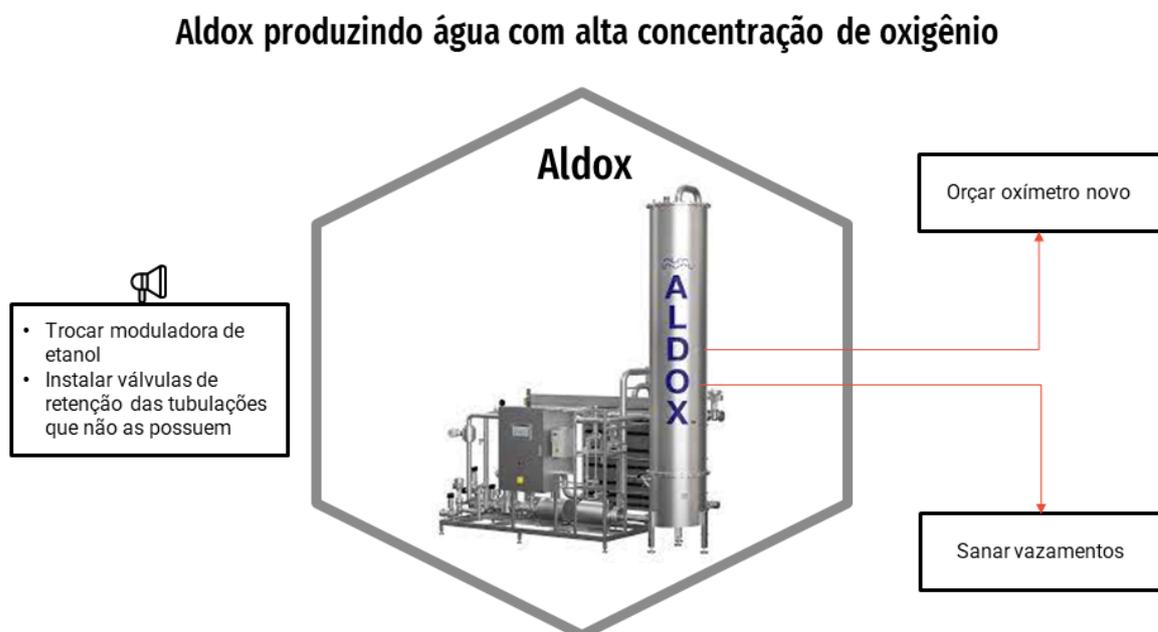


Figura 17: Soluções propostas para Aldox produzindo água com alta concentração de oxigênio.

Incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a Filtração

A Figura 18 representa os 5 Porquês de incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração:

1º PORQUÊ	2º PORQUÊ	3º PORQUÊ	4º PORQUÊ	5º PORQUÊ	AÇÃO (S)
Incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração	Criação de buraco ou espaço vago na linha	Bomba da filtração não está sincronizada com a bomba da adegas	Lógica de cálculo de vazão da bomba da adegas sempre vai dar menor que a vazão da bomba da Filtração	Lógica falha ou não atende	Instalar transmissor de pressão na saída da bomba da adegas Criar lógica para envio de cerveja modulando pelo Tanque PT1

Figura 18: 5 Porquês da incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a Filtração.

Foi observada incorporação de oxigênio no momento de envio da cerveja dos tanques maturadores para a filtração. Para explicar esse fenômeno, o 2º porquê versa sobre a possibilidade de uma criação de buraco ou espaço vago nas tubulações da linha que transmite a cerveja. Esse espaço vago é criado por causa da falta de sincronia entre as bombas da filtração e da adegas (área de fermentação e maturação). Essa falta de sincronia é fruto de um erro de programação, conforme o 4º Porquê, que indica que por causa desse erro na lógica de cálculo, a vazão da bomba da Adegas sempre vai dar menor que a vazão da bomba da Filtração. A causa-raiz, portanto, é a lógica de programação falhando ou não atendendo a realidade.

Para corrigir essa falha, duas ações surgiram. A primeira indica que é necessária a instalação de um transmissor de pressão na saída da bomba da Adegas. Essa instalação permitiria um melhor controle do Processo, já que possibilitaria a medição de pressão nesse ponto. Outra ação é a criação de uma nova lógica para envio de cerveja, fazendo com que o envio seja modulado em função do nível do Tanque PT1. A Figura 19 ilustra os pontos de atuação para solucionar o problema de incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração:

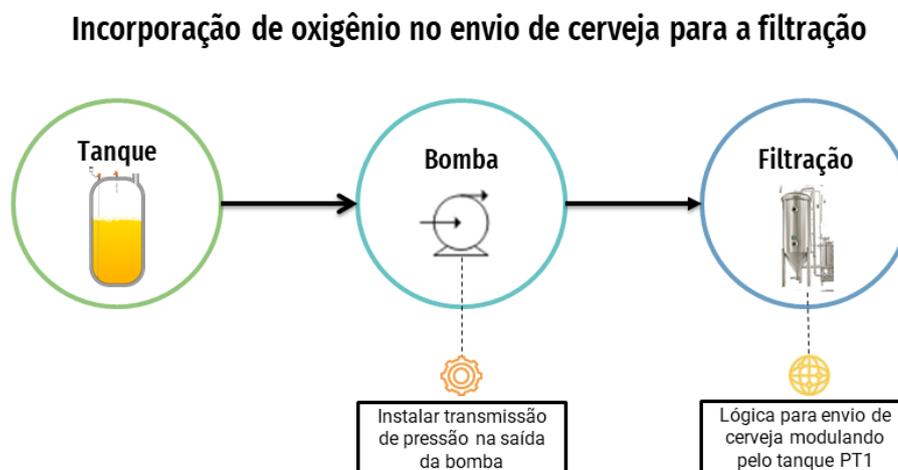


Figura 19: Soluções propostas para incorporação de oxigênio no envio de cerveja para a filtração.

A aplicação do Diagrama de Espinha de Peixe, Matriz de Priorização de Causas Prováveis e Matriz GUT, bem como a extensa aplicação do Método dos 5 Porquês, resultou no plano de ação para diminuição da incorporação de oxigênio na cerveja. O objetivo era chegar em uma concentração inferior a 10ppb no produto final. A aplicação do plano de ação foi tomada ao longo de três meses pelo time *Scrum* e gerou resultados que serão apresentados na próxima seção.

4.4 Incorporação de Oxigênio

Com o objetivo de determinar a efetividade das ações tomadas para reduzir a incorporação de oxigênio na cerveja, se mediu a concentração e se acompanhou a evolução do indicador por quatro meses, com início em fevereiro e final em maio de 2021. Este foi o período de acompanhamento porque nos três primeiros meses se fez o trabalho de identificação dos pontos de incorporação de oxigênio, priorização através das ferramentas de gestão e elaboração e cumprimento do plano de ação, e o quarto mês se observou a resolução do problema crônico de incorporação de oxigênio. Uma vez que dos seis principais pontos de incorporação de oxigênio identificados no processo, cinco se encontram na maturação, esse foi o ponto escolhido para fazer as medições. Esta, é realizada uma vez, ao final da maturação.

A medição ocorre de forma manual, com o uso de um medidor portátil de oxigênio dissolvido na cerveja, ilustrado na figura 20. O operador responsável se dirige até o tanque maturador, conecta a mangueira do aparelho na provadeira do tanque e abre a válvula para a passagem da cerveja para dentro do medidor de oxigênio. Com base em reações de redução e oxidação, o aparelho exibe em sua tela a concentração de oxigênio, em ppb. Esse valor é anotado pelo operador que, após terminar todas as medições, faz a atualização desses dados no sistema.



Figura 20: Medidor portátil de oxigênio (KASALAB, [202-?]).

A análise evolutiva dos dados permite ver o impacto, ao longo do período de estudo, da resolução do plano de ação elaborado pelo time *Agile*. As figuras 21, 22, 23 e 24 exibem a concentração de oxigênio dissolvido na cerveja, em ppb, *versus* o número de lote em cada mês, com início em fevereiro, que foi o mês de início da resolução do plano de ação, e são apresentadas a seguir:

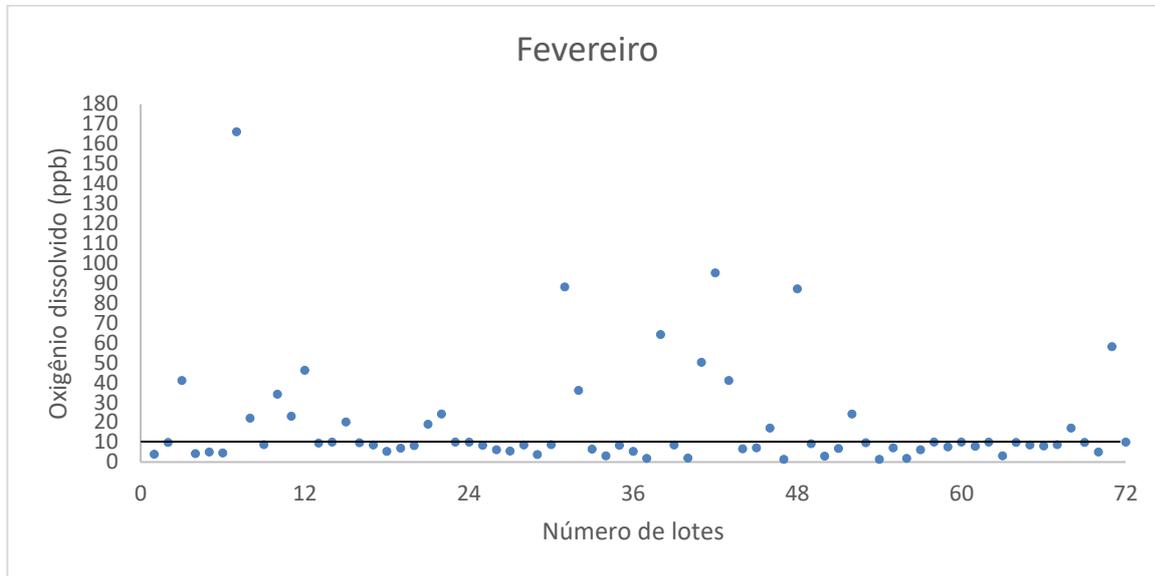


Figura 21: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) *versus* número de lotes em fevereiro de 2021.

O mês de fevereiro apresenta o cenário antes da realização do estudo de caso. O mês contou com um total de 72 análises realizadas para determinação da concentração de oxigênio dissolvido na cerveja. A média das concentrações no mês foi 18,45 ppb, 84,5% acima do limite desejado de 10 ppb para manter a qualidade da cerveja. A quantidade de amostras acima do limite foi 20, o que representa 27,78% das amostras acima do limite de especificação, implicando decréscimo na qualidade da cerveja vendida ao consumidor. Uma amostra chegou a atingir o valor de 166 ppb, mais de 16 vezes o permitido. As figuras 22, 23 e 24, a seguir, apresentam os valores de oxigênio dissolvido na cerveja, em ppb, *versus* o número de lotes analisados em março, abril e maio de 2021, respectivamente.

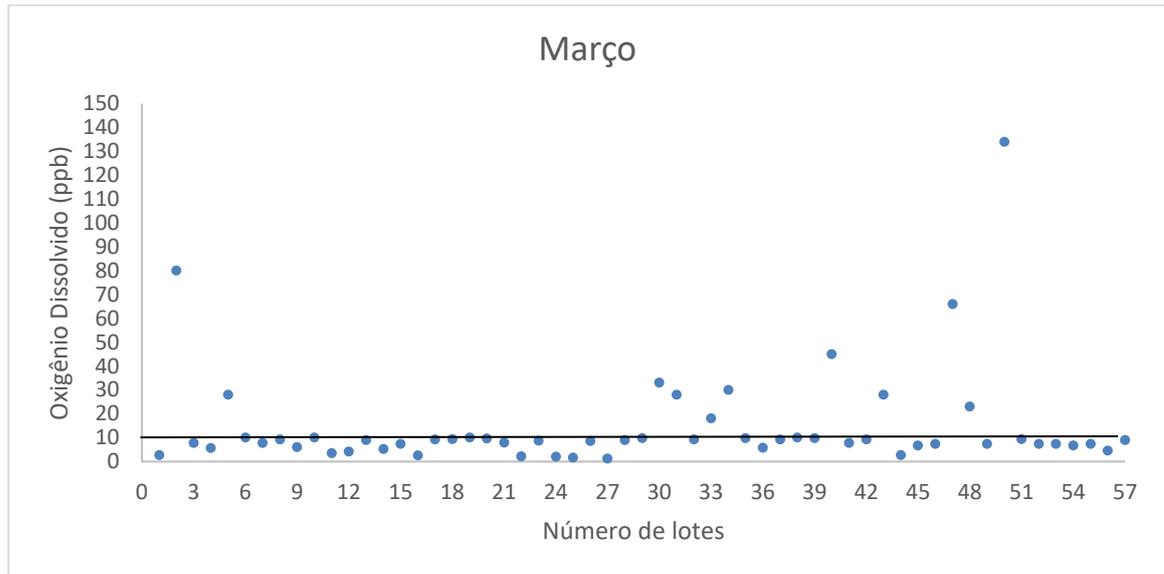


Figura 22: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) versus número de lotes em março de 2021.

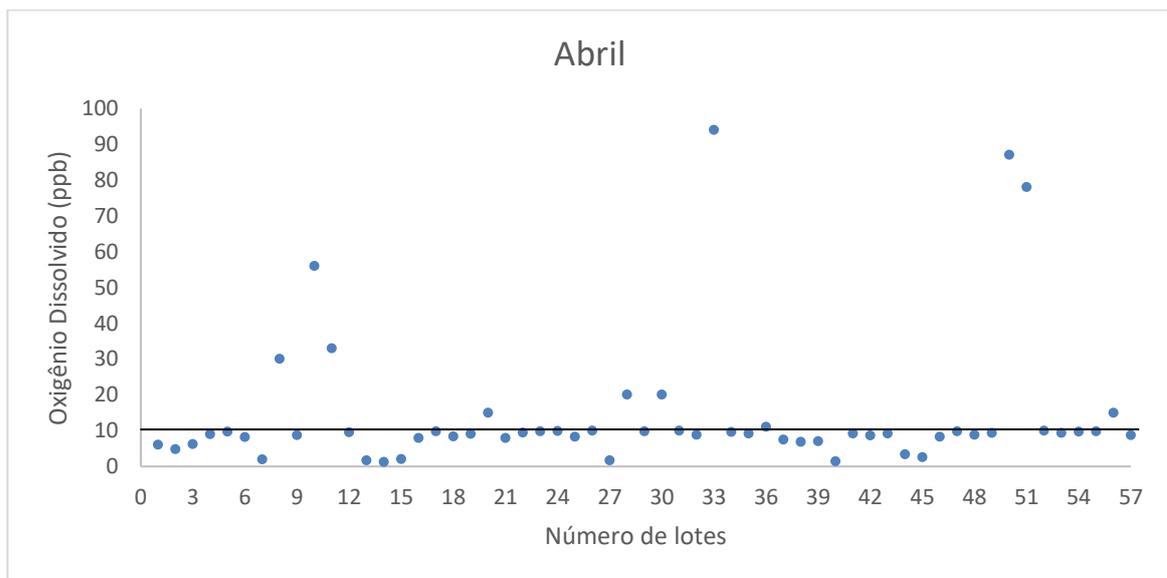


Figura 23: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) versus número de lotes em abril de 2021.

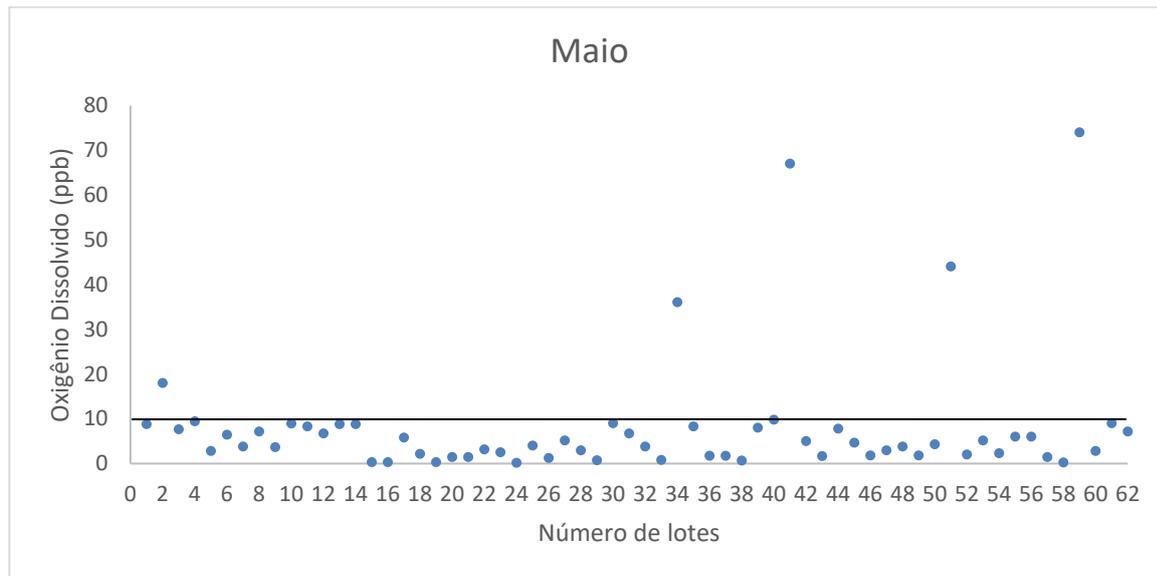


Figura 24: Concentração de oxigênio dissolvido (ppb) *versus* número de lotes em maio de 2021.

A Tabela 2, apresentada a seguir, exibe dados de interesse para acompanhamento da evolução no tratamento do plano de ação para a diminuição da incorporação de oxigênio na cerveja. A primeira coluna indica o mês em que as análises foram realizadas, de fevereiro a maio de 2021. Em seguida, a quantidade de análises em cada mês e da média da concentração de oxigênio nessas amostras. As colunas 4 e 5 apresentam uma relação percentual de decréscimo das concentrações de oxigênio em relação ao mês anterior e ao mês inicial, respectivamente. Por fim, a coluna 6 apresenta a quantidade de amostras com concentração de oxigênio acima do limite e a coluna 7 a porcentagem de amostras acima do limite em relação à quantidade total:

Tabela 2: Análise dos dados de concentração de oxigênio por amostra.

Mês	Quantidade de análises	Média das concentrações de oxigênio (ppb)	Decréscimo da média das concentrações de oxigênio em relação ao mês anterior	Decréscimo da média das concentrações de oxigênio em relação ao mês inicial	Quantidade acima do limite	Porcentagem acima do limite
Fevereiro	72	18,45	-	-	20	27,78%
Março	57	14,71	20,27%	20,27%	11	19,29%
Abril	57	14,15	3,81%	23,31%	11	19,29%
Maior	62	7,86	44,45%	57,40%	5	8,06%

Há grande similaridade entre os dados observados nos meses de março e abril. A quantidade de lotes analisados foi menor, devido à diminuição da produção com o término do verão. A média das concentrações de oxigênio permaneceu acima do limite permitido, indicando a necessidade da continuidade do estudo. Apesar disso, já foi possível observar melhorias em relação ao início do estudo, com decréscimo tanto da média das concentrações de oxigênio como da quantidade de amostras acima do limite permitido de 10 ppb.

Por fim, em maio, houve um pequeno aumento da quantidade de amostras analisadas. Observou-se uma média de 7,86 ppb nas concentrações de oxigênio dissolvido, ficando, pela primeira vez no período analisado, abaixo do limite de 10 ppb. Apenas 5 lotes ficaram com a concentração de oxigênio dissolvido acima de 10 ppb.

O plano de ação foi sendo desenvolvido ao longo dos 4 meses em que o estudo de caso foi realizado. Pela própria maneira que o método *Agile* é realizado, não há o controle de quando cada ação foi feita. Isso acontece porque o plano de ação foi realizado em um quadro físico, com *post-its*, conforme a ilustração da método *Kanban*. À medida que os responsáveis por cada ação resolviam suas pendências, simplesmente retiravam seus *post-its* das colunas “Em progresso” para “Feito” no quadro, sem anotar a data em que eram realizadas. Desse modo, não é possível saber em qual mês cada ação foi realizada.

5 Conclusão

É importante se observar a situação da incorporação de oxigênio da cerveja antes e após a realização do estudo de caso, para determinar se houve efetividade no trabalho realizado. Em fevereiro, previamente ao início da aplicação da metodologia *Agile*, 27,78% das amostras analisadas possuíam concentração de oxigênio acima do limite permitido de 10 ppb, com média de concentrações em 18,45 ppb. Os dados comprovam que havia a necessidade da realização do estudo de caso para corrigir essa discrepância.

Já com o mapeamento do processo realizado e algumas ações do plano cumpridas, se observou, em março e abril, diminuição tanto da média das concentrações de oxigênio como na quantidade de amostras acima do limite de 10 ppb em relação a fevereiro. A quantidade de amostras acima do limite de 10 ppb caiu quase pela metade, sendo 11 amostras em cada mês *versus* 20 amostras em fevereiro. Além disso, houve uma pequena queda na média das concentrações de oxigênio incorporado na cerveja. Conclui-se que o efeito do cumprimento do plano de ações já começou a ser observado em março e abril.

Por fim, a análise dos dados em maio explicita que o estudo de caso foi um sucesso. Isso porque a média das concentrações de oxigênio teve um decréscimo de 57,40% em relação às condições prévias ao estudo de caso, e apenas 5 amostras ficaram acima do limite de 10 ppb. Uma vez que essas amostras representam 8,06% do total de amostras analisadas em maio, tais condições podem se tratar de problemas pontuais, o que significa que o estudo de caso utilizando a metodologia *Agile* resolveu o problema crônico de incorporação de oxigênio no processo. Além, disso, há de se considerar que a coleta de dados é feita de forma manual, o que pode gerar erros e explicar os valores discrepantes.

Com base na análise dos resultados, se chega à conclusão que a metodologia *Agile* aplicada e as ferramentas empregadas para a realização da análise tiveram resultado positivo para diminuir a concentração de oxigênio incorporado na cerveja. Com o *Agile*, foi possível realizar o mapeamento extenso do processo, identificando todas possíveis causas de incorporação de oxigênio na cerveja e corrigindo as que têm impacto maior. Ademais, o plano de ação implementado foi eficiente e gerou os resultados desejados.

REFERÊNCIAS

1. AMBLER, S. **Agile Modeling: Effective Practices for eXtreme Programming and the Unified Process**. 1ª edição. [S.l.]: Wiley, 2004.
2. BECK, K et al. Manifesto for Agile Software Development. **Agile Manifesto**, Snowbird, 2001. Disponível em: <http://agilemanifesto.org/principles.html>. Acesso em: set. 2021.
3. SCHWABER, K. **Agile Project Management With Scrum**. 1ª edição. [S.l.]: Microsoft Press, 2004.
4. GOMES, André. **Desenvolvimento Ágil com Kanban**. Disponível em: <https://www.devmedia.com.br/desenvolvimento-agil-com-kanban-java-magazine-84/18235>. Acesso em: set. 2021.
5. T. O. Zinchenko, P. E. Golubkov, E. A. Pecherskaya, V. V. Antipenko, G. V. Kozlov and A. V. Pecherskiy, "Development of a Quality Control System for Transparent Conductive Oxides," *2020 7th International Congress on Energy Fluxes and Radiation Effects (EFRE)*, 2020, pp. 1309-1313, doi: 10.1109/EFRE47760.2020.9241909.
6. Nathalie Bonnardel, John Didier, Brainstorming variants to favor creative design, *Applied Ergonomics*, Volume 83, 2020, 102987, ISSN 0003-6870, <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2019.102987>. (<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0003687018305520>)
7. ANDRADE, Luiza. **Diagrama de Ishikawa: o que é e como fazer**. Siteware, 13 set. 2017. Disponível em: <https://www.siteware.com.br/blog/metodologias/diagrama-de-ishikawa/>. Acesso em: 21 set. 2021.
8. SABINO, Gaby. **O que são os 6M no diagrama de causa e efeito?**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://radardeprojetos.com.br/o-que-sao-os-6m-no-diagrama-de-causa-e-efeito/>. Acesso em: 21 set. 2021.
9. RODRIGUES, Jéssica Dias. **PROPOSTA DE MELHORIA DA PRODUTIVIDADE DA ESCAVADEIRA LIEBHERR R 954 SME ATRAVÉS DA METODOLOGIA LEAN SEIS SIGMA**. Orientador: Prof. Dr. Carlos E. Arroyo. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia de Minas) - Engenharia de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. Disponível em: https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/1463/6/MONOGRAFIA_PropostaMelhoriaProdutividade.pdf. Acesso em: 21 set. 2021.
10. ROCK CONTENT. **Conheça a Matriz de Esforço x Impacto e saiba como aplicá-la no dia a dia da sua empresa**. [S. l.]: Redator Rock Content, 15 ago. 2018. Disponível em: <https://rockcontent.com/br/blog/matriz-de-esforco-x-impacto/>. Acesso em: 21 set. 2021.
11. BEHR, Ariel *et al.* Gestão da biblioteca escolar: metodologias, enfoques e aplicação de ferramentas de gestão e serviços de biblioteca. **Ciência da Informação**, Brasília, v. 37, ed. 2, p. 32-42, Maio/Ago 2008. Disponível em:

- <https://www.scielo.br/j/ci/a/7qkmKSkzS5xmqhM3FjMnk5t/?lang=pt&format=pdf>. Acesso em: 21 set. 2021.
12. DAEXE ASSESSORIA EXECUTIVA. **Matriz GUT: veja como definir as prioridades da sua empresa**. [S. l.], 7 ago. 2018. Disponível em: <https://www.daexe.com.br/2018/08/07/matriz-gut/>. Acesso em: 21 set. 2021.
 13. AGUIAR, Milena Cabral. **Análise de Causa Raiz: levantamento dos métodos e exemplificação**. Orientador: Profa. Fernanda Maria Pereira Raupp. 2014. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Produção) - Engenharia da Produção, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/23437/23437.PDF>. Acesso em: 21 set. 2021.
 14. PROCESSO de Produção. [S. l.]: Fazendo Cerveja - Consultoria Cervejeira, 2021. Disponível em: <https://www.fazendocerveja.com.br/processo-de-produ%C3%A7%C3%A3o>. Acesso em: 4 nov. 2021.
 15. TSCHOPE, E. C. 2001. *Microcervejarias e Cervejarias. A História, a Arte e a Tecnologia*. Editora Ad. São Paulo.
 16. AQUARONE, E. "Biotecnologia Industrial na produção de Alimentos". São Paulo, Editora Blucher LTDA, 2001.
 17. KUNZE, W. "Technology Brewing and Malting". Berlin, Germany. VLB, 1999.
 18. STWART, G. G.; RUSSEL, I. "Manual da Levedura e Fermentação High Gravity" Heriot-Watt University, Ricarton, Edinburg EH 14 4AS. Scotland, 2005.
 19. ITALIAINOX. **Placa de Distribuição de Bebidas**. [S. l.], 2021. Disponível em: <http://italiainox.com.br/portfolio-view/servico-02/>. Acesso em: 21 set. 2021.
 20. BALARIM, Carlos R.; TAGA, Luiz A.; FILHO, Jorim S. Virgens; FILHO, Alceu G. Andrade; WIECHETECK, Giovana K. Custo de bombas centrífugas funcionando como turbinas em microcentrais hidrelétricas. **Energia na Agricultura**, [s. l.], v. 24, ed. 1, 22 nov. 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/4G7p59f8ZDGD6kcVtFTvwkR/?lang=pt>. Acesso em: 21 set. 2021.
 21. VELARDE-SUÁREZ, Sandra. **Centrifugal Pump (Drawing)**. [S. l.], 1998. Disponível em: https://www.researchgate.net/figure/Centrifugal-pump-drawing_fig1_242346456. Acesso em: 21 set. 2021.
 22. BASTOS, Alexander Rangel; AFONSO, Júlio Carlos. SEPARAÇÃO SÓLIDO-LÍQUIDO: CENTRÍFUGAS E PAPÉIS DE FILTRO. **Química Nova: Assuntos Gerais**, [s. l.], v. 38, ed. 05, Junho 2015. DOI <https://doi.org/10.5935/0100-4042.20150043>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/qn/a/kYtGtdq8JdBmjrvZfZdTmqK/?lang=pt>. Acesso em: 21 set. 2021.
 23. MUNROE, J.H. Aging and Finishing. In: HARDWICK, W.A. *Handbook of Brewing*. New York: Marcel Dekker, 1994b. p.355-379.
 24. NASSER JUNIOR, Roberto. Otimização das colunas de absorção da recuperação de acetona na produção de Filter Tow por meio de estudos fenomenológicos e análise estatística. 2009. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. doi:10.11606/T.3.2009.tde-18122009-141222. Acesso em: 2021-09-23.

25. REINOLD, Matthias R. A Filtração da Cerveja. **O Processo de Filtração da Cerveja**, [s. l.], p. 36-41, 1995. Disponível em: <https://www.cervesia.com.br/artigos-tecnicos/downloads/artigos-t%C3%A9cnicos/58-a-filtracao-da-cerveja/file.html>. Acesso em: 21 set. 2021.
26. MATTOS, Rubens Celso Fonseca. **EFEITO DAS VARIÁVEIS DE TRANSPORTE E ESTOCAGEM SOBRE A ESTABILIDADE SENSORIAL DE CERVEJAS TIPO PILSEN**. Orientador: Prof. Dr. ROBERTO HERMÍNIO MORETTI. 2007. Tese (Doutorado, Tecnologia de Alimentos) - Faculdade de Engenharia de Alimentos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2007. Disponível em: http://repositorio.unicamp.br/bitstream/REPOSIP/255537/1/Mattos_RubensCelsoFonseca_D.pdf. Acesso em: 21 set. 2021.
27. MAIA, Paulo José de Sousa. **“FOTOQUÍMICA “VERDE”: DESENVOLVIMENTO DE COMPLEXOS DE METAIS DE TRANSIÇÃO LUMINESCENTES PARA ATIVAÇÃO DE OXIGÊNIO SINGLETE E A SUA APLICAÇÃO NA DESINFECÇÃO DE ÁGUA CONTAMINADA COM MICROORGANISMOS PATOGENICOS (ESCHERICHIA COLI E ENTEROCOCCUS FAECALIS)”**. Orientador: Profa. Dra. Rose Maria Carlos. 2015. Tese (Doutorado em Ciências, Química Inorgânica) - Departamento de Química, Universidade Federal de São Carlos, São Carlos - SP, 2015. Disponível em: https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/10519/MAIA_Paulo_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y. Acesso em: 21 set. 2021.
28. CAVALLARI, Rodrigo. **QUAIS SÃO OS TIPOS DE KANBAN E COMO UTILIZAR?**. [S. l.], 19 jul. 2019. Disponível em: <https://blog.delogic.com.br/quais-sao-os-tipos-de-kanban-e-como-utilizar/>. Acesso em: 22 set. 2021.
29. DA COSTA, Rodrigo Calçada. **Reciclagem de baterias de íons de lítio por processamento mecânico**. Orientador: Andréa Moura Bernardes. 2010. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2010. Disponível em: <http://www.bibliotecadigital.ufrgs.br/da.php?nrb=000768713&loc=2011&l=20f6b6dd6e99eda1>. Acesso em: 5 out. 2021.
30. DA SILVA, ANTONIO GUILHERME TEBAS CORREA. **Controle da Perda de Extrato no Processo de Centrifugação**. Orientador: Prof. Dr. João Batista de Almeida e Silva. 2012. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Química) - Engenharia Química da Universidade de São Paulo, Lorena, 2012. Disponível em: <https://sistemas.eel.usp.br/bibliotecas/monografias/2012/MEQ12010.pdf>. Acesso em: 28 out. 2021.
31. KASALAB, Kasalab. **MEDIDOR DE OXÍGENO DISUELTO PARA APLICACIONES EN PPB O CALDERAS**. [S. l.]: Kasalab, [202-?] [202-?]. Disponível em: kasalab.com/producto/medidor-de-oxigeno-disuelto-para-aplicaciones-en-ppb-o-calderas/. Acesso em: 4 nov. 2021.