



Universidade Federal de Ouro Preto
Escola de Minas
Departamento de Engenharia de Produção



**Análise de modo e efeito de falha dos processos de assepsia dos trocadores
de calor e das linhas de mosto e aeração em uma cervejaria de Minas
Gerais**

João Pedro Semedo

Ouro Preto

2022

João Pedro Semedo

**Análise de modo e efeito de falha dos processos de assepsia dos trocadores
de calor e das linhas de mosto e aeração em uma cervejaria de Minas
Gerais**

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como parte dos requisitos necessários para a obtenção de Grau de Engenheiro de Produção.

Orientador: Profa. Dra. Maurinice Daniela Rodrigues

OURO PRETO –MG

Outubro de 2022



FOLHA DE APROVAÇÃO

João Pedro Semedo

Análise de modo e efeito de falha dos processos de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e aeração em uma cervejaria de Minas Gerais

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia de Produção da Universidade Federal de Ouro Preto como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em Engenharia de Produção

Aprovada em 22 de Dezembro de 2022.

Membros da banca

Dra. Maurinice Daniela Rodrigues - Orientadora (Universidade Federal de Ouro Preto)
Dr. Gustavo Nikolaus Pinto de Moura - (Universidade Federal de Ouro Preto)
Me. Cristiano Luís Turbino de França e Silva - (Universidade Federal de Ouro Preto)

Maurinice Daniela Rodrigues, orientadora do trabalho, aprovou a versão final e autorizou seu depósito na Biblioteca Digital de Trabalhos de Conclusão de Curso da UFOP em 03/02/2023.



Documento assinado eletronicamente por **Maurinice Daniela Rodrigues, PROFESSOR DE MAGISTERIO SUPERIOR**, em 03/02/2023, às 15:00, conforme horário oficial de Brasília, com fundamento no art. 6º, § 1º, do [Decreto nº 8.539, de 8 de outubro de 2015](#).



A autenticidade deste documento pode ser conferida no site http://sei.ufop.br/sei/controlador_externo.php?acao=documento_conferir&id_orgao_acesso_externo=0, informando o código verificador **0468989** e o código CRC **52F2DADE**.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais Airton e Maria pelo apoio incondicional, e dedicação para que eu pudesse estar aqui hoje, a avó Constância por toda a inspiração e a toda a minha família que direta ou indiretamente me apoiou em todos esses anos de graduação. Agradeço também a minha namorada, Alexsandra por todo suporte e carinho.

Aos professores do curso de Engenharia de Produção pelas oportunidades e ensinamentos, especialmente a orientadora professora Dra. Maurinice Daniela, pela paciência e dedicação a esse trabalho de conclusão de curso.

Obrigado também a todos os amigos que fiz durante essa jornada de graduação, em especial do CAEM e da República Baviera, a caminhada foi muito melhor com vocês.

Por fim agradeço a Ambev, por ceder o espaço e dar todo o suporte para que esse trabalho fosse realizado, em especial a Thais do Valle e a Júlia Magalhães, por compartilhar seus conhecimentos e oferecer todo suporte necessário para que esse trabalho fosse concluído.

RESUMO

A Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA) é utilizada em diversos setores da indústria, podendo ser direcionada para um processo ou produto. O uso dessa ferramenta visa atingir a melhoria contínua, diminuindo não conformidades, evitando paradas para manutenção ou intervenções manuais, além de otimizar os processos e diminuir falhas e variabilidade. Através da pesquisa-ação, este trabalho objetiva possibilitar que todas as análises do mosto em relação às contaminações microbiológicas de uma cervejaria em Minas Gerais estejam conformes, utilizando para tanto uma FMEA. A FMEA foi desenvolvida nos processos de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e aeração do resfriamento. Com a FMEA foi possível promover análises e tratativas dos itens que mais impactavam nas contaminações presentes nas análises microbiológicas, sendo por bactérias aeróbias, anaeróbias ou ainda por leveduras selvagens. Além disso, foram elaboradas soluções preventivas, o que acarretou na diminuição de falhas, melhora do processo, e na garantia da conformidade do mosto em relação às contaminações microbiológicas.

Palavras-chave: FMEA, mosto, conformidade, processos.

ABSTRACT

The Failure Mode and Effect Analysis (FMEA) is used in several sectors of the industry, and can be directed to a process or product. The use of this tool aims to achieve continuous improvement, observed non-conformities, avoiding stops for maintenance or manual interventions, in addition to optimizing processes and reducing failures and variability. Through action-research, this work aims to make it possible for all analyzes of the must in relation to microbiological contamination in a brewery in Minas Gerais to be in compliance, using an FMEA. FMEA was developed in the asepsis processes of heat exchangers and wort and aeration lines of the cooling area. With the FMEA, it was possible to promote analysis and treatment of the items that most impacted the contamination present in the microbiological analyzes, whether by aerobic, anaerobic bacteria or even by wild yeasts. In addition, preventive solutions were developed, which resulted in the reduction of failures, improvement of the process, and the guarantee of compliance with regard to microbiological contamination.

Keywords: FMEA, wort, compliance, processes.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de produção da área quente	23
Figura 2 - Processo de fermentação e maturação (adegas).....	25
Figura 3 - Processo de filtração	27
Figura 4 – Representações da estação de assepsia do resfriamento, aeração e linha de mosto	39
Figura 5 – Representação da estação de assepsia do resfriamento.....	40
Figura 6 - Representação dos trocadores de calor até a distribuição.....	41
Figura 7 - Representação da linha de ar	42

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Classificação de severidade das ocorrências	14
Tabela 2 - Classificação dos níveis de ocorrência de falha segundo o FMEA.....	16
Tabela 3 - Classificação da possibilidade de detecção de falha	17
Tabela 4 - Frequência de coleta de amostras microbiológica da linha de resfriamento e aeração do mosto	29
Tabela 5 - Acompanhamento dos itens críticos para o CIP.....	45
Tabela 6 - Análises microbiológicas de março de 2022.....	47
Tabela 7 –FMEA do processo de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e ar50	
Tabela 8 – RPN antes e após a excussão das ações propostas	60
Tabela 9 - Análises microbiológicas em julho de 2022.....	62
Tabela 10 - Evolução da conformidade do mosto ao longo dos meses.....	63

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS	3
RESUMO	4
ABSTRACT	5
LISTA DE ILUSTRAÇÕES	6
LISTA DE TABELAS	7
SUMÁRIO.....	8
1 INTRODUÇÃO	10
2 REFERENCIAL TEÓRICO	12
2.1 ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA - FMEA	12
2.2 Aplicações de FMEA	17
3 MÉTODO DE ESTUDO	19
4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA AÇÃO.....	20
4.1 Etapa de Planejamento: entendimento do contexto e propósito.....	20
4.1.1 Apresentação da empresa estudada	20
4.1.2 Processo cervejeiro	20
4.1.3 Outros conceitos relevantes a esse estudo	28
4.1.4 Definição da equipe, objetivos e expectativas.....	36
4.2 Coleta e análise de dados.....	38
4.2.1 Representação da área e das linhas estudadas	38
4.2.2 Desenvolvimento de DTO	42
4.2.3 Análises microbiológicas da cerveja	46
4.2.4 Desenvolvimento da FMEA	47
4.3 Etapa 2: implementação das ações	53
4.3.1 Detalhamento das causas potenciais de falha e definição de tratativas para melhorias do processo de assepsia dos trocadores de calor e da linha de mosto do resfriamento.....	53
4.3.2 Detalhamento dos problemas e propostas de melhorias para o processo de assepsia da linha de aeração do mosto	57

4.4	Etapa 3: Descrição das ações.....	60
4.4.1	Descrição das ações aplicadas na estação de assepsia e linha de mosto e ar	61
4.5	Etapa 4: Resultados atingidos.....	61
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	64
	REFERÊNCIAS	65

1 INTRODUÇÃO

A confiabilidade é de extrema importância em todo produto ou processo produtivo, isso ocorre, pois, a sua falha pode acarretar na insatisfação do consumidor (CAPALDO *et al.*, 1999). Para garantir a confiabilidade indústrias das mais diferentes áreas devem ter um alto investimento de tempo, capital humano e financeiro para garantir que todos seus processos e produtos sejam finalizados como esperado.

Uma ferramenta que contribui para garantir a confiabilidade é a Análise do Modo e Efeito de Falha (FMEA), dado que esta proporciona a criação de análises detalhadas, organizando quais ações a serem tomadas por ordem de criticidade, definidas a partir do grau de ocorrência, severidade e detecção (CARPINETTI, 2016). A FMEA demonstra ser uma excelente técnica para auxiliar a garantir a qualidade nos processos produtivos das mais diferentes indústrias, como a cervejeira (CORTE, 2016).

A qualidade da cerveja depende de um sistema de gestão que possibilite a segurança e satisfação do consumidor. As análises microbiológicas são uma importante ferramenta de auxílio para as tomadas de decisões relacionadas à gestão de segurança e da qualidade dos alimentos, sendo importantes, especialmente, para determinar a segurança dos alimentos produzidos, controlar boas práticas de higiene, determinar se um alimento ou ingrediente está adequado para determinada função, bem como prever a estabilidade do produto (ICMSF, 2015).

É de extrema importância garantir que o mosto esteja livre de contaminações, pois se trata do líquido que será fermentado e então filtrado para produzir a cerveja, de forma que, se estiver contaminado, fará com que todas as etapas seguintes do processo de produção de cerveja fiquem com contaminações. Dito isso, é necessário garantir que o processo de assepsia dos trocadores de calor, linhas de mosto e de ar ocorram de maneira adequada, sem nenhum tipo de falha, a fim de garantir a confiabilidade do processo.

Para o contexto desse trabalho, o foco será propiciar que todas as análises microbiológicas do mosto resfriado (após passar pelo trocador de calor) e do mosto aerado (após o mosto ser resfriado é dosado ar para auxiliar no processo de fermentação) estejam conformes, ou seja, livres de qualquer tipo de contaminação por bactérias deteriorantes, anaeróbias ou leveduras selvagens. Assim, nesse trabalho será desenvolvida FMEA dos processos de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e aeração da área do

resfriamento - sendo a linha de mosto da área do resfriamento a responsável por levar o mosto dos trocadores de calor até os tanques de fermentação.

No Brasil, o mercado cervejeiro é responsável por 1,6% do PIB nacional, gerando 2,7 milhões de empregos e faturando cerca de R\$ 107 bilhões em 2017, além de ter sido destinado para sua cadeia produtiva um investimento de R\$ 12 bilhões entre 2014 e 2017 (CERVBRASIL, 2022).

Especificamente na cervejaria que foi desenvolvido este trabalho, essa possui cerca de mil funcionários, entre próprios e terceiros, e uma meta de atingir uma produção de 500 mil hectolitros de cerveja em 2022, o que representa um aumento de cerca de 25% no volume de produção em relação a 2021. Esse aumento justifica-se especialmente pelo retorno das festividades pós-pandemia, somando-se à Copa do Mundo de 2022, comemorações de fim de ano e do carnaval.

Esse aumento de produção deve estar atrelado à manutenção da qualidade do produto, focando sempre em atender as expectativas dos clientes. Tendo isso em vista, a empresa estipulou como meta para o setor da qualidade garantir 100% de conformidade nas análises microbiológicas em todas as etapas produtivas. Portanto, o desenvolvimento desse trabalho auxiliará a organização a atingir suas metas, bem como possibilitará o emprego da FMEA como uma nova possibilidade de técnica para melhorar os seus processos e produtos.

A assepsia dos trocadores de calor do resfriamento e da linha de aeração do mosto é um processo relativamente complexo, com diversos equipamentos e mecanismos. A FMEA desse processo pode ser uma ferramenta de grande apoio, auxiliando no desenvolvimento de uma investigação detalhada, reconhecendo os itens críticos que geram a não conformidade do produto produzido.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA - FMEA

A confiabilidade de um sistema ou de um item particular corresponde à sua probabilidade de desempenhar adequadamente o seu propósito especificado, por um determinado período e sob condições ambientais predeterminadas (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009; LEEMIS, 1995). A confiabilidade é uma dimensão da qualidade muito importante, pois a falha de um produto ou processo pode acarretar na insatisfação do consumidor ao privá-lo do uso do bem de consumo por determinado tempo (CAPALDO *et al.*, 1999).

A FMEA é uma técnica de confiabilidade que busca atingir os pontos fracos do processo para obter a melhoria contínua, possuindo três etapas principais (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009, p. 173):

- (i) Reconhecer e avaliar as falhas potenciais que podem surgir em um produto ou processo;
- (ii) Identificar as ações que possam eliminar ou reduzir a chance de ocorrência dessas falhas;
- (iii) Documentar um estudo, criando um referencial técnico que possa auxiliar em revisões e desenvolvimento futuros do projeto ou processo.

Para tanto, deve-se formar equipes multifuncionais, sendo geralmente, um indivíduo responsável pela condução do FMEA, e pessoal de setores como qualidade, manufatura, confiabilidade, fornecedores, entre outros (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009). Além disso, o mesmo autor pontua que o ideal é que os estudos sejam realizados antes das falhas ocorram, de forma que a manutenção se torne preditiva.

A FMEA pode ser dividida em duas classes: a de projeto/desenvolvimento; e a de processo/produção. Apesar de as etapas e a maneira de realização da análise serem as mesmas, essas classes se diferenciam quanto ao objetivo (CAPALDO *et al.*, 1999). Na FMEA de projeto, busca-se verificar se as funções formuladas na lista de requisitos estão satisfeitas; e na FMEA de processo, se o processo de fabricação planejado é adequado para alcançar as características exigidas (PAHL *et al.*, 2005).

Destaca-se também que falhas associadas à eficiência do projeto não devem ser incluídas na FMEA do processo, uma vez que esta se baseia em itens como a descrição das etapas do processo, manuais (treinamento, operação, segurança, entre outros), capacidade e capacidade do processo (FOGLIATO; RIBEIRO, 2009).

A metodologia da FMEA é responsável por fazer uma análise aprofundada dos modos e efeitos de falha e por hierarquizar as prioridades a serem tratadas para cada modo de falha (CARPINETTI, 2016). Dessa forma, devem-se considerar os quatro itens que serão apresentados abaixo (CARPINETTI, 2016; FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009):

- Severidade

A partir de uma avaliação qualitativa da severidade do efeito potencial de falha. Tal avaliação é feita de 1 a 10, em que 1 é pouco severo e 10 é muito severo. Detalhadamente, na Tabela 1 tem-se:

Tabela 1 - Classificação de severidade das ocorrências.

(continua)

Índice de severidade			
Efeito	Efeito no cliente	Efeito na manufatura/montagem	Índice de severidade
Perigoso sem aviso prévio	Severidade muito alta, quando a falha afeta a segurança da operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio.	Ou pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) sem aviso prévio.	10
Perigoso com aviso prévio	Severidade muito alta quando a falha afeta a segurança na operação do produto e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental.	Ou pode pôr em perigo o operador (máquina ou montagem) com aviso prévio.	9
Muito alto	Produto/item sem operação (perda das funções primárias).	Ou 100% dos produtos podem ter que ser sucateados, ou de veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo maior do que uma hora.	8
Alto	Produto/item em operação, mas com níveis de desempenho reduzido. Cliente muito insatisfeito.	Ou os produtos podem ter que ser selecionados e uma parte (menor do que 100%) sucateamento ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo entre 0,5 hora e 1 hora.	7
Moderado	Produto/item em operação, mas item(s) de conforto/conveniência inoperável(is). Cliente insatisfeito.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos pode ter que ser sucateada sem seleção, ou o veículo/item reparado no departamento de reparo com um tempo de reparo menor do que uma hora.	6

Tabela 2 - Classificação de severidade das ocorrências.

(conclusão).

Índice de severidade			
Efeito	Efeito no cliente	Efeito na manufatura/montagem	Índice de severidade
Baixo	Veículo/item em operação, mas (item(s) de conforto/conveniência operável(is) com níveis de desempenho reduzidos).	Ou 100% dos produtos podem ter que ser retrabalhados, ou veículo/item reparado fora da linha, mas não vai para o departamento de reparo.	5
Muito baixo	Itens de ajuste, acabamento, chiado ou barulho não conformes. Defeito notado pela maioria dos clientes (mais do que 75%).	Ou os produtos podem ter que ser selecionados, sem sucateamento, e uma parte (menor que 100%) ser trabalhada.	4
Menor	Itens de ajuste, acabamento, chiado ou barulho não conformes. Defeito evidenciado por 50% dos clientes.	Ou uma parte (menor que 100%) dos produtos pode ter que ser retrabalhada, sem sucateamento na linha, mas fora da estação.	3
Muito menor	Itens de ajuste, acabamento/ chiado e barulho não conformes. Defeito evidenciado por clientes acurados (menos que 25%).	Ou parte (menor que 100%) dos produtos pode ter que ser retrabalhada, sem sucateamento, na linha e dentro da estação.	2
Nenhum	Sem efeito identificado.	Ou pequena inconveniência ou na operação, ou sem efeito.	1

Fonte: Carpinetti (2016, p. 130).

- Ocorrência

Relaciona-se com a probabilidade que uma causa ou mecanismos potenciais de falha venha a ocorrer. O levantamento de dados referentes à taxa de falhas é extremamente relevante para o cálculo dessas probabilidades. No caso em que não se tem a disponibilidade de dados quantitativos para o cálculo dessas probabilidades, a equipe deve avaliar qualitativamente a ocorrência. Na Tabela 2, destaca-se a probabilidade de falha e o índice de ocorrência. Nessa tabela, observa-se também que a avaliação da ocorrência também é feita usando-se uma escala de 1 a 10.

Tabela 3 - Classificação dos níveis de ocorrência de falha segundo o FMEA

Ocorrência		
Probabilidade de falha	Taxa de falhas	Índice de ocorrência
Muito alta: falhas persistentes	≥ 100 por mil peças	10
	50 por mil peças	9
Alta: falhas frequentes	20 por mil peças	8
	10 por mil peças	7
Moderada: falhas ocasionais	5 por mil peças	6
	2 por mil peças	5
	1 por mil peças	4
Baixa: relativamente poucas falhas	0,5 por mil peças	3
	0,1 por mil peças	2
Remota: Falha improvável	$\leq 0,010$ por mil peças	1

Fonte: Carpinetti (2016, p. 132).

- Detecção

É uma estimativa da capacidade de determinados controles e sistemas de detectar uma falha no sistema antes de passar para próxima fase ou etapa. Também é avaliada de 1 a 10, de forma que 1 representa que o modo de falha é sempre detectado e 10, por sua vez, diz que caso exista modo de falha, este não será detectado pelo sistema. Mais detalhadamente, na Tabela 3, tem-se que:

Tabela 4 - Classificação da possibilidade de detecção de falha

Detecção		
Índice	Detecção	Critério
1	Muito grande	Certamente será detectado
2		
3	Grande	Grande probabilidade de ser detectado
4		
5	Moderada	Provavelmente será detectado
6		
7	Pequena	Provavelmente não será detectado
8		
9	Muito pequena	Certamente não será detectado
10		

Fonte: Carpinetti (2016, p.133).

- Número de Prioridade de Risco (NPR)

O NPR é calculado para priorizar as ações de correção e melhoria do produto ou processo. Define-o a partir da multiplicação dos valores definidos para as categorias de severidade, ocorrência de detecção, como expressado em (1) (CARPINETTI, 2016):

$$NPR = S \times O \times D \quad (1)$$

O NPR pode variar entre 1 e 1000, deve-se atentar para aqueles itens em que o risco é maior.

2.2 Aplicações de FMEA

Não são raras as aplicações da FMEA na indústria. Por causa de sua versatilidade, pode ser aplicada em diversos segmentos, sempre com o objetivo de alcançar a melhoria contínua de um projeto ou processo. A fim de exemplificar essas aplicações, no Quadro 1 encontram-se contribuições de alguns autores sobre a FMEA.

Quadro 1 - Outros trabalhos sobre aplicações de FMEA.

Autores	Método de estudo	Tipo FMEA	Área de aplicação	Principais resultados
DE OLIVEIRA JÚNIOR, HERMOSILLA, (2020).	Pesquisa-ação	Processo	Processo de fabricação	A partir do índice RPN foi identificado que as falhas mais comuns estão relacionadas com operador de máquina não qualificado, matéria prima não adequada, ferramentas de corte inadequadas e falhas na identificação de data de validade dos produtos. Possibilitou também uma visão sistêmica dos processos fabris, ressaltando pontos fortes e fracos.
SILVA (2019)	Estudo de caso	Processo	Construção civil	Identificação das principais causas de falha na construção civil, como deterioração e posição de vigas e infiltrações. Foi definido também um plano de ação para evitar as falhas mais críticas, definindo procedimentos de execução das atividades.
CORTE (2016)	Estudo de caso	Processo	Micro cervejaria	Apontamento de baixa confiabilidade em insumos como água e malte. A maioria das falhas está relacionada à qualidade da água e a propriedade organolépticas da cerveja as principais, bem como à contaminação microbiológica. Outros pontos identificados foram perda de eficiência em diversos equipamentos, especialmente na etapa de fermentação. Houve também perdas por queda de energia e de fornecimento de água.
MATOS, MILAN, (2009).	Estudo de caso	Processo	Madeira processada	Identificação de pontos críticos passíveis de monitoramento e criação de novos indicadores, especialmente ligados a beneficiamento e pré corte de caixilho e batente.
ÁLVARES, SOUZA, FERNANDES, (2007)	Estudo de caso	Projeto	Usina hidroelétrica	Identificação de componentes críticos, sendo que estes seriam o que precisariam de maior prioridade das ações. Além disso, foi comprovado o potencial de se aplicar a FMEA dentro da metodologia Manutenção Centrada em Confiabilidade (MCC)

Fonte: Elaboração própria (2022).

3 MÉTODO DE ESTUDO

Para a construção desse trabalho, foi empregada a metodologia da pesquisa-ação. De maneira geral, a pesquisa-ação, se destaca por incluir em suas atividades, um ciclo de agir em campo (prática) e investigar a respeito de determinado objetivo, possuindo assim, grande potencial de apresentar resultados relevantes (TRIPP, 2005). Apesar de existirem diversas formas de se realizar uma pesquisa ação, a depender de fatores como local de aplicação e objetivo principal, é necessário ressaltar alguns pontos principais em comum para a implementação dessa forma da pesquisa, são esses (TRIPP, 2005):

- i. Planejar: através de investigações e análises cria-se um plano de ação focado na resolução do problema;
- ii. Implementar: coloca-se o plano de ação em prática;
- iii. Descrever: observar e monitorar os efeitos das ações;
- iv. Avaliar: focando sempre na melhoria prática e no aprendizado ao decorrer do processo.

Essas etapas foram seguidas a fim de se obter os resultados esperados para esse trabalho, os quais são apresentados nos próximos tópicos.

4 APRESENTAÇÃO DA PESQUISA-AÇÃO

Neste capítulo será apresentada a pesquisa ação, que foi utilizada para desenvolver a FMEA dos processos de assepsia dos trocadores de calor, linhas de mosto e aeração da área de resfriamento da cervejaria em estudo.

4.1 Etapa de Planejamento: entendimento do contexto e propósito

4.1.1 Apresentação da empresa estudada

Esse trabalho foi desenvolvido em uma companhia nacional, que possui mais de 30 marcas de cerveja. Essas marcas são distribuídas regional, nacional e/ou internacionalmente. Além disso, a companhia é responsável pela produção e distribuição de algumas das maiores marcas de refrigerantes, bebidas energéticas, sucos, chás e água de coco e isotônicos do Brasil.

A empresa conta com 29 unidades fabris e mais de 100 centros de distribuições localizados em todas as regiões do país. A unidade fabril em que foi desenvolvido esse estudo está localizada no interior de Minas Gerais, sendo focada atualmente na produção de 5 marcas de cerveja diferentes, todas do tipo pilsen. A empresa também tem a capacidade de realizar o envase em latas de refrigerantes, sendo que os produtos nela produzidos visam atender a demanda da região central do estado de Minas Gerais.

Por se tratar da primeira unidade fabril da empresa no estado de Minas Gerais, inclusive completando no ano de 2022 cinquenta anos, esta cervejaria possui diversas oportunidades de melhorias em sua estrutura, especialmente em alguns equipamentos e tubulações que já se encontram obsoletos, bem como na área da automatização que em muitos casos foi pouco desenvolvida ou não ainda não foi implementada.

4.1.2 Processo cervejeiro ¹

De acordo com o artigo 36 do decreto de nº 6.871 de 2009, referente ao anexo da lei nº 8.918/94:

Art. 36. Cerveja é a bebida resultante da fermentação, a partir da levedura cervejeira, do mosto de cevada malteada ou de extrato de malte, submetido

¹ Todas as informações do processo cervejeiro foram baseadas no Curso de Operador Cervejeiro de 2020 da cervejaria MG e nas pesquisas feitas em campo pelo autor desse trabalho.

previamente a um processo de cocção adicionado de lúpulo ou extrato de lúpulo, hipótese em que uma parte da cevada malteada ou do extrato de malte poderá ser substituída parcialmente por adjunto cervejeiro.

§ 1º A cerveja poderá ser adicionada de ingrediente de origem vegetal, de ingrediente de origem animal, de coadjuvante de tecnologia e de aditivo a serem regulamentados em atos específicos.

Considerando essa definição, observa-se que existe uma grande variabilidade de cervejas, de diversas escolas e estilos. Conseqüentemente, existem algumas mudanças de processo a processo, a depender da proposta da cerveja que se deseja produzir. Este trabalho focará apenas no processo produtivo da cervejaria onde este estudo foi desenvolvido.

Na cervejaria em questão, a primeira parte do processo é chamada de área quente, esta possui duas salas (salas 3 e 4) onde ocorrem os processos produtivos como explicado nos itens abaixo. Existe apenas uma diferença entre as duas salas, que vai ser apresentado no item “v”.

- i. Descarregamento: o início do processo é definido quando ocorre a descarga do malte, isso porque ela é a principal matéria-prima, e a única que precisa de beneficiamento antes de começar o processo da produção de cerveja em si. Assim que o caminhão chega, são realizados os testes de qualidade do malte, uma vez comprovada a qualidade a matéria-prima é liberada para descarga. Após o descarregamento, o produto segue através de tremonha para um elevador de canecos, que por sua vez, carrega o malte até as máquinas de limpeza. As demais matérias primas não precisam de beneficiamento e são dosadas ao longo do processo, especialmente na etapa de cozimento (comumente chamado pelos funcionários de “cozinhamento”);
- ii. Limpeza do malte: ocorre na máquina de limpeza, na qual ocorre a separação do pó e da palha dos grãos de malte;
- iii. Retirada de corpos estranhos: esta etapa ocorre na despredadeira e tem por objetivo separar o malte de impurezas mais pesadas que os grãos, como pedras e parafusos;
- iv. Moagem: após o beneficiamento do malte ele é transportado para o moinho de malte, onde é moído. Esta etapa é especialmente crítica, uma vez que o pó gerado durante a moagem é extremamente inflamável, gerando risco de explosão.

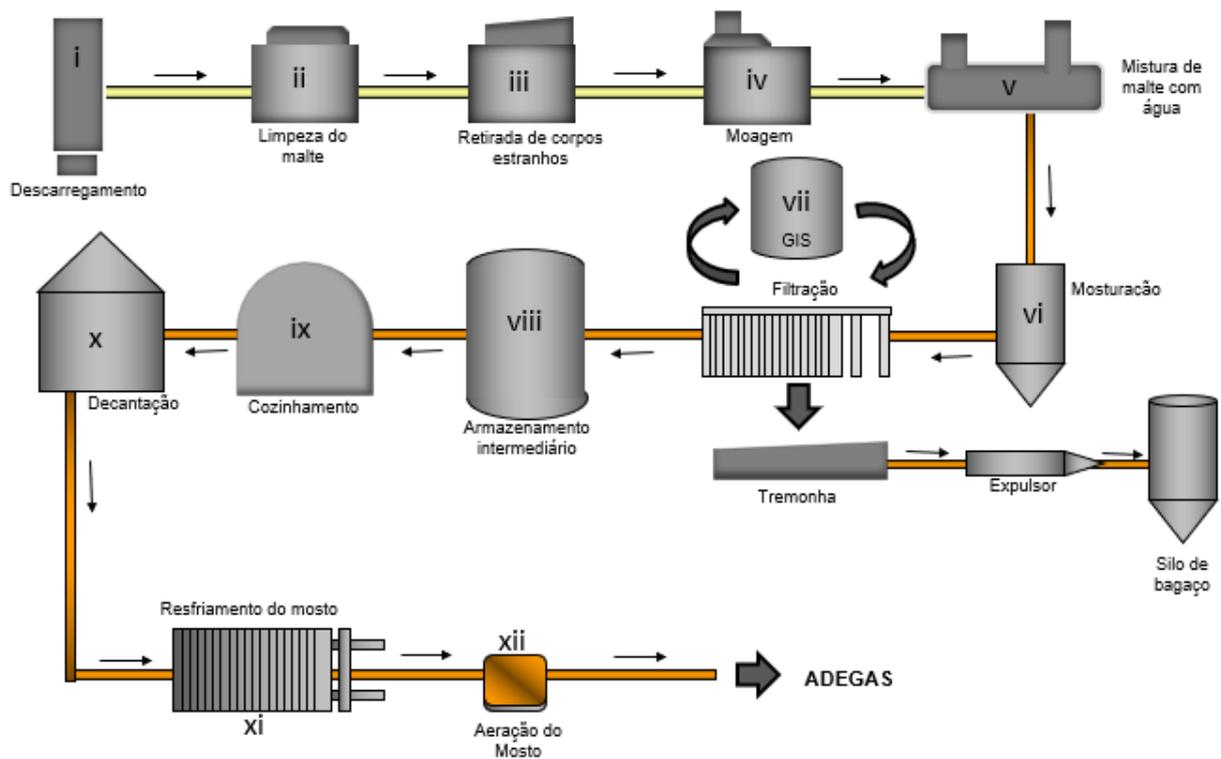
- v. Mistura do malte com a água: para esse processo, existe o mechamster, que tem por objetivo fazer uma pré-mistura entre o pó do malte e a água. No processo em questão, esse equipamento só está presente na sala 3, sendo que na sala 4 a etapa de mistura entre água e malte ocorre já na tina mostura (será abordado mais profundamente na etapa de mosturação), o que torna o processo menos eficiente;
- vi. Mosturação: esta etapa ocorre na tina de mostura e tem o objetivo de processar as substâncias com alto peso molecular, que ainda estão insolúveis, como amido, a hemicelulose e parte das proteínas. A soma de todas as substâncias que foram homogeneizadas e dissolvidas é chamada de extrato;
- vii. Filtração: essa etapa de filtragem do extrato de malte é feita através do filtro prensa que realiza a separação do extrato e do bagaço de malte. O bagaço é armazenado em silos, para depois ser revendido como subproduto. Em seguida, as placas dos filtros-prensa são jateadas com água, porém, após esse processo permanece na água uma quantidade significativa de extrato, por esse motivo essa solução é enviada para o tanque GIS (*Gravity increase sparging tank*). Esse tanque foi desenvolvido pela companhia com o intuito de possibilitar a reutilização dessa solução, evitando assim, perdas de matéria-prima;
- viii. Armazenamento intermediário: no tanque pulmão armazena-se um volume de segurança para que não ocorra parada de produção por queda de volume de extrato;
- ix. Cozimento: esta etapa ocorre no chamado cozinhador, onde o extrato é cozido e transformado em mosto, além disso, nessa etapa são dosadas as demais matérias primas, como lúpulo, maltose e adjuntos;
- x. Decantação: após o cozimento, algumas impurezas ainda permanecem no mosto, no decantador essas impurezas são separadas por gravidade. A matéria que fica no fundo do equipamento, chamada trub, é enviada para o silo de bagaço para ser revendida como subproduto;
- xi. Resfriamento do mosto: nessa etapa ocorre no trocador de calor, de forma que o mosto tem sua temperatura abaixada de aproximadamente 97° C para cerca de 9°C. A água que aquece durante a troca de calor é reaproveitada durante o

processo de brasagem, e o vapor é utilizado para otimizar o aquecimento do cozinhador e do aquecimento de água durante o processo de assepsia;

- xii. Aeração do mosto: essa etapa é crucial para a etapa de fermentação, de forma que o mosto não pode ser muito aerado para não favorecer uma superatividade do fermento, tão pouco pode ser menos que o ideal, de forma que o fermento não tenha um ambiente favorável para que ocorra o processo de fermentação.

Na Figura 1 pode-se observar o fluxo de produção da área quente.

Figura 1 - Processo de produção da área quente



Fonte: Adaptado de cervejaria em estudo (2020)².

Na segunda etapa, encontram-se as adegas, onde ocorrem os processos mais demorados e complexos da produção da cerveja, englobando:

- i. Propagação: essa etapa ocorre no tanque propagador, em paralelo com a etapa de dosagem de fermento e fermentação, sendo essencial para a qualidade do fermento primário (chamado fermento R). Basicamente, tem a função realizar a primeira multiplicação do fermento, sob condições controladas de temperatura

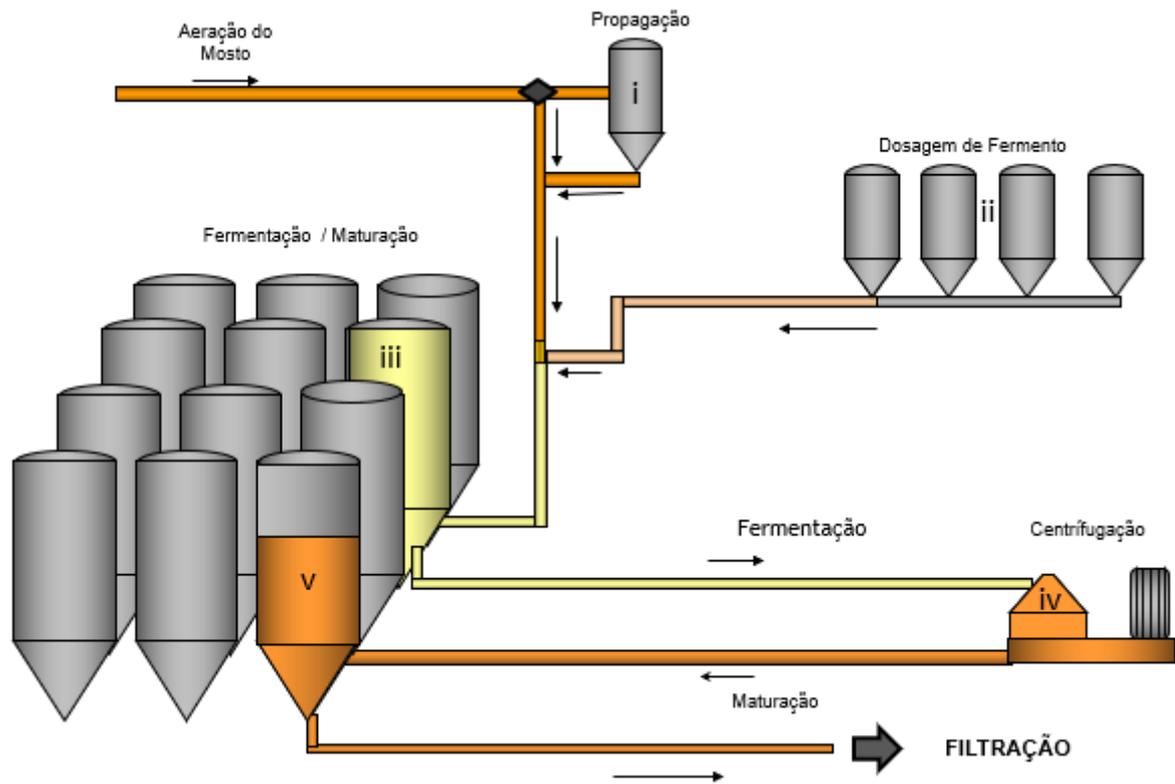
² Fluxograma criado a partir de observações em campo e do Curso de Operador Cervejeiro de 2020 da cervejaria MG.

e pressão. Após a propagação, o fermento é enviado para os chamado tanques R, que são os tanques onde a fermentação ocorre exclusivamente com fermento de primeira geração;

- ii. Dosagem de fermento: a dosagem ocorre na tubulação que transporta o mosto do trocador de calor até os tanques de fermentação. Em geral, pode-se utilizar o fermento em até seis vez antes do descarte. Porém, antes de cada reutilização este fermento retorna para as tinas de armazenagem apenas depois de ser tratado, higienizado e só então é liberado para participar de outro processo de fermentação. Além disso, o tempo limite de armazenagem é de dois dias. Após encerradas as 6 reutilizações do fermento, este é transportado para o secador de fermento, onde é secado e ensacado para ser vendido como ração animal;
- iii. Fermentação: a principal etapa dentro do processo de produção de cerveja. De forma simplificada, o mosto que é enviado para a fermentação é rico em açúcares, que o fermento utiliza como alimento, de forma que, quando o fermento metaboliza os açúcares contido no mosto, ocorre a produção do álcool, além de gerar diversas características que agregam no aroma, paladar e corpo da cerveja. Essa etapa dura no mínimo 6 dias, tendo como média na cervejaria estudada 8. Durante esse período o fermento decanta por ação da gravidade, sendo recolhido com auxílios de bombas e enviado de volta para as tinas de fermento *out doors* (ou tanques ODs). Este processo ocorre nos chamados tanques fermentadores;
- iv. Centrifugação: essa etapa ocorre após a fermentação, e tem como objetivo, a partir da força de rotação, separar substâncias de densidade diferentes. No caso, separar da cerveja as partículas de fermento e substâncias estranhas, que não decantaram por gravidade;
- v. Maturação: é a última etapa das adegas, em que ocorrem as transformações finais para o produto, como carbonatação, saturação, arredondamento do aroma e paladar, clarificação da cerveja e estabilização (sedimentação de substância turvadoras).

Na Figura 2, encontra-se um fluxograma representando o fluxo de produção dentro da área das adegas.

Figura 2 - Processo de fermentação e maturação (adegas)



Fonte: Adaptado de Cervejaria em estudo (2020)².

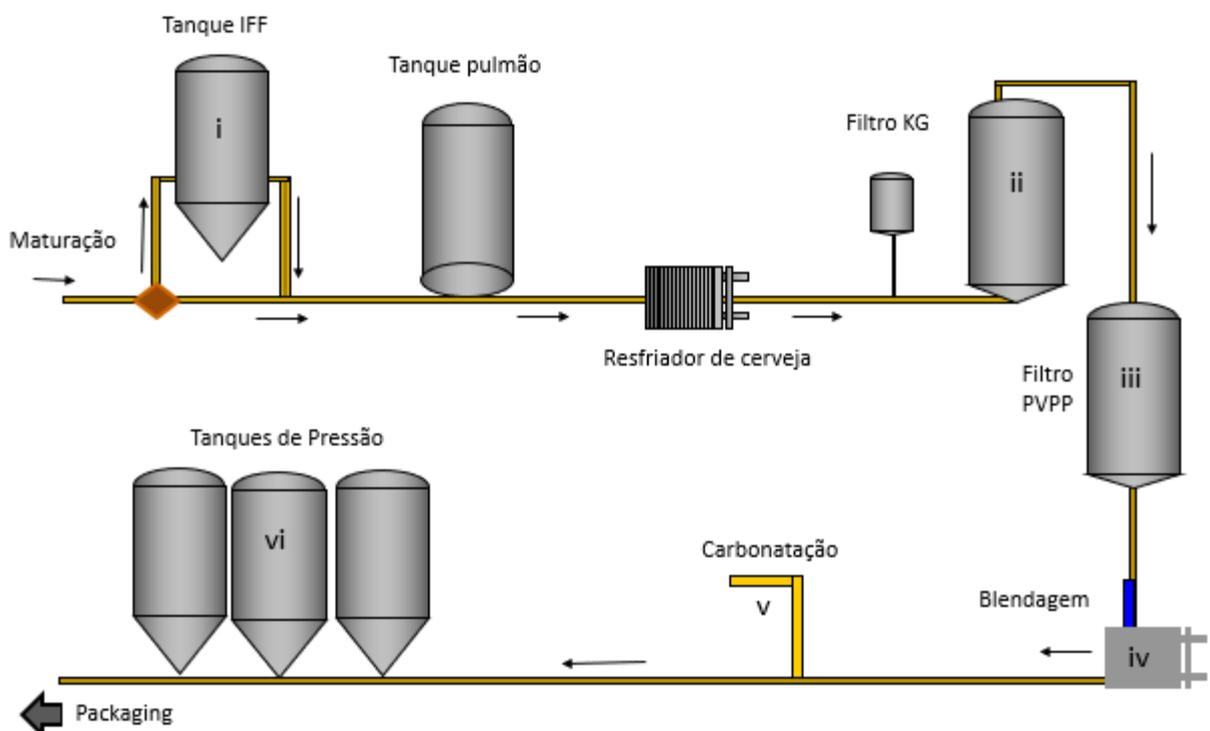
A filtração por sua vez, é a etapa final da produção de cerveja, tendo como objetivo tornar a cerveja mais límpida, cristalina e com estabilidade microbiológica (controle de contaminação por microrganismos), com turbidez de espuma (característica físico-química) e sabor/odor ideais (características organolépticas). Cada um dos filtros ou tanques apresentados na

Figura 3 tem uma função específica no processo de filtração, de forma que:

- i. Tanque de Início e Fim de Filtração: comumente chamado de tanque IFF, tem o objetivo de armazenar o início da “puxada” dos tanques maturados. Por possuir uma densidade e quantidade de partículas maior, a primeira cerveja ao sair do maturador não pode ser direcionada de uma única vez no filtro KG (explicado abaixo), pois isso diminuiria consideravelmente o tempo de saturação do filtro. Então, na primeira etapa, a cerveja presente nos maturadores é enviada para o tanque IFF, para depois ser enviada gradativamente para as demais etapas da filtração;
- ii. Filtro *Kieselguhr*: comumente chamado de filtro KG, é um filtro de velas e terra de diatomáceas. Com a pressão exercida pela cerveja, a terra adere às velas formando uma camada de filtração, possibilitando que ocorra a filtragem a partir da passagem das partículas da superfície para o interior da camada filtrante. As partículas desejadas são menores que a porosidade da superfície do meio filtrante;
- iii. Filtro de Poli-Vinil-Poli-Pirrolidona: também chamado de filtro PVPP, aqui a filtração ocorre entre a diferença das cargas elétricas do material filtrante (geralmente positivo) e as partículas turvadoras (geralmente negativa). Essa diferença de carga cria uma propriedade adesiva (aqui o material filtrante deve ser dosado frequentemente) – efeito de adsorção;
- iv. Blendador: a cerveja sai da maturação com uma densidade muito elevada, na etapa de blendagem, ocorre a dosagem de água para que se atinja a densidade (corpo) ideal do produto;
- v. Carbonatador: uma vez que a cerveja está com a densidade ideal, é necessário que ocorra a carbonatação para atingir os níveis mínimos de saturação de gás carbônico, ou seja, essa etapa faz com que a cerveja não fique choca ao gosto do consumidor (o gás carbônico que é gerado na etapa de fermentação é reaproveitado nessa etapa);

- vi. Tanques de pressão: após a carbonatação, a cerveja segue para os tanques de pressão (também chamados de TPs), onde fica armazenado por no máximo três dias antes de ser enviado para o *packaging*, onde o produto é envasado e embalado para a distribuição. Destaca-se que nessa situação ele precisa estar em condições ideais de temperatura e pressão para que seja garantida a qualidade do produto.

Figura 3 - Processo de filtração



Fonte: Adaptado de Cervejaria em estudo (2020) ²

4.1.3 Outros conceitos relevantes a esse estudo

Para o desenvolvimento da FMEA, foi necessário entender os conceitos básicos do processo que seria estudado (asepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e aeração da área do resfriamento). Isso se deu a partir de conversas com os operadores e técnicos da área, além de pesquisas dos padrões operacionais da cervejaria.

4.1.3.1 Contaminação microbiológica

Na cervejaria MG, monitoram-se, principalmente, três tipos de contaminação, sendo essas por: (a) bactérias anaeróbias, (b) bactérias aeróbias, e (c) levedura selvagem. De acordo com a empresa Doehler ® (2022), que fornece os meios de cultura para a cervejaria, os micro-organismos que deterioram a cerveja são principalmente bactérias anaeróbias tolerantes ao álcool e ao lúpulo, como *Lactobacillus brevis* ou *Pediococcus*, sendo esta segunda uma das mais críticas para a empresa estudada. Essa bactéria prejudica de forma significativa a cerveja, gerando como consequência a diminuição do tempo de prateleira, a alteração de sabor e o odor de ovo podre. Tais bactérias podem ser encontradas na água, em leveduras funcionais (utilizadas para fermentação), e nos processos após a brassagem, como resfriamento, fermentação, filtração e envase.

Pode-se afirmar que as principais causas para o surgimento desses agentes contaminantes na linha de resfriamento e aeração do mosto são: falhas de higiene industrial, principalmente durante o processo de asepsia; matérias-primas contaminadas; formação de biofilme e acúmulo de sujidades nas tubulações e válvulas; além da contaminação por via humana, especialmente no momento das coletas e análises microbiológicas.

As análises são realizadas em meios de cultura da gama NBB, que são definidas como agentes sólidos e líquidos que oferecem detecção microbiológica ideal para todas as amostras ao longo do processo. Ainda segundo a Doehler ®, mais especificamente, definiu-se:

- i. O **NBB®-B** (caldo) é um caldo pronto para usar, principalmente usado para a análise da levedura de fermentação em bactérias prejudiciais para a cerveja. Um indicador colorido baseado no pH sinaliza logo no início possíveis contaminações através de uma mudança de cor de vermelho para amarelo.
- ii. Com o **NBB®-C** (caldo concentrado) pronto para usar, é possível analisar grandes volumes de amostra de cerveja filtrada e não filtrada para detectar com segurança até mesmo contagens bacterianas muito baixas.
- iii. O **NBB®-A** (ágar) é um meio de ágar pronto para usar para a detecção quantitativa, especialmente de cerveja filtrada por membrana. Um indicador colorido baseado no pH sinaliza logo no início possíveis contaminações através de uma mudança de cor de vermelho para amarelo.

Para que as análises realmente sejam efetivas, é necessário que as coletas microbiológicas ocorram com uma frequência mínima definida de acordo os padrões técnicos de processo (PTPs) da cervejaria, esses padrões definem com que frequência todas as coletas devem ser realizadas, não apenas as microbiológicas mais também as sensoriais, de cores, pH entre outros. Também definem qual a margem ideal para cada análise para que o produto atinja a qualidade almejada. Com isso, é possível fazer o monitoramento e gestão dos resultados, bem como definir e gerir as ações a serem tomadas para manter a qualidade do produto em um patamar adequado. Na cervejaria estudada nesse trabalho, a frequência de coletas microbiológicas ocorre segundo a Tabela 5.

Tabela 5 - Frequência de coleta de amostras microbiológica da linha de resfriamento e aeração do mosto

Coletas microbiológicas		
Amostra	Local da coleta	Frequência mínima
Mosto sala – 3	Trocador de calor - sala 3	Semanal
Mosto sala – 4	Trocador de calor - sala 4	Semanal
Ar comprimido	Aerador sala 3	Semanal
Ar comprimido	Aerador sala 4	Semanal
Mosto aerado sala 3	Placa de distribuição 1	Quinzenal
Mosto aerado sala 4	Placa de distribuição 1	Quinzenal

Fonte: Padrão Técnico de Processo da cervejaria MG (2022)³.

4.1.3.2 *Clean in Place – CIP*

Para a indústria de alimentos a assepsia é uma parte vital do processo, especialmente ao considerar o constante contato dos alimentos com as superfícies dos equipamentos e tubulações que faz com que, quando mal higienizados, estes itens se tornem ambientes propícios para a proliferação de microorganismos prejudiciais à qualidade do produto e também à saúde do consumidor (TAMIME, 2008). O mesmo autor ainda ressalta o aumento da facilidade do surgimento de problemas de funcionamento dos equipamentos, falhas de medição, perda de produtividade.

Entretanto, é necessário que as pausas para assepsia não acarretem em perdas significativas de produtividade. Por esse motivo, surgiu nos Estados Unidos, na década de 1950, o processo *Clean In Place* (CIP), que é um método de limpeza de equipamentos com desmontagem mínima e menor envolvimento da operação (TAMIME, 2008). De acordo com o mesmo autor, originalmente desenvolvido para a indústria de laticínios, rapidamente se tornou um método de limpeza amplamente utilizado nas indústrias de bebidas e fábricas de produção de alimentos processados. O CIP fornece melhorias na higiene na planta, qualidade do produto acabado, aumento de vida na prateleira, contribui para a melhoria dos índices de contaminação microbiológicas e, conseqüentemente, torna qualquer produto alimentício mais adequado para o consumo humano (TAMIME, 2008). Conclui-se dessa forma que o CIP é uma maneira de se realizar a assepsia dos equipamentos e tubulação de maneira efetiva, eficiente e pouca invasiva.

Mais especificamente sobre a companhia estudada, cada unidade possui suas próprias “receitas” de CIP, de forma a adequar melhor à realidade de cada planta e produto produzido. Essas diretrizes para a higienização são definidas no chamado “*Master Plan*”, no qual está descrita a forma correta de se realizar o CIP em cada equipamento. No Quadro 2 encontram-se as receitas de CIP da linha de mosto e dos trocadores de calor. No caso da linha do mosto, existem três tipos de assepsia que podem ser realizadas, as quais são:

Alcalina: também chamada de CIP rotineira, é a assepsia padrão, realizada sempre que ocorre a troca do tanque fermentador de destino do mosto;

Misto: também chamado de CIP periódico, deve ser realizado mensalmente. Se trata de uma assepsia de potência intermediária, incluindo ácido nítrico em uma de suas etapas; e

³ Tabela montada usando como referência o Padrão Técnico de Processo da cervejaria MG

Clorado: também chamado de CIP opcional, se trata da assepsia mais forte que é realizada na cervejaria, é realizada anualmente, ou em caso de três contaminações seguidas por leveduras selvagens ou bactérias deteriorantes.

Os trocadores de calor, por sua vez, exigem apenas o CIP misto, que deve ser realizado a cada 15 dias, conforme demonstrado no Quadro 2.

Quadro 2 - Receitas de CIP da linha de mosto de dos trocadores de calor

(continua)

Etapa		Linha de Mosto			Trocador de calor resfriamento de mosto
CIP	Tempo (min.)	Alcalino	Misto	Clorado	Misto
Atividade 1	5	Circular água tratada fria.			
Atividade 2	30	Circular soda 2,5 a 4,0% aditivada com Stabilon WT 0.3%.	Circular soda 2,5 a 4,0% aditivada com Stabilon WT 0.3%.	Circular soda 2,5 a 4,0% aditivada com Stabilon WT 0.3%.	Circular soda 2,5 a 4,0% aditivada com Stabilon WT 0.3%.
Atividade 3	5	Circular água tratada fria.			
Atividade 4	30	-	Circular ácido nítrico 1,5 a 2% à temperatura ambiente.	Circular alcalino clorado 2,0 a 2,5%.	Circular ácido nítrico 1,5 a 2% à temperatura ambiente.
Atividade 5	5	-	Circular água tratada fria.	Circular água tratada fria.	Circular água tratada fria.
Atividade 6	30	Circular água quente a 80°C entre 90°C.	Circular água quente a 80°C entre 90°C.	Circular água quente a 80°C entre 90°C.	Circular ácido peracético 0,15 a 0,25% à temperatura ambiente.
Atividade 7	5	-	-	-	Circular água tratada fria.

Quadro 3 - Receitas de CIP da linha de mosto de dos trocadores de calor

(conclusão)

Etapa		Linha de Mosto			Trocador de calor resfriamento de mosto
CIP	Tempo (min.)	Alcalino	Misto	Clorado	Misto
Frequência		A cada troca de tanque fermentador.	Mensal.	Anual ou em caso de 3 contaminações consecutivas por levedura selvagem ou deteriorante.	Quinzenal.

Fonte: Adaptado de Silva (2022).

Já para a assepsia da linha de ar, é necessário apenas realizar a circulação de vapor de água a 127°C durante 10 minutos, a cada troca de tanque fermentador. Além disso, é necessário realizar a limpeza manual da carcaça do filtro mensalmente, ou quando a vazão de ar diminuir para menos de 2,0 bar, esse processo garante a limpeza não apenas das linhas de ar, como também das válvulas de retenção. No Quadro 3, fica demonstrada a receita na íntegra.

Quadro 4 - Receita assepsia da linha de ar

Etapa	Assepsia da linha de ar		
CIP	Tempo (min.)	Desinfecção	Desinfecção
Atividade 1	10	Circulação de vapor úmido a 127°C.	Circulação de vapor úmido a 127°C.
Atividade 2	20	-	Limpeza manual da carcaça e troca de filtro por autoclavado.
Frequência		A cada troca de tanque fermentador.	Mensal ou até p=2,0bar.

Fonte: Adaptado de Silva (2022).

4.1.3.3 *Eventos de qualidade*

Os eventos de qualidade são definidos como uma boa prática adquirida pela companhia para evitar contaminações, quebras e mal funcionamento dos equipamentos. Ocorrem geralmente de forma manual, juntamente com o desmonte do equipamento, para que assim seja realizada uma limpeza e inspeção mais rigorosa. Muitas vezes ocorre em conjunto com manutenção e trocas de componentes, como anéis de vedação ou molas. Assim como o CIP, possuem frequência pré-estabelecida, de acordo com as especificações de cada fornecedor e a criticidade de cada mecanismo.

4.1.3.4 *Tungsten inert gas – TIG*

Nas dependências da cervejaria, existem milhares de metros de tubulação, sendo frequente a utilização de soldas para a junção ou manutenção dessas tubulações. Ademais, os equipamentos como tanques e tinas também possuem diversas soldas. A companhia recomenda a utilização do processo de soldagem chamado “tungsten inert gas” ou TIG, do qual a solda resultante é mais regular e homogênea. Ao contrário, as soldas tradicionais geram

rugosidades propícias para o acúmulo de matéria orgânica, o que, a longo prazo, resultaria na contaminação no produto. Dessa forma, a cervejaria deu início a um grande investimento para se realizar as substituições das soldas tradicionais nas tubulações e equipamentos do processo produtivo sujeito a contaminações por soldas TIG.

O processo de soldagem TIG utiliza um arco elétrico como fonte de energia, além de um eletrodo de tungstênio não consumível para o estabelecimento do arco com a peça trabalhada, simultaneamente a isso, é liberado um gás inerte (argônio), para evitar que haja oxidação do eletrodo (MACHADO, 1996). Esse procedimento é geralmente utilizado em peças de poucas espessuras, aços inoxidáveis e aqueles que necessitam melhor acabamento (MACHADO, 1996).

Outra característica importante é o excelente controle da energia transferida para a peça, tornando o processo mais adequado para soldagem de peças de pequena espessura, aliado a isso, tem-se uma eficiente proteção contra contaminações, resultando em soldas de boa aparência e acabamento, que exigem pouca ou nenhuma limpeza após a operação (VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2017). Este processo pode ser aplicado na maioria das ligas metálicas e em diversas espessuras, porém, possui um alto custo de aplicação, sendo mais utilizado em metais não ferrosos, aços inoxidáveis, peças de pequena espessura e na soldagem de tubulações (VILLANI; MODENESI; BRACARENSE, 2017).

4.1.3.5 Diagnóstico do Trabalho Operacional

O Diagnóstico do Trabalho Operacional (DTO) tem por objetivo avaliar a execução de uma determinada atividade de acordo com os padrões pré-estabelecidos, a fim de identificar oportunidades de melhorias na execução de atividades, como treinamento de pessoal e a criação ou revisão dos padrões operacionais (FALCONI, 2002). Muitas vezes para melhorar os diagnósticos e as tratativas, o DTO é aplicado em conjunto com outras ferramentas da qualidade, tais como diagrama de Ishikawa ou Kankan.

4.1.3.6 Pontos Mortos

Um dos itens mais críticos para se alcançar um assepsia de qualidade é o chamado ponto morto. Este pode ser definido como um trecho da tubulação que a solução de limpeza consegue atingir de forma eficiente, por não possuir vazão suficiente para limpar as superfícies desejadas, ou ainda trechos que a solução de assepsia simplesmente não é capaz de chegar, permitindo assim o acúmulo de sujidades. Outras situações em que se encontra pontos mortos são em curvas não arredondadas (quinas), nas quais se acumula sujeira nas tubulações

(JACQUES; LYONS; KELSALL, 2003). Logo, trechos que tem bifurcações ou estreitamento de tubulações devem ser analisados para que não ocorra queda de vazão. Além disso, é preciso ter atenção a quais válvulas estão abertas ou fechadas durante o CIP e se o *layout* das tubulações favorece a limpeza adequada das mesmas.

4.1.4 Definição da equipe, objetivos e expectativas

A oportunidade de aplicação da FMEA surgiu a partir a demanda de garantir a qualidade do mosto na saída do trocador de calor e após a aeração, de forma que todas as análises microbiológicas apontassem ausência para agentes contaminantes. Para tanto, foi necessário a criação de um time de pessoas envolvidas com a área, mas com atuações diferentes dentro do processo. Essas pessoas reuniram-se semanalmente a fim de levantar os modos de falha, propor soluções e atualizar o time sobre o andamento das atividades já iniciadas. Com isso, esperava-se que as experiências e atribuições de cada um gerassem diálogos mais aprofundados, bem como soluções mais assertivas. Assim sendo, o desenvolvimento da FMEA contou com as seguintes participações:

- i. Estagiário: responsável por guiar as reuniões e elaborar a gestão da FMEA;
- ii. Operador 1: operador mais experiente do processo da área quente, com amplo conhecimento dessa área. Este operador presenciou diversas mudanças na estrutura da planta;
- iii. Operador 2: este operador cumpre a função de apoio das salas, ou seja, é responsável principalmente por fazer a assepsia e os eventos de qualidade das salas, bem como das linhas de mosto e de ar. O operador 2 é um dos principais responsáveis por identificar em campo falhas operacionais;
- iv. Técnica de automação: responsável por identificar e implementar mudanças relacionadas a automação da estação de CIP e do aerador automático da sala 3;
- v. Técnica da sala de válvulas: responsável por fazer o levantamento das válvulas, identificar as que estão com falhas e aplicar as tratativas;
- vi. *Improvement Task Force (ITF)*: time de engenharia da cervejaria, voltado para grandes projetos de melhorias da qualidade da cerveja, especialmente na área de contaminações microbiológicas;

- vii. Empresa terceira: empresa alocada dentro da cervejaria, auxiliando em diversos serviços da área da engenharia, especialmente voltadas às mudanças estruturais das tubulações e equipamentos.

Uma vez montada a equipe e dado início às reuniões, a expectativa era atingir 100% de conformidade do mosto em um período de 90 dias após a inicialização do desenvolvimento da FMEA do processo de assepsia dos trocadores de calor do resfriamento e linha de aeração do mosto. Nas reuniões realizadas pelo grupo, foram definidos os objetivos específicos de acordo com o Quadro 5, bem como as expectativas, de acordo com o Quadro 6.

Quadro 5 – Objetivos específicos

Estudar os processos de assepsia dos trocadores de calor, bem como das linhas de mosto e aeração do resfriamento.
Ordenar os modos de efeito de falhas de acordo com sua criticidade, definida a partir do cálculo do NPR, propondo soluções e gerando ações de melhorias.
Gerar melhorias nos processos de assepsia, tanto estrutural quanto operacional, reduzindo falhas de funcionamento, de pessoal e diminuindo paradas para manutenção ou intervenções manuais nos equipamentos.

Fonte: Elaboração própria (2022).

Quadro 6 – Expectativas levantadas para a pesquisa-ação

Expectativas levantadas	Ações planejadas
Consolidar a conformidade do mosto em 100%, manter padronizado o monitoramento de não conformidades.	A partir da FMEA será mapeado todos os modos e efeitos de falhas da área estudada, cada membro da equipe dará sua contribuição de acordo com sua função.
Criar um arquivo de referência para não conformidades futuras, direcionando para tratativas, planos de manutenção, entre outros.	Criar planos de manutenção e eventos de qualidade detalhados para cada equipamento que apresentar alta criticidade. Com isso, será consolidada a expertise para as tratativas.
Transformar a manutenção corretiva em preditiva.	Com monitoramento das não conformidades dos equipamentos será criado um arquivo no qual será possível prever as quebras e defeitos.

Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2 Coleta e análise de dados

Para melhor entender o processo de assepsia do resfriamento e aeração do mosto, bem como os seus problemas, foram desenvolvidos: as representações das linhas de resfriamento e aeração do mosto; um DTO do processo de assepsia da linha mosto; análise dos dados das assepsias realizadas pelos operadores durante um prazo de 90 dias (como tempo e temperatura de circulação de água e soda); e levantamento e análises dos resultados das análises microbiológicas.

4.2.1 Representação da área e das linhas estudadas

Primeiramente, foi preciso garantir o envolvimento dos operadores da área quente, especialmente os que exercem a função de “apoio” - responsáveis pelos processos de assepsia e eventos de qualidade. Esses operadores explicaram suas rotinas, levantaram alguns pontos críticos e auxiliaram no apontamento das oportunidades de melhorias que são discutidas nesse trabalho. Juntamente a isso, foi de extrema importância ir a campo para como eram executadas as etapas de assepsia, aeração e resfriamento do mosto do processo.

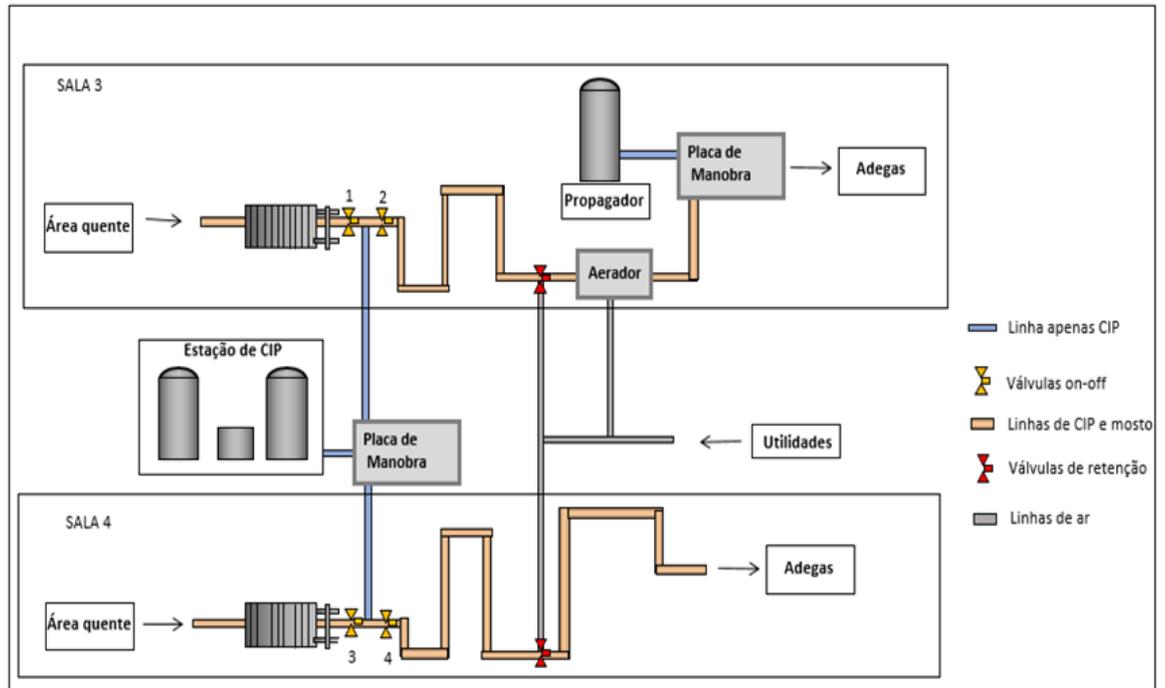
A partir do auxílio dos operadores, foram elaboradas algumas representações e processos. Nestas representações, estavam presentes as linhas de mosto, ar e de solução de assepsia bem como das válvulas *on-off*, válvulas de retenção, a estação de CIP, propagador e trocadores de calor, tais representações estão presentes na Figura 4. Nessa figura, observa-se os fluxos da sala 3 e 4. De maneira simplificada, para a sala 3, o mosto vem da área quente, passa pelo trocador de calor e segue para as adegas, sendo direcionado através da placa de manobra. Já o fluxo da assepsia segue o mesmo caminho, sendo direcionado pelas válvulas *on-off*. Caso o objetivo seja fazer a assepsia do trocador de calor, abre-se a válvula 1, deixando a 2 fechada, caso contrário, abre-se a válvula 2 e mantém a 1 fechada. Ao chegar na placa de manobra, a solução de CIP pode ser direcionada para o propagador ou para as adegas (destaca-se que a linha de mosto termina nas adegas).

Já no caso da linha de mosto da sala 4, caso o objetivo seja fazer a assepsia do trocador de calor, abre-se a válvula 3. Caso queira fazer o CIP da linha mosto, abre-se a válvula 4.

Outro ponto de relevância da Figura 4 é a linha de ar. O ar é fornecido por outro setor da cervejaria, chamado utilidades (que é responsável pelo fornecimento e monitoramento de todos os itens básicos do processo produtivo, como água, energia, gás carbônico, entre outros). No caso da linha de mosto da sala 3, o ar pode ser dosado através das válvulas de

retenção, ou pelo aerador automático. A sala 4 por sua vez, tem a dosagem de ar realizada exclusivamente pelas válvulas de retenção.

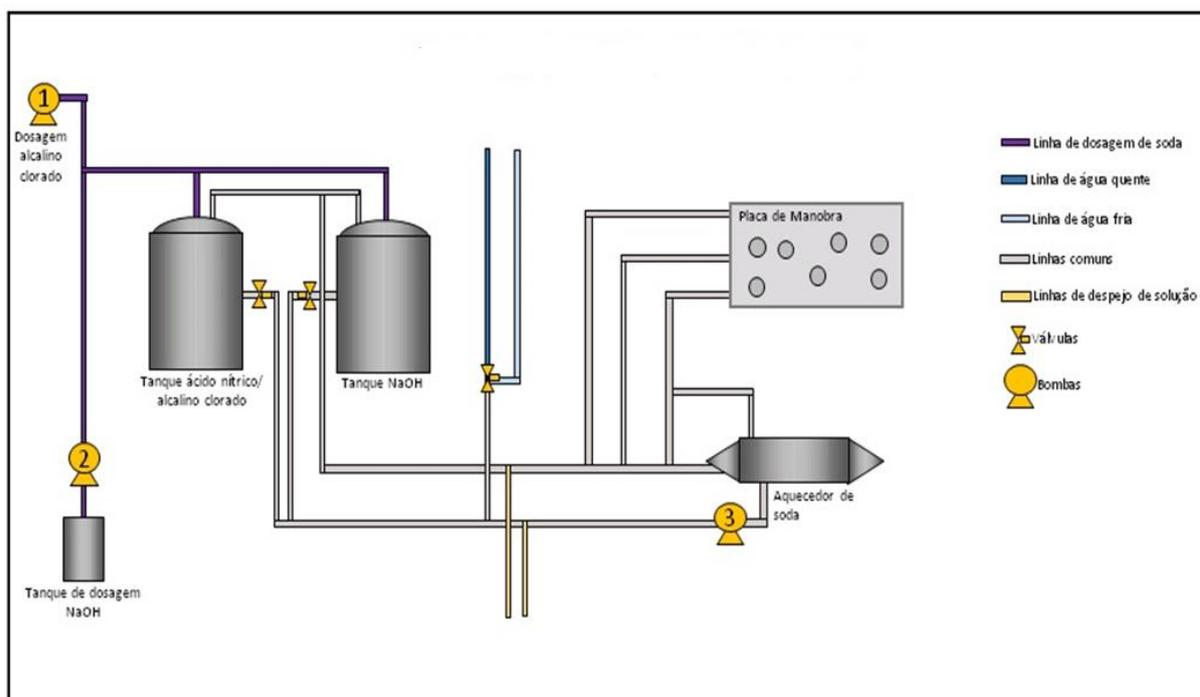
Figura 4 – Representações da estação de assepsia do resfriamento, aeração e linha de mosto



Fonte: Elaboração própria (2022)

Na estação de assepsia do resfriamento, são armazenados o ácido nítrico, o alcalino clorado e a soda. Além disso, foi representado o caminho que a água quente deveria percorrer para o processo de sanitização. A bomba 1 é responsável pela dosagem de ácido nítrico e alcalino clorado; a bomba 2 fica destinada à soda; já a bomba 3 por enviar as soluções para placa de manobra, de onde são distribuídas para a linha que se deseja fazer a assepsia. Na Figura 5, pode ser observado o fluxograma da estação.

Figura 5 – Representação da estação de assepsia do resfriamento



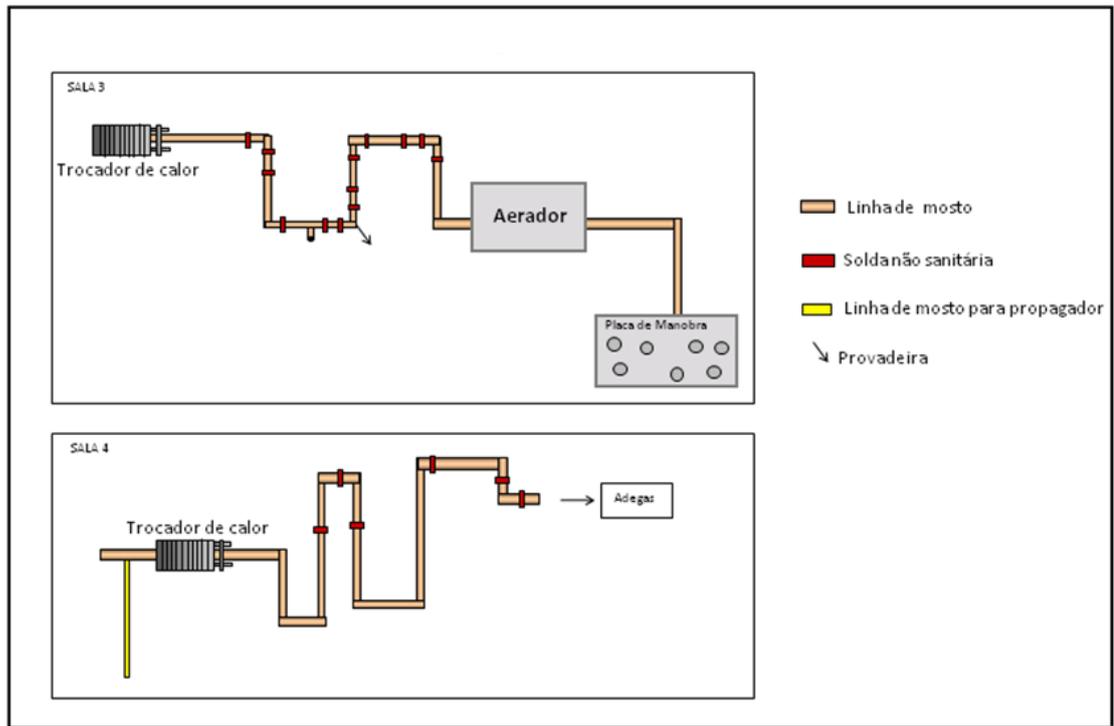
Fonte: Elaboração própria (2022)

A Figura 6 apresenta as tubulações que levam o mosto ou solução de assepsia do trocador de calor até as adegas ou até o tanque propagador.

Na sala 3, a linha de mosto possui diversas soldas não-sanitárias, representadas pelas linhas vermelhas. Ademais, o aerador estava em fase de testes, alternando assim a aeração automática com a tradicional, realizada através da válvula de retenção. A seta preta representa uma provadeira (equipamento similar a uma torneira, que permite a realização das coletas para análises microbiológicas), a qual está próxima ao chão, tornando-se assim mais provável à contaminação. Por fim, destaca-se que a linha da sala 3 possui uma placa de manobra que permite direcionar a solução de assepsia para as adegas ou para o tanque propagador.

Na sala 4, também há presença de soldas não-sanitárias, bem como a existência de uma tubulação localizada antes do trocador de calor, que possui a função de levar mosto para o tanque de propagação antes de ser resfriado.

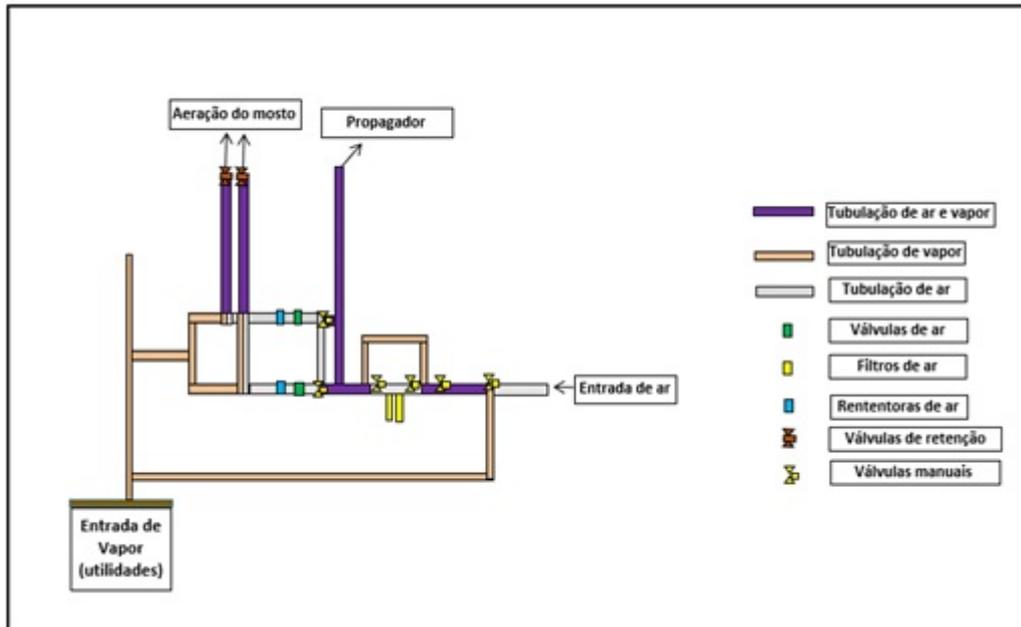
Figura 6 - Representação dos trocadores de calor até a distribuição



Fonte: Elaboração própria (2022).

A Figura 7 representa os caminhos percorridos pelo ar e vapor até a linha de mosto e propagador. A tubulação roxa é por onde passa ar e vapor – ar para aerar o mosto e vapor para fazer a assepsia. A linha laranja representa, de forma simplificada, o caminho percorrido pelo vapor, a partir do momento que ele chega ao processo. As linhas cinzas são as que são exclusivas para passagem de ar, isso ocorre pois nelas estão presentes diversos filtros (traços amarelos) e válvulas (traços verdes) de ar sensíveis a vapor, como consequência um trecho da linha de ar fica bloqueado para a realização da assepsia, podendo gerar assim pontos de contaminação. Outro ponto de destaque nesse mapeamento é o grande número de válvulas manuais, o que torna propício a ocorrência de falhas operacionais, podendo danificar os filtros e as válvulas de ar. Por fim, têm-se as válvulas de retenção, as quais são os pontos mais críticos do processo de aeração do mosto, isso porque estas válvulas, quando danificadas, permitem a passagem de mosto para a linha de ar, contaminando assim o ar comprimido e, consequentemente, o mosto, durante o processo de aeração.

Figura 7 - Representação da linha de ar



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2.2 Desenvolvimento de DTO

As atividades como eventos de qualidade ou CIPs possuem padrões de execução que devem ser seguidos com a finalidade de que as atividades gerem sempre o mesmo resultado, evitando falhas de processo, paradas para manutenção, contaminação, entre outros. Nesse caso, a melhor forma encontrada para se detectar oportunidades de melhorias na execução das atividades é através da realização de um DTO. Esse DTO ocorreu em duas etapas, sendo a primeira consistindo em utilizar o procedimento padrão de realização da assepsia da linha de mosto para fazer a comparação com o que foi observado em campo; e, na segunda, foram analisados os históricos dos CIPs para verificar se os parâmetros como temperatura de soda e tempo de circulação estavam sendo cumpridos de acordo com o *Master Plan*.

Na primeira etapa, foi constatado que não havia um monitoramento do tempo de preparação do CIP, o que poderia vir a prejudicar planejamentos de produtividades futuros. Além disso, muitas vezes não ocorria a verificação da limpeza do tanque de ácido antes de se iniciarem as atividades. Tal procedimento é importante para que sejam retiradas quaisquer sujidades eventuais, bem como evitar a reação entre produtos químicos incompatíveis.

O Quadro 7 mostra as conclusões obtidas após a aplicação do DTO. De forma geral, na etapa inicial, (preparação e ajustes, como direcionamento do fluxo do CIP a partir de

aberturas e fechamento de válvulas ou alterações realizadas na placa de manobra) foi observado que a montagem do CIP (adequação das válvulas e tubulações para que a assepsia ocorra de maneira adequada) possui grande variabilidade de tempo, dependendo de fatores externos à área quente, como por exemplo, aguardar a liberação da linha pelos operadores das adegas, isso porque muitas vezes as linhas e estação de assepsia são concorrentes. A grande variabilidade de tempo também ocorre na etapa de aquecimento de soda, pois dependendo do tempo que foi realizado o último CIP, a soda pode estar mais ou menos quente, a sua concentração também pode precisar de ajustes. Já na etapa de enxágue, foram identificados possíveis vazamentos na linha, o que pode significar a permanência de resquícios de soda na linha, bem como um consumo maior de água. Na limpeza alcalina, como o CIP não é automatizado, a interrupção dessa etapa depende da disponibilidade do operador, este pode vir a atrasar o tempo de circulação caso necessite se deslocar para outras funções. Por fim, o enxágue final não ocorria da maneira correta, já que o ideal seria realizar o enxágue por 5 minutos com água a temperatura ambiente e mais 20 minutos com água a 80°C. No caso, foi realizada a circulação de água a uma temperatura máxima de 40°C durante 23 minutos.

Quadro 7 - Acompanhamento da assepsia da linha do resfriamento de mosto

(continua)

Item	Tempo (minutos)	Descrição	Observações em campo
Montagem	15	Montagem da linha Preparação do CIP.	Possui grande variabilidade. Depende de fatores externos, além dos operadores da área.
Aquecimento da soda	10	Tempo para soda chegar a 80°C.	Para dar início a concentração precisa atingir 3% e a soda 80°C. O tempo dos próximos CIPs podem ser encurtados caso se trabalhe com a soda a uma temperatura mais elevada no CIP anterior (prox. a 90°C).
Enxágue inicial	8	Limpeza da linha.	Etapa importante do ponto de vista da segurança. Foi identificado possíveis vazamentos.
Limpeza alcalina	31	Tempo circulando soda.	Tempo pode variar de acordo com as funções exercidas pelo operador no momento, sendo o mínimo 20 minutos.

Quadro 8 - Acompanhamento da assepsia da linha do resfriamento de mosto

(conclusão)

Item	Tempo (minutos)	Descrição	Observações em campo
Enxágue final	23	Limpeza da linha.	A etapa de enxágue intermediário é desconsiderada, indo direto os 20 minutos de sanitização. Porém, esse atinge uma temperatura por volta de 40°C. O enxágue é finalizado após teste de fenolftaleína. Enxágue da sala 3 tende a ser mais demorado.
Tempo total	87		
Considerações			
1		Tempo de início e fim presente no MES não inclui as etapas de montagem da linha e enxágue inicial.	
2		Garantir uma limpeza adequada do tanque de ácido da estação a fim de não contaminar a água com possíveis resíduos.	

Fonte: Elaboração própria (2022).

Na segunda etapa, foram levantados os itens mais críticos para que a assepsia ocorresse de maneira adequada, segundo o *Master Plan* (conforme Tabela 6 e Tabela 7), sendo estes:

- i. Temperatura da solução alcalina (soda cáustica) – ideal que esteja entre 80°C e 90°C;
- ii. Temperatura de circulação de água tratada quente - ideal que esteja entre 80°C e 90°C;
- iii. Tempo de circulação da solução alcalina – mínimo de 30 minutos;
- iv. Tempo de circulação de água tratada quente – mínimo de 20 minutos;
- v. Tempo de enxague com água fria – mínimo de 5 minutos;
- vi. Concentração da solução alcalina – entre 3% e 4%.

Uma vez levantado os itens críticos, deu-se início a uma investigação a partir da análise dos dados do histórico de CIP realizados entre janeiro e março de 2022, isso foi possível, pois todas as atividades de assepsia precisam ser registradas no sistema de gestão da empresa. Tendo como base essas análises, foi constatado que a temperatura de circulação de

água quente não estava cumprindo os requisitos, possuindo uma média muito menor do que o necessário. Outro ponto identificado é que o tempo de circulação da água quente, frequentemente ficava fora de faixa, prejudicando assim a eficiência da assepsia. Essas informações se encontram mais detalhadas na Tabela 6, na qual se encontram as análises dos itens críticos gerais, isto é, considerando os dados das salas 3 e 4, bem como os dados correspondentes a sala 3 e 4 separadamente. Na Tabela 6 destaca-se que a análise geral dos itens nas salas 3 e 4 em conjunto não corresponde a média simples dos dados das salas separadamente, pois não foi possível identificar para alguns dados a sua sala de origem, sendo assim, eles foram descartados na análise feita separadamente para cada sala.

Tabela 6 - Acompanhamento dos itens críticos para o CIP da linha de mosto

Análise geral dos itens críticos do CIP – salas 3 e 4 em conjunto					
Itens	Meta	Média	Acima	Abaixo	% fora
Temperatura da solução alcalina	85±5	85,48	0	0	0,00%
Temperatura da circulação de água tratada quente	85±5	54,93	0	17	58,62%
Tempo de circulação da solução alcalina	Min. 30 min.	37,55	-	0	0,00%
Tempo de circulação de água tratada quente	Min. 20 min.	21,25	-	4	12,50%
Tempo de enxágue	Min. 5 min.	10,21	-	0	0,00%
Concentração da solução alcalina	3,5% ± 0,5%	3,43	0	0	0,00%

Análise geral dos itens críticos do CIP - sala 3 individualmente					
Itens	Meta	Média	Acima	Abaixo	% fora
Temperatura da solução alcalina	85±5	86,22	0	0	0,00%
Temperatura da circulação de água tratada quente	85±5	56,56	0	6	54,55%
Tempo de circulação da solução alcalina	Min. 30 min.	33,08	-	0	0,00%
Tempo de circulação de água tratada quente	Min. 20 min.	21,38	-	1	7,96%
Tempo de enxágue	Min. 5 min.	11	-	0	0,00%
Concentração da solução alcalina	3,5% ± 0,5%	3,47	0	0	0,00%

Análise geral dos itens críticos do CIP - sala 4 individualmente					
Itens	Meta	Média	Acima	Abaixo	% fora
Temperatura da solução alcalina	85±5	85	0	0	0,00%
Temperatura da circulação de água tratada quente	85±5	53,94	0	11	61,11%
Tempo de circulação da solução alcalina	Min. 30 min.	40,45	-	0	0,00%
Tempo de circulação de água tratada quente	Min. 20 min.	21,16	-	3	15,79%
Tempo de enxágue	Min. 5 min.	9,78	-	0	0,00%
Concentração da solução alcalina	3,5% ± 0,5%	3,41	0	0	0,00%

Fonte: Elaboração própria (2022).⁴

4.2.3 Análises microbiológicas da cerveja

As análises microbiológicas em primeiro momento foram utilizadas para identificar falhas na assepsia ou em equipamentos. As coletas microbiológicas são feitas em diferentes pontos do processo, de forma que sempre que um resultado é diferente do esperado, podem-se direcionar os esforços para o ponto em que ocorreu a anomalia. No caso desse estudo, as coletas foram realizadas em quatro pontos diferentes. As provadeiras são posicionadas próximo aos trocadores de calor das salas 3 e 4 e após as válvulas onde o mosto é aerado. Com isso, espera-se identificar se houve contaminação durante o resfriamento do mosto, ou após a aeração. Caso ocorra antes da aeração, significa que existem falhas nos trocadores de calor, nas linhas ou ainda no processo de assepsia das linhas ou dos trocadores. Caso contrário, além de falha de assepsia, a contaminação pode ter origem na aeração, podendo ser filtros de ar inadequados ou falha na válvula de retenção, que deixa de bloquear o mosto durante a injeção de ar, fazendo com que se acumule matéria orgânica na linha de ar, o que torna o ambiente propício para proliferação de matéria orgânicas indesejadas. Ademais, as contaminações após a dosagem de ar podem significar também falha na assepsia ou ainda acúmulo de líquidos na linha de ar.

Após as análises, os resultados foram disponibilizados de acordo com a Tabela 7, na qual estão destacados os resultados das análises microbiológicas do mês de março de 2022,. A partir de uma observação mais detalhada, nota-se que no dia 3 de março houve contaminação por bactéria deteriorantes, aeróbias e leveduras selvagens. Já nos dias 5 e 10 de março, houve a contaminação por bactérias aeróbias e leveduras totais, respectivamente, todas essas encontradas no mosto aerado. Destaca-se que, nesse tipo de análise, o número 200 representa a existência de incontáveis bactérias ou leveduras na amostra, sendo assim a situação mais crítica possível. Uma vez que foram coletadas o total de 10 amostras, pode-se concluir que para o mês de março de 2022 tivemos apenas 80% de conformidade nas análises, representando um resultado extremamente crítico.

⁴ Utilizando como base o relatório de dados gerados com as informações das assepsias do resfriamento de mosto entre os meses de janeiro e março de 2022, Estes relatórios estipulam os limites de cada item com base nas orientações do *Master Plan*.

Tabela 7 - Análises microbiológicas de março de 2022

Item coletado	Ponto de coleta (sala)	Data	Bactérias Deteriorantes	Bactérias Aeróbias	Lev. Selvagens
Mosto saída do trocador de calor	3	03/03/2022	Ausência	0	0
Mosto aerado	3	03/03/2022	Presença	9	0
Mosto saída do trocador de calor	4	05/03/2022	Ausência	0	0
Mosto aerado	4	05/03/2022	Ausência	0	0
Mosto aerado	3	10/03/2022	Ausência	200	0
Mosto saída do trocador de calor	3	10/03/2022	Ausência	0	0
Mosto aerado	3	15/03/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	3	15/03/2022	Ausência	0	0
Mosto aerado	4	24/03/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	4	24/03/2022	Ausência	0	0

Fonte: Cervejaria MG (2022)⁵

4.2.4 Desenvolvimento da FMEA

Após a avaliação realizada a partir do mapeamento das linhas, do DTO, e dos resultados das análises microbiológicas, foi possível ter uma visão geral dos principais problemas existentes na área estudada. Também ficou claro que era necessário investigar as causas raízes dos problemas que resultavam nas falhas no tempo e temperatura da circulação da água quente, assim como na baixa conformidade do mosto. Dessa forma, foi constatada a necessidade de aplicar uma ferramenta que fosse capaz de gerir e monitorar, de forma eficiente, todas as ações que envolvessem as melhorias propostas para a área. Por esses motivos, foi selecionada a ferramenta FMEA, especialmente por se tratar de uma metodologia capaz auxiliar na identificação e avaliação de falhas, bem como aplicação de tratativas de forma organizada.

⁵ Esta tabela é atualizada pelos técnicos do laboratório diariamente, contendo os resultados das análises microbiológicas do dia.

Considerando que havia falhas operacionais de processo, tal como diversos pontos críticos ligados à estrutura e à qualidade dos equipamentos que estavam inviabilizando que o processo de assepsia e de aeração do mosto ocorresse corretamente, optou-se por aplicar a metodologia FMEA de processo, focado em garantir a assepsia adequada dos trocadores de calor e das linhas de mosto e aeração da área do resfriamento. Essa FMEA, além de fazer o tratamento dos itens, possibilitaria organizar informações a fim evitar falhas futuras e, caso essas viessem a ocorrer, fossem menos críticas e com tratativas mais simples, rápidas e eficientes. Além disso, busca-se a longo-prazo, fazer com que a manutenção deixe de ser meramente corretiva, para se tornar preditiva.

Na Tabela 8, é possível observar o modelo de FMEA conforme foi aplicado e abordado na empresa. Este foi desenvolvido entre os dias 3 de março e 31 de julho do ano de 2022 e, de acordo com os passos descritos por Fogliato e Ribeiro (2009), no trabalho em questão, a FMEA foi montada da seguinte maneira:

i. Definição do processo

A definição dos processos estão presentes na primeira coluna da tabela, nela é possível observar falhas relacionadas a equipamentos da estação de assepsia, fornecimento de água quente, e linhas de ar, a maioria desses problemas foram levantados pelos operadores 1 e 2.

ii. Identificação do modo de falha

Uma vez definido o processo que estava em falha, era necessário identificar o modo de falha, para tanto o envolvimento das técnicas de automação e da sala de válvulas se mostrou essencial.

iii. Avaliação dos efeitos

Chamado na tabela de consequência das falhas, essas foram definidas em consenso junto aos operadores e das técnicas de automação e da sala de válvulas.

iv. Determinação da severidade

A severidade foi definida em conjunto com todo o time que estava envolvido na FMEA, considerando o cálculo da severidade demonstrado na Tabela 1.

v. Identificação das causas

As causas potenciais, mais uma vez contou com o envolvimento das técnicas de automação e da sala de válvulas, bem como dos operadores.

vi. Estimação da taxa de ocorrência

Esta foi feita através de estimativas considerando as classificações contidas na Tabela 3.

vii. Identificação do modo de controle

Os modos de controle são, de maneira geral, manuais, sendo necessário ir a campo para identificar possíveis falhas, com coletas de amostras para análises microbiológicas, análises com fenolftaleína, que identifica se a água da tubulação possui rastros de soda na linha após o tempo de enxágue ter sido cumprido. Basta pingar uma pequena quantidade de fenolftaleína em uma amostra de solução, caso fique rosa, conclui-se que há traços de soda na solução, ou ainda através do sistema supervisor.

viii. Determinação da taxa de detecção

Os valores estipulados foram definidos através de discussões elaboradas pelo time de acordo com a classificação presente na Tabela 3.

ix. Cálculo do NPR

Este foi calculado multiplicando as taxas de severidade, ocorrência e descrição, como é definido na metodologia.

x. Tomadas de decisões

Estas também foram feitas durante as reuniões, de acordo com os levantamentos realizados. Porém, neste caso teve-se forte presença do time do ITF e de uma empresa terceirizada, uma vez que boa parte das atividades como troca de válvulas e retirada de soldas não sanitárias dependia do envolvimento dos mesmos. Além disso, os itens de automação foram destinados à técnica de automação, os de manutenção das válvulas, destinados à técnica da sala de válvulas e os eventos de qualidade ficaram a cargo dos operadores.

Na Tabela 8, os itens da FMEA desenvolvida durante o estudo são apresentados

Tabela 8 –FMEA do processo de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e ar.

(continua)

Processo	Modo de falha potencial	Potencial efeito da falha Consequências	S	Causas potenciais/ Mecanismos em falha	O	Controle de processo atual	D	RPN
Dosagem de soda na linha de mosto	Passagem de soda para linhas ou tanques indesejados durante circulação	Passagem de soda para o tanque de ácido nítrico e tubulação corroída	9	Válvula manual VM 461004	9	Sistema supervisorio indica demora na dosagem de soda. Observação em campo (check de condutividade e vazamentos)	8	648
Dosagem de soda na estação de CIP	Tanque de dosagem de soda não sinaliza no sistema supervisorio quando está aberto	Risco do tanque de dosagem de químico permanecer aberto	4	Acúmulo de sujidades e contaminantes no tanque	7	Inspeção visual e check em campo	3	84
Envio do mosto	Acúmulo de sujidades nas soldas não sanitárias presentes na linha de mosto	Mosto e mosto aerado contaminados	6	Soldas não sanitárias na linha de mosto	10	Análises microbiológicas do mosto	7	420
Circulação da soda durante CIP	Passagem de soda para linhas que não necessitam da circulação da mesma, podendo haver contaminações por soda no mosto ou cruzamento de produtos químicos	Água com contaminação de soda	9	Válvulas VM 461004 e VM 461005 da estação de CIP com acentos inadequados	8	Análise de fenolftaleína ao final do CIP	4	288

Tabela 9 –FMEA do processo de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e ar.

(continua)

Processo	Modo de falha potencial	Potencial efeito da falha Consequências	S	Causas potenciais/ Mecanismos em falha	O	Controle de processo atual	D	RP N
Aquecimento da água	Falha na produção de água quente – temperatura baixa	Mosto contaminado/ CIP inadequado	8	Trocador de calor da sala 3 não é capaz de aquecer a água adequadamente	10	Medidor de temperatura da água no supervísório	2	10
Esterilização do CIP	Transporte de água quente até a estação de CIP não é possível	Mosto contaminado/ CIP inadequado	8	Insuficiência de produção de água quente - Falta de tubulação que liga tanque de água quente a estação de CIP.	10	Coletas de água de enxágue/ MI	4	320
Fornecimento de água para CIP	Pontos mortos presentes ao longo da linha de água	Mosto contaminado/ CIP inadequado	8	Acúmulo de sujidades nas linhas, resultando em contaminação no mosto	10	Coletas de água de enxágue/ MI	4	320
Manutenção da temperatura da água	Aquecedor de soda/água com baixa eficiência	Aquecedor de água do tanque de água quente não mantém tanque a 80 °	8	Raquetes do aquecedor com muita sujidade/ bomba do aquecedor com baixa potência	10	Indicador de temperatura no supervísório	2	160

Tabela 10 –FMEA do processo de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto e ar.

(conclusão)

Processo	Modo de falha potencial	Potencial efeito da falha Consequências	S	Causas potenciais/ Mecanismos em falha	O	Controle de processo atual	D	RP N
Expurgo de líquido das linhas de ar	Falha no sistema de aeração da sala	Ar e mosto contaminados	7	Acúmulo de água na tubulação de ar, especialmente no filtro microbiológico	7	Coletas de ar, análise de passagem de ar e observação do filtro microbiológico (EQA)	4	196
Envio de mosto para adegas e resfriamento do mosto	Pontos mortos na linha de mosto	Mosto contaminados/ CIP inadequado	9	Acúmulo de sujidades nas linhas, resultando em contaminação no mosto	10	Coletas de água de enxágue/ MI	5	450
Realização do CIP de forma manual	CIPs não atendem os requisitos básicos, operação precisa executar manualmente	Ar e mosto contaminados / CIP inadequado	5	Falha de monitoramento dos itens críticos para CIP eficiente (estação em manual)	10	Controle é feito através da observação dos itens críticos e coletas de MI	6	300

Fonte: Elaboração própria (2022)

4.3 Etapa 2: implementação das ações

4.3.1 Detalhamento das causas potenciais de falha e definição de tratativas para melhorias do processo de assepsia dos trocadores de calor e da linha de mosto do resfriamento

Após o desenvolvimento da FMEA do processo de assepsia dos trocadores de calor e das linhas de mosto do resfriamento, foram indicadas diversas ações de melhorias, estas se encontram no Quadro 9.

Quadro 9 - Propostas e ações de melhorias assepsia da linha de mosto e trocadores

(continua)

Processo	Item	Causa potencial de falha	Tratativa
Dosagem de soda na estação de CIP	Válvula manual VM 461004	A válvula estava com os componentes internos danificados por perda do prazo de manutenção, não sendo possível fechá-la. Essa falha além de permitir a passagem de soda para o tanque de ácido nítrico, também fez com que a tubulação fosse corroendo, apresentando vazamento de soda. Em outras palavras, além de permitir a passagem de soda para tanque de ácido nítrico, gerava risco de atingir os operadores com solução de soda, uma vez que a tubulação que seguia após a válvula corroeu em consequência da passagem constante de solução, que apresentou evidência de vazamento de produtos químicos.	Inicialmente a válvula foi isolada, e depois substituída. Serviço ficou sob a responsabilidade da empresa terceira.
Aquecimento da água	Água quente para sanitização	Foi identificada a incapacidade da geração de água quente para a etapa de sanitização da assepsia, isso porque era preciso utilizar o aquecedor de soda para aquecer a água, gerando concorrência, além do aquecedor ter baixa eficiência.	Time do ITF realizou a ligação entre o tanque de água quente da sala 3 e a estação de CIP do resfriamento, aumentando assim o fornecimento de água quente.
Envio do mosto	Soldas não sanitárias na linha de mosto	Conforme demonstrado na figura 07 a tubulação da linha de mosto apresenta diversas soldas não sanitárias.	Junto com o time do ITF, foram realizadas as substituições das soldas não sanitárias por soldas TIG.

Quadro 10 - Propostas e ações de melhorias assepsia da linha de mosto e trocadores

(continua)

Processo	Item	Causa potencial de falha	Tratativa
Dosagem de soda na estação de CIP	Passagem de soda para a linha de mosto	Houve a investigação da passagem de soda para a linha de mosto e para o tanque de ácido nítrico, sendo esse um item extremamente crítico, uma vez que isso poderia acarretar duas consequências graves. A primeira é a contaminação do mosto por soda, o que levaria ao descarte de um volume significativo de cerveja, bem como um retrabalho na estação de tratamento de água. Além disso, a mistura de soda com ácido nítrico, apesar de não serem químicos incompatíveis, poderia prejudicar a eficiência da assepsia.	Juntamente com o time da mecânica, sendo trocados os anéis de vedação das válvulas VM 461004, VM 461005 e VM 461006 bem como a substituição completa da válvula VM 461008.
Aquecimento de água	Aquecedor de água da sala 3	Aquecedor de água da sala 3 estava com rendimento abaixo do esperado, consequentemente, não era possível aquecer toda a água a 80 °C.	Foi estipulada a realização do CIP do aquecedor mensalmente, além de um evento de qualidade trimestral que tem como objetivo fazer a abertura do equipamento e o jateamento das raquetes. Com isso, será evitado o acúmulo de sujidade, garantindo a eficiência adequada do equipamento bem como a diminuição de paradas não programadas para manutenção.

Quadro 11 - Propostas e ações de melhorias assepsia da linha de mosto e trocadores

(conclusão)

Processo	Item	Causa potencial de falha	Tratativa
Aquecimento de água	Aquecedor de soda (também seria utilizado para esquentar água)	O rendimento do aquecedor de soda abaixo do necessário	Foi estipulada uma frequência mínima para o CIP do equipamento, a fim de garantir a eficiência e evitar paradas não programadas para manutenções futuras.
Dosagem de soda na estação de assepsia	Tanque de dosagem de soda	Tanque de dosagem de soda não apresentava qualquer medida de segurança para evitar que a tampa dele ficasse aberta.	Foi criado um sistema de alarme visual que notifica quando este permanecer aberto. O propósito disso é evitar que caíam matérias estranhas no tanque, podendo ir para a linha e gerar problemas com entupimento ou perda de eficiência de algum equipamento, bem como contribuir para contaminações.

Fonte: Elaboração própria (2022)

4.3.2 Detalhamento dos problemas e propostas de melhorias para o processo de assepsia da linha de aeração do mosto

Após o desenvolvimento da FMEA do processo de assepsia da linha de aeração do mosto, foram levantadas diversas ações de melhorias, sendo estas descritas no Quadro 12.

Quadro 12 - Propostas e ações de melhoria para a aeração do mosto.

(continua)

Processo	Item	Causa potencial de falha	Tratativa
Aeração do mosto	Válvulas de retenção das salas 3 e 4	Válvulas de retenção das salas 3 e 4 apresentavam passagem de solução da linha de mosto para a tubulação de ar comprimido	De forma paliativa, foram realizadas manutenções das válvulas, com trocas dos anéis de vedação e componentes internos. Porém, se tratava de um modelo antigo, sem as especificações técnicas e de forma recorrente apresentavam o mesmo problema de passagem de líquido para a tubulação de ar comprimido. Em conjunto com uma empresa terceira, foi definida a troca da válvula da sala 4 por um modelo mais moderno e eficiente. Na sala 3, já estava em curso a instalação de um aerador automático, não sendo necessário realizar a troca da válvula de retenção. Porém, a válvula antiga foi retirada, bem como sua tubulação para que não se verificasse um ponto morto. Juntamente a isso, foi estipulado que as coletas microbiológicas de ar ocorressem semanalmente, ao invés de trimestralmente, com o propósito de se realizar um acompanhamento mais próximo, e evitar falhas de controle da qualidade do ar comprimido;
Assepsia da linha de ar	Linha de ar	Conforme apresentado na Figura 11, a tubulação de ar apresenta uma segmentação onde não é possível realizar a assepsia, pois o vapor danificaria as válvulas de ar. Esse fato torna esse trecho da linha propício para o acúmulo de agentes contaminantes.	Será realizado o <i>by-pass</i> (desvio na tubulação para que o vapor não passe pela válvula de ar, evitando assim que seja danificada) dessas válvulas, tornando a assepsia desta tubulação mais eficiente.

Quadro 13 - Propostas e ações de melhoria para a aeração do mosto

(conclusão)

Processo	Item	Causa potencial de falha	Tratativa
Coleta de ar para análise	Aerador da sala 3	O aerador da sala 3 não dispunha de meios para a realização da coleta de ar, uma vez que sua provadeira era incompatível com os equipamentos presentes na cervejaria	Foi criado junto ao time de tecnologia um adaptador a partir de impressão 3D, bem como um suporte para garrafa ficar durante a coleta.
Expurgo de líquido das linhas de ar	Linha de ar	Por motivo de condensação de água na linha de ar, ocorre o acúmulo de líquido principalmente nos filtros de ar microbiológicos, de forma que ao invés de realizar a assepsia do ar, este passa a ser um ponto contaminante.	Junto ao time da engenharia, foi instalado um purgador de líquidos para eliminar a água que se acumula no sistema pneumático. Por fim, foi estipulado um evento de qualidade trimestral para a troca dos filtros microbiológicos.

Fonte: Elaboração própria (2022)

4.4 Etapa 3: Descrição das ações

A ferramenta FMEA também possibilita a avaliação de forma prática das ações realizadas. De forma geral, após as ações serem concluídas, os itens são reavaliados, considerando os mesmos índices de severidade, ocorrência e detecção, de forma que houve uma melhora considerável dos resultados após a conclusão das ações, conforme demonstrados na Tabela 11:

Tabela 11 – RPN antes e após a excussão das ações propostas

Processo	S	O	D	RPN inicial	RPN final
Dosagem de soda na linha de mosto	1	1	1	648	1
Dosagem de soda na estação de CIP	4	7	3	84	84
Envio de mosto	1	8	4	420	32
Circulação da soda durante o CIP	4	2	2	288	16
Aquecimento de água	1	5	4	160	20
Esterilização do CIP	1	1	4	320	4
Fornecimento de água para o CIP	4	2	2	320	16
Manutenção da temperatura da água	2	1	3	160	6
Assepsia da linha de ar	1	1	1	125	1
Aeração do mosto	1	2	2	210	4
Coleta de ar para análise	2	3	2	200	12
Filtração do ar	1	2	4	175	8
Envio de mosto para adegas e resfriamento do mosto	1	1	4	196	4
Expurgo de líquido das linhas de ar	1	2	3	450	6
Realização do CIP de forma manual	2	3	1	300	6

Fonte: Elaboração própria (2022)

4.4.1 Descrição das ações aplicadas na estação de assepsia e linha de mosto e ar

No Quadro 9, pode-se observar uma descrição das ações realizadas na estação de assepsia, bem como das linhas de mosto e ar do resfriamento, conforme discutido durante a elaboração da FMEA.

Quadro 14 – Descrição das ações aplicadas na estação de assepsia e nas linhas de mosto e ar do resfriamento

Item	Solução
Passagem de soda	Foi realizado a troca das válvulas que estavam dando passagem, eliminando o risco de vazamento, além disso, as válvulas atuais são automáticas e permitem a detecção de falhas instantaneamente, sendo assim mais eficientes.
Soldas não sanitárias	Nas linhas de água e de mosto, foram realizadas as substituições das soldas não sanitárias por soldas TIG, estas foram analisadas, e apresentam um padrão de qualidade desejável.
Falta de água quente	A falta de água quente durante a assepsia foi solucionada após a instalação da tubulação ligando o tanque de água quente da sala 3 à estação de assepsia. Porém, ainda não ficou claro se o tanque tem a capacidade de atender a demanda nos dias de pico de produção, por isso essa ação ainda está em monitoramento.
Falhas operacionais	Todo o controle do CIP foi automatizado, não havendo mais necessidade de o operador ir a campo, reduzindo problemas como concentração e vazão de solução, bem como aumentando a eficiência e qualidade do CIP.
Aquecedor de soda	Após a limpeza do aquecedor de soda, não houve mais problemas em relação a temperatura da solução. A criação da frequência de assepsia para o item tende a fazer com que o equipamento se mantenha em condições adequadas.
Aeração da sala 3	Após a substituição total da aeração da sala 3 pelo aerador automático, não houve mais registros de contaminação, além disso, a retirada da tubulação que não está mais sendo usada foi realizada, de forma que não se tornará um agente contaminante futuramente.
Aeração da sala 4	Após a troca da válvula de retenção da sala 4, não houve mais passagem de solução ou mosto para a linha de ar, evitando contaminação pelo ar.
Expurgo de líquidos da linha de ar	Após a instalação do purgador de líquido da linha de ar, não houve mais acúmulo de líquidos, evitando contaminações e aumentando a vida útil dos filtros de ar.

Fonte: Elaboração própria (2022)

4.5 Etapa 4: Resultados atingidos

De forma geral, esse estudo torna-se importante na medida em que foi elaborado um plano de ação que reduziu a zero as contaminações microbiológicas nos processos em que foi aplicado, tornando o produto mais seguro para o consumidor, reduzindo número de

intervenções no maquinário e proporcionando que a primeira etapa crítica ficasse livre das contaminações.

Os resultados apresentados a seguir levaram em consideração a realidade presente desde o início do desenvolvimento da FMEA, no mês de março de 2022, e o resultado ao fim de julho de 2022, quando o objetivo de atingir 100% de conformidade no mosto já havia sido atingido. Observa-se também que o resultado foi mantido nos meses seguintes – conforme a Tabela 10, o que significa que as melhorias, além de significativas, foram sólidas. Isso pode ficar mais claro ao comparar os resultados das coletas microbiológicas do mês de julho de 2022 - Tabela 9, que apresenta 100% de ausência para bactérias aeróbias, anaeróbias e leveduras totais, com os resultados apresentados no mês de março do mesmo ano - Tabela 6, que apresentava contaminações em 20% das amostras coletadas, contendo o agravante de que uma das amostras continham contaminações por bactérias deteriorantes e bactérias aeróbias.

Tabela 12 - Análises microbiológicas em julho de 2022

INFORMAÇÕES DA COLETA			RESULTADOS		
Item coletado	Ponto de coleta (sala)	Data	Bactérias Deteriorantes	Bactérias Aeróbias	Lev. Selvagens
Mosto saída do trocador de calor	4	07/07/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	3	08/07/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	3	13/07/2022	Ausência	0	0
Mosto aerado	3	13/07/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	3	20/07/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	4	22/07/2022	Ausência	0	0
Mosto saída do trocador de calor	3	29/07/2022	Ausência	0	0

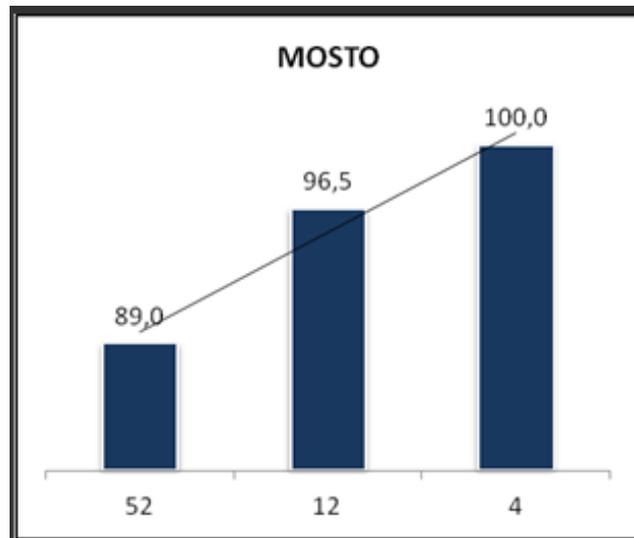
Fonte: Cervejaria MG (2022)⁶

Os resultados gerais da metodologia FMEA se mostraram muito positivos, considerando a rápida evolução do índice de conformidade do mosto, superando o prazo inicial de 90 dias, já que o objetivo foi atingido em cerca de 60 dias. Como demonstrado na

⁶ Esta tabela é atualizada pelos técnicos do laboratório diariamente, contendo os resultados das análises microbiológicas do dia.

análise 52, 12 e 4, representada no Gráfico 1, no último ano (52 semanas), a média de conformidade foi de 89%, passando a ser 96,5% quando considerado o último trimestre (12 semanas) e de 100% para o último mês (4 semanas).

Gráfico 1 – Análises 52, 12, 4 da conformidade do mosto



Fonte: Elaboração própria (2022)

Por fim, na Tabela 10, tem-se uma análise estruturada da conformidade do mosto entre os meses de março e julho de 2022. Observa-se que, no mês de março, o patamar da conformidade do mosto estava crítico. Porém, a partir da aplicação da metodologia, observamos uma melhora significativa no mês de abril, e, nos meses seguintes, a conformidade atingiu o patamar de 100% e se manteve nos meses seguintes, até julho, quando o trabalho foi finalizado.

Tabela 13 - Evolução da conformidade do mosto ao longo dos meses

MAR	ABR	MAI	JUN	JUL
79,5	89,4	100	100	100

Fonte: Elaboração própria (2022)

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A partir da FMEA pôde-se prevenir e avaliar de forma mais elaborada as falhas dos processos em estudo, com investigações que destacaram diferentes níveis de criticidade para a ocorrência das falhas. No caso desse trabalho, foram identificadas, principalmente, falhas operacionais e técnicas relativas a equipamentos. Outro ponto que vale destacar é a avaliação do índice de criticidade das falhas, refletindo na priorização dos tratamentos, abordando itens como o efeito da falha, periculosidade e probabilidade de identificação e ocorrência.

Porém, ressalta-se que, na prática, foram reconhecidas diversas situações que impossibilitavam seguir rigorosamente a priorização das atividades, em especial, em relação a investimentos financeiros, burocracias de compras de materiais, contratação de serviço e disponibilidade de pessoal. Entretanto, foram extremamente valorizados os resultados da metodologia FMEA por parte dos gestores, operação e time técnico, de forma que as tratativas e resultados foram muito mais eficientes que o esperado, iniciando uma caminhada para transformar a manutenção corretiva em preventiva e posteriormente, preditiva.

Destaca-se que é necessário que a FMEA continue sendo utilizada mantendo a seriedade e detalhamento na identificação de falhas, e que, ao longo do tempo, outros itens relevantes para a empresas sejam tratados como diminuição de custos e consumo de energia.

Apesar de não ter sido o foco desse trabalho, futuramente espera-se desenvolver a FMEA em outras áreas do processo, onde também é necessária a garantia de conformidade microbiológica, tais como: estações de CIP das adegas, e filtração, bem como dos tanques de fermentação, maturação e pressão, buscando também otimizar as investigações e resultados trabalhando junto com outras ferramentas, como Ishikawa, 5W2H, diagrama de Pareto, entre outros.

REFERÊNCIAS

ÁLVARES, A. J.; SOUZA, R. de Q.; FERNANDES, L. P. Análise FMEA para aplicação da metodologia de manutenção centrada em confiabilidade: estudo de caso em turbinas hidráulicas. In: Congreso de Computación Aplicada CAIP. 2007.

BRASIL. Presidência da República. Decreto nº 6871, de 04 de junho de 2009. Dispõe sobre a padronização, a classificação, o registro, a inspeção, a produção e a fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União: Brasília, 05 de junho de 2009.

CAPALDO, D.; GUERRERO, V.; ROZENFELD, H. **FMEA (Failure Mode and Effect Analysis)**, Núcleo de Manufatura Avançada (NUMA), Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo (USP), São Paulo, Brasil. 1999.

CARPINETTI, L. C. R. **Gestão da Qualidade: conceitos e técnicas**. 3ª edição. São Paulo: Atlas, 2016.

CERVBRASIL. Dados do setor cervejeiro nacional. Associação Brasileira da Indústria da Cerveja. São Paulo, 2018. Disponível em: <http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/dados-do-setor/>. Acesso em 15 set. 2022.

CORTE, J. V. Aplicação da ferramenta FMEA a uma microcervejaria em Curitiba-PR. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. 2016.

DE OLIVEIRA JÚNIOR, A.; DA SILVA, E. C. C.; HERMOSILLA, J. L. G. Um estudo de aplicação do método FMEA: pesquisa-ação em um processo de fabricação de uma empresa de grande porte do setor metal mecânico. **Brazilian Journal of Business**, v. 2, n. 3, p. 1898-1912, 2020.

DOEHLER. Meios de Cultura NBB® para bactérias prejudiciais para a cerveja. Doehler, 2022. Disponível em: <https://www.doehler.com/pt/nosso-portfolio/solucoes-integradas/solucoes-de-servico/meios-de-cultura-microbiologicos/portfolio-de-produtos-dmdr/nbb-meio-de-cultura.html>. Acessado em 05 maio 2022.

FALCONI, V. C. **Gerenciamento da Rotina do Trabalho do Dia-a-Dia**. Belo Horizonte. DG. p. 53 – 55, 2002.

FOGLIATO, F. S.; RIBEIRO, J. L. D. **Confiabilidade e manutenção industrial**: Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

ICMSF. Microrganismos em alimentos 8: utilização de dados para avaliação do controle de processo e aceitação de produto. International Commission on Microbiological Specifications for Foods; tradução de Bernadette D. G. M. Franco, Marta H. Taniwaki, Mariza Landgraf, Maria Tereza Destro. – São Paulo: Blucher, 2015.

JACQUES, K.; LYONS, T.; KELSALL, D. **The alcohol textbook**. Nottingham: Nottingham University Press. p. 309 -311. 2003.

MACHADO, I. G. **Soldagem e Técnicas Conexas: processos**. Porto Alegre: Editado Pelo Autor. p. 477. 1996.

MARANGONI, A. B. Avaliação da microfiltração como processo alternativo à pasteurização da cerveja artesanal. 2018. 64 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Uberlândia, Patos de Minas, 2018.

MATOS, R. B. de; MILAN, M. Aplicação sistêmica do modo de análise de falhas e efeitos (FMEA) para o desenvolvimento de indicadores de desempenho de empresas de pequeno porte. **Revista Árvore**, v. 33, p. 977-985, 2009.

PAHL, G., BEITZ, W., FELDHUSEN, J.; GROTE, K.H. **Projeto na engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Blücher, 2016.

SANTOS, S. P. **Os Primórdios da Cerveja no Brasil**. 1ª ed. Cotia: Ateliê Editorial. 2003.

SILVA, C.H.C. CIP *Master Plan*, revisão 8. Cervejaria Minas, 2022.

SILVA, D. L. H. S. Aplicação do FMEA como suporte para melhoria de processos na construção civil: um estudo de caso. 50 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Federal de Campina Grande, Sumé, 2019.

SILVA, H. A.; LEITE, M. A.; PAULA. **A.R.V.** Cerveja e sociedade. Contextos da Alimentação. **Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade**, v. 4, n. 2, p. 86 – 87, 2016.

TAMIME, A. **Cleaning-in-place: dairy, food and beverage operations**. Ayr, UK: Blackwell Pub, 2008.

TRIPP, D. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**. Educação e pesquisa, v. 31, 443-466, 2005.

VILLANI, P.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.