



UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA
GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA QUÍMICA

INÁCIO SAMUEL BERNARDO DOS SANTOS

**A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE TPM PARA RESOLUÇÃO DE
PROBLEMAS ENVOLVENDO CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA EM UMA
INDÚSTRIA CERVEJEIRA**

FORTALEZA

2025

INÁCIO SAMUEL BERNARDO DOS SANTOS

A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE TPM PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
ENVOLVENDO CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA EM UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA

Trabalho Final de Curso ao apresentado ao Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal do Ceará, como requisito parcial à obtenção do título de bacharel em Engenharia Química.

Orientador: Profa. Dra. Luciana Rocha Barros Gonçalves

FORTALEZA

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
Universidade Federal do Ceará
Sistema de Bibliotecas
Gerada automaticamente pelo módulo Catalog, mediante os dados fornecidos pelo(a) autor(a)

- S235u Santos, Inácio Samuel Bernardo dos.
A utilização de ferramentas de TPM para resolução de problemas envolvendo contaminação microbológica em uma indústria cervejeira / Inácio Samuel Bernardo dos Santos. – 2025.
81 f. : il. color.
- Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) – Universidade Federal do Ceará, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Química, Fortaleza, 2025.
Orientação: Profa. Dra. Luciana Rocha Barros Gonçalves.
1. Qualidade microbológica. 2. Análise de causa raiz. 3. Melhoria contínua. 4. Cervejaria industrial. 5. Gestão da qualidade. I. Título.

CDD 660

INÁCIO SAMUEL BERNARDO DOS SANTOS

A UTILIZAÇÃO DE FERRAMENTAS DE TPM PARA RESOLUÇÃO DE PROBLEMAS
ENVOLVENDO CONTAMINAÇÃO MICROBIOLÓGICA EM UMA INDÚSTRIA
CERVEJEIRA

Trabalho Final de Curso ao apresentado ao
Departamento de Engenharia Química da
Universidade Federal do Ceará, como requisito
parcial à obtenção do título de bacharel em
Engenharia Química.

Orientador: Prof. Dra. Luciana Rocha Barros
Gonçalves

Aprovada em: 01/08/2025.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dra. Rílvia Saraiva de Santiago Aguiar
Universidade Federal do Ceará (UFC)

Prof. Dra. Luciana Gonçalves
Universidade Federal do Ceará (UFC)

João Carlos Gomes Chagas
Engenheiro Mecatrônico
Gerente Industrial – HEINEKEN

A Deus.

Aos meus pais, Francisca e Inácio.

AGRADECIMENTOS

A minha família, sobretudo aos meus pais, Francisca Bernardo e Francisco Inácio, por todo o amor, carinho, e apoio que me foi dado durante toda a minha trajetória. Agradeço do fundo do meu coração por todo o sacrifício que eles precisaram fazer durante suas duras vidas para proporcionar a mim uma educação exemplar, fosse no ambiente escolar ou até mesmo em casa. Meu pai e minha mãe sempre falavam que a maior herança que eles poderiam me dar, o maior orgulho que ele pode ter, foi ter conseguido me fornecer a educação que ele não conseguiu receber em sua vida. Encerrar esse ciclo é um dos marcos mais importantes da minha vida, tudo aquilo que eu já consegui ou vou conseguir, sempre será por e para vocês.

A minha linda esposa, Myrella Bernardo, por todo amor, que me incentivou e me deu forças em diversos momentos da vida para eu me manter forte e convicto em meus objetivos. Você é o amor da minha vida, e tudo aquilo que eu hoje busco é para as nossas vidas. Eu te amo mil milhões!

Aos meus amigos de infância, Beatriz, Cibere, Gabriel, Jardel, Laura, Sabrina e Yago que estão juntos comigo desde crianças, compartilhando nossas vidas sempre juntos, apoiando um aos outros em nossos objetivos. Se hoje eu estou alcançando esse lindo marco em minha vida, vocês têm uma grande parcela de responsabilidade, nós somos a prova viva de que o estudo nos faz sim vencer e quebrar nossas próprias barreiras.

Aos meus amigos de faculdade, Antônio Ricardo, Caio Holanda, Danilo Paz, Gabriela Pinho, Gabriela Brasil, Gabriela Rodrigues e Samuel Araújo, por todo amor, que compartilharam comigo toda a mistura de sentimentos que só a universidade pública pode oferecer, sejam eles de boas gargalhadas ou de tensão na preparação para nossas avaliações. Vocês fizeram dessa trajetória algo único, genuíno, e que eu nunca esquecerei. Vocês tem cadeira cativa em meu coração!

Aos meus colegas de trabalho, em especial Grace Kelly e Larissa Fiúza que muito me ajudaram e me orientaram a seguir o caminho correto durante a aplicação deste trabalho. Sou grato de coração pelo auxílio e apoio dado a mim, muito obrigado por tornarem essa experiência a mais proveitosa possível.

Aos professores do DEQ, por me ajudarem a trilhar esse duro caminho que é a engenharia e por me darem a honra de compartilhar os seus ensinamentos e entendimentos. Em especial, quero agradecer a Profa. Luciana Gonçalves, por todo o amparo dado em minha trajetória.

Por fim, a Universidade Federal do Ceará por me fornecer um ensino de qualidade e me conceder o título de Bacharel em Engenharia Química.

"Não se gerencia o que não se mede, não se mede o que não se define, não se define o que não se entende e não há sucesso no que não se gerencia."

— *Ishikawa, 1993*

RESUMO

Com o crescimento do mercado de consumo de cerveja, as indústrias deste ramo têm começado a enfrentar diversos desafios, dada a concorrência acirrada que se estabeleceu no Brasil. Dito isto, nos últimos anos, a qualidade da cerveja produzida passou a ser um dos grandes expoentes no processo de atração dos consumidores, combinada a preços acessíveis.

Dentro das grandes indústrias, um dos parâmetros primordiais de qualidade acompanhados diariamente é o grau de contaminação por microrganismos degenerantes ao longo de todo o processo produtivo. Esses microrganismos podem gerar contaminações desde o mosto produzido até mesmo o extrato obtido após a filtração e, conseqüentemente, acarretam efeitos indesejáveis na linha de produção e, sobretudo, no produto final.

Atualmente, diversas empresas utilizam metodologias ágeis que as auxiliam a otimizar seu negócio e a forma com que lidam com seus processos, sendo hoje a Manutenção Produtiva Total (TPM) uma das líderes na aplicação de conceitos que visam à eficiência, à qualidade e à competitividade. Essa ferramenta emprega conceitos aplicados à gestão da qualidade, manutenção autônoma, redução de defeitos e mitigação de perdas, sejam elas operacionais ou até mesmo administrativas.

Diante do exposto, o estudo em questão busca aprimorar os parâmetros microbiológicos da cerveja através dos diversos mecanismos abordados dentro da metodologia TPM, visando mitigar todos os problemas gerados pela presença desses microrganismos indesejados ao longo da cadeia produtiva em uma indústria cervejeira localizada na cidade de Pacatuba, na região metropolitana de Fortaleza, Ceará.

Palavras-chave: Qualidade microbiológica; Análise de causa raiz; Melhoria contínua; Cervejaria industrial; Indicadores de desempenho; Gestão da qualidade.

ABSTRACT

With the growth of the beer consumption market, industries in this sector have begun to face several challenges due to the increasing competition that has developed in Brazil. In this context, the quality of the beer produced has become one of the key factors in attracting consumers in recent years, especially when combined with affordable pricing.

Among large-scale breweries, one of the primary quality parameters monitored daily is the level of contamination by spoilage microorganisms throughout the production process. These microorganisms can contaminate the product from the wort production stage to the final extract obtained after filtration, resulting in undesirable effects on the production line and, most critically, on the final product.

Currently, many companies rely on agile methodologies to optimize their business operations and improve process management. One of the most widely adopted approaches is Total Productive Maintenance (TPM), a system that incorporates principles of quality management, autonomous maintenance, defect reduction, and loss mitigation — both operational and administrative.

In this context, the present study aims to enhance the microbiological parameters of beer by applying the tools and strategies offered by the TPM methodology. The objective is to mitigate problems caused by unwanted microorganisms throughout the production chain of a brewery located in Pacatuba, in the metropolitan region of Fortaleza, Ceará, Brazil.

Keywords: Microbiological quality; Root cause analysis; Continuous improvement; Industrial brewery; Performance indicators; Quality management

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– Ilustração do ciclo PDCA	40
Figura 2	– Diagrama de Ishikawa	41
Figura 3	– Fluxograma de processamento da cerveja	47
Figura 4	– Ilustração do ciclo de Sinner	63
Figura 5	– Blocos fixos do trocador de calor após abertura para limpeza	66
Figura 6	– Placas retiradas do trocador de calor após abertura do equipamento	67
Figura 7	– Diagrama de Ishikawa referente ao trocador de calor	68
Figura 8	– Diagrama de Ishikawa referente aos condutivímetros	68
Figura 9	– Análise dos 5 Porquês realizada para os modos de falha estabelecidos	69

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	– Crescimento no número de estabelecimentos produtores de cerveja	23
Gráfico 2	– Desdobramento do indicador FTR Microbiologia na área de brewing em 2023	52
Gráfico 3	– Desdobramento do indicador FTR Microbiologia na área de brewing no primeiro trimestre de 2024	53
Gráfico 4	– Resultados de análise microbiológica em meio m-WLD do TFM 01 ao longo de 2023	55
Gráfico 5	– Resultados de análise microbiológica em meio m-WLD do TFM 02 ao longo de 2023	56
Gráfico 6	– Resultados de análise microbiológica em meio NBBA do TFM 01 ao longo de 2023	56
Gráfico 7	– Resultados de análise microbiológica em meio NBBA do TP 02 ao longo de 2023	57
Gráfico 8	– Gráfico de Pareto distribuído com base nos 5M	62
Gráfico 9	– Resultados de microbiologia do TFM 01 ao longo de 2024 no meio WLD ...	71
Gráfico 10	– Resultados de microbiologia do TFM 02 ao longo de 2024 no meio WLD ...	71
Gráfico 11	– Resultados de microbiologia do TFM 01 ao longo de 2024 no meio NBBA .	72
Gráfico 12	– Resultados de microbiologia do TFM 02 ao longo de 2024 no meio NBBA .	72
Gráfico 13	– Desdobramento dos resultados de FTR microbiologia na fermentação de 2024	73

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Correlação entre o ciclo PDCA e o Roteiro de redução de defeitos	48
Tabela 2	– Especificação para resultados de análise microbiológica na fermentação	57
Tabela 3	– Preenchimento dos defeitos na matriz QA	58
Tabela 4	– Definição das etapas do processo de fermentação na matriz QA	58
Tabela 5	– Correlação das fases, causas e 5M na matriz QA	60
Tabela 6	– Ações de contramedida implementadas para as causas definidas	70
Tabela 7	– Matriz QX preenchida com os parâmetros do processo de fermentação	74
Tabela 8	– Pontos Q definidos na fermentação	75
Tabela 9	– Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (máquina)	76
Tabela 10	– Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (material)	76
Tabela 11	– Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (método)	77
Tabela 12	– Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (mão de obra)	77
Tabela 13	– Faixa de pontuação para as 5 condições para zero defeitos	78
Tabela 14	– Preenchimento da matriz QM para validação das condições para zero defeitos	79
Tabela 15	– Plano de ação proveniente das 5 condições para zero defeitos	80
Tabela 16	– Preenchimento da matriz QM para validação zero defeitos após contramedidas	81

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

BPF	Boas Práticas de Fabricação
CILT	Cleaning, Inspecting, Lubricating and Tightening
CO2	Dióxido de carbono
DMS	dimetilsulfeto
EBC	European Brewery Convention (Convenção Europeia de Cervejarias)
FTR	First Time Right
MAPA	Ministério da Agricultura e Pecuária
PDCA	Plan - Do - Check -Act
PVP	Polivinilpirrolidona
PVPP	Polivinilpolipirrolidona
QA	Quality Assurance
QM	Quality Maintenance
QX	Quality Exploration
RCFA	Root Cause Failure Analysis
TF	Tanque de fermento
TFM	Tanque de Fermentação e Maturação
TPM	Total Productive Maintenance (Manutenção Produtiva Total)
UFC	Unidade formadora de colônias

LISTA DE SÍMBOLOS

\$	Dólar
%	Porcentagem
£	Libra
¥	Iene
€	Euro
§	Seção
©	Copyright
®	Marca Registrada

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
1.1.	Contextualização e Justificativa	17
1.2.	Objetivos	19
1.2.1.	Objetivos gerais	19
1.2.2.	Objetivos específicos	20
2.	METODOLOGIA	20
2.1	Estrutura do trabalho	21
3.	REFERENCIAL TEÓRICO	21
3.1.	Qualidade na produção de cerveja	22
3.1.1.	Boas práticas de fabricação (BPF)	23
3.1.2.	3.1.2. Controle de qualidade em bebidas	25
3.2.	Defeitos microbiológicos em bebidas	27
3.3.	Manutenção Produtiva Total – TPM	28
3.3.1.	Ferramentas de qualidade no TPM.....	29
3.3.1.1.	Ciclo PDCA	30
3.3.1.2.	Carta controle	33
3.3.1.3.	Diagrama de Ishikawa	33
3.3.1.4.	Route Cause Failure Analysis (RCFA) e Análise de 5 Porquês	34
3.3.1.5.	Matrizes QA, QX e QM	35
3.3.1.6.	Roteiro de redução de defeitos	37
4.	ESTUDO DE CASO	37
4.1.	Caracterização da empresa	38
4.2.	Descrição do processo	38
4.2.1.	Moagem	39
4.2.2.	Maceração	39
4.2.3.	Fermentação e maturação	41
4.2.4.	Filtração	41
4.3.	Identificação do problema	42
4.3.1.	Plan	42
4.3.2.	Do	43
4.3.3.	Check	43

4.3.4.	Act	43
4.4.	Resultados obtidos	43
4.4.1.	Etapa “Plan”	44
4.4.1.1.	Identificação do problema	44
4.4.1.2.	Formação da equipe de trabalho	49
4.4.1.3.	Coleta e análise dos dados históricos	49
4.4.1.4.	Entendimento dos modos de falha a partir da matriz QA	53
4.4.1.5.	Entendimento do princípio de funcionamento do método CIP	57
4.4.1.6.	Entendimento dos princípios de cilt na manutenção autônoma	60
4.4.2.	Etapa "Do"	60
4.4.2.1.	Restauração das condições básicas	60
4.4.2.2.	Análise de causa raiz (RCFA) e 5 Porquês	63
4.4.2.3.	Implementação de contramedidas	64
4.4.3.	Etapa “Check”	65
4.4.4.	Etapa “Act”	69
4.4.4.1.	Preenchimento da matriz QX para avaliação dos parâmetros de processo	69
4.4.4.2.	Elaboração da matriz QM para validação dos parâmetros de manutenção	71
5.	DISCUSSÃO	78
6.	CONCLUSÃO	79

1. INTRODUÇÃO

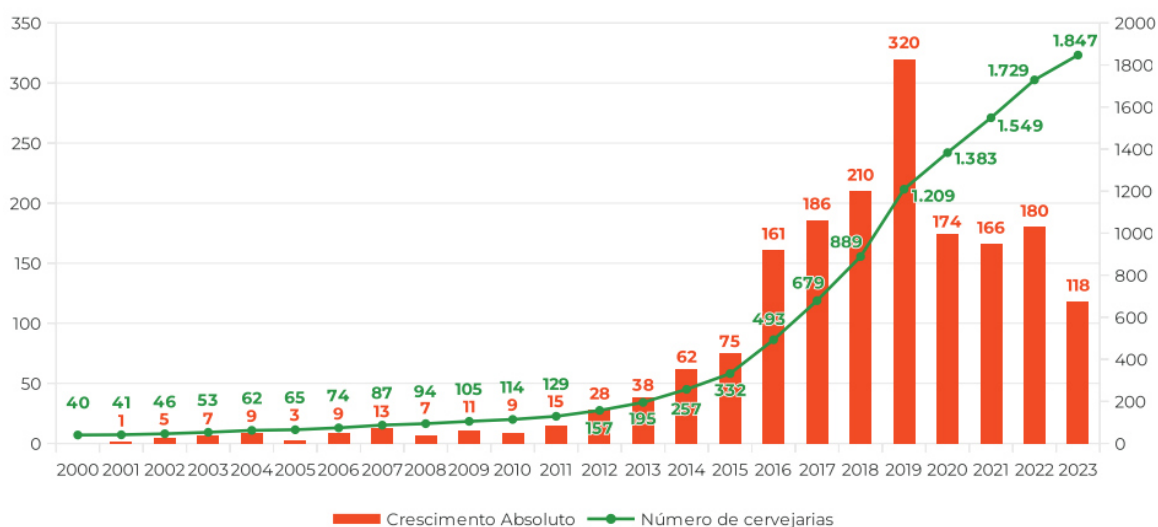
Neste capítulo inicial, será apresentada uma contextualização do estudo, com o intuito de situar a análise de forma abrangente. Serão também expostos os objetivos e as justificativas que motivaram a condução desta pesquisa.

1.1 Contextualização e justificativa

A indústria de bebidas no Brasil representa um importante segmento do setor industrial nacional, com forte impacto na geração de empregos, na arrecadação tributária e no desenvolvimento regional. Dentro desse universo, a produção cervejeira assume protagonismo por seu crescimento contínuo e pela diversificação de suas formas de produção e comercialização.

Conforme aponta o Anuário da Cerveja 2024, publicado pelo Ministério da Agricultura e Pecuária, o número de cervejarias registradas no Brasil chegou a 1.847 em 2023, o que representa um crescimento acumulado de 4.517,5% desde o ano 2000. Esse avanço revela não apenas uma tendência de expansão do setor, mas também a consolidação de um ambiente propício ao empreendedorismo e à inovação no mercado de bebidas alcoólicas. O gráfico a seguir ilustra essa evolução histórica no número de estabelecimentos neste século.

Gráfico 1 – Crescimento no número de estabelecimentos produtores de cerveja



Fonte: Anuário da cerveja (2024)

Como pode ser observado, a partir de 2010 nota-se uma aceleração significativa na abertura de novas cervejarias. Em 2018, por exemplo, houve o maior crescimento absoluto da série histórica, com o registro de 320 novos estabelecimentos. Esse fenômeno pode ser compreendido à luz da teoria do desenvolvimento econômico de Schumpeter (1982), segundo a qual a inovação desempenha papel central na ruptura de paradigmas e no surgimento de novos mercados. O crescimento das microcervejarias e das cervejarias

Segundo Sen (2000), o desenvolvimento deve ser entendido como a ampliação das liberdades individuais, sendo os empreendimentos produtivos locais elementos-chave nesse processo. Nesse sentido, a descentralização da produção cervejeira, com a presença de cervejarias em mais de 770 municípios brasileiros, contribui não apenas para o dinamismo econômico regional, mas também para o fortalecimento da identidade cultural local.

O impacto econômico da cadeia cervejeira é igualmente expressivo. Em 2023, o setor de fabricação de cervejas e chope empregou diretamente 41.346 pessoas (MAPA, 2024). Além disso, como destaca Porter (1990), setores que apresentam vantagens competitivas locais — como insumos de qualidade, tradição produtiva e infraestrutura logística — tendem a sustentar crescimento contínuo e integração ao mercado global. A crescente exportação de cerveja brasileira, que atingiu 231 milhões de litros em 2023, reforça essa tendência.

Portanto, este trabalho justifica-se pela necessidade de compreender o papel estratégico da indústria cervejeira brasileira como vetor de desenvolvimento econômico e social. A análise dos dados recentes, aliada à reflexão teórica e à observação das transformações do setor, permitirá apontar caminhos para políticas públicas mais eficazes e práticas empresariais mais sustentáveis.

Além da expressiva expansão no número de cervejarias, o consumo de cerveja no Brasil continua sendo um dos maiores do mundo. Segundo dados da Euromonitor International e do BarthHaas Report (2023), o Brasil figura entre os cinco maiores mercados consumidores de cerveja em volume, totalizando aproximadamente 13,3 bilhões de litros consumidos ao ano. Isso representa cerca de 60 litros per capita anuais, consolidando a bebida como a mais popular entre os brasileiros no segmento alcoólico.

A relevância do mercado cervejeiro nacional também se reflete em sua participação

global. De acordo com o relatório da Kirin Holdings (2023), o Brasil responde por aproximadamente 7% de todo o consumo mundial de cerveja, sendo superado apenas por China, Estados Unidos e Alemanha. Tal representatividade coloca o país em posição estratégica na indústria global de bebidas.

Em termos econômicos, o setor movimenta cerca de R\$ 77 bilhões anuais, segundo estimativas da Associação Brasileira da Indústria da Cerveja (CervBrasil), contribuindo com cerca de R\$ 23 bilhões em arrecadação tributária. O impacto indireto na cadeia produtiva também é relevante, abrangendo a agricultura, o transporte, o varejo e o turismo, especialmente em regiões com forte tradição cervejeira como o Sul e Sudeste do Brasil.

Esses números reforçam a importância da análise detalhada da indústria cervejeira, justificando a relevância acadêmica e prática deste trabalho. Ao integrar dados estatísticos oficiais com teorias do desenvolvimento, busca-se compreender de forma abrangente o papel da cerveja no cenário socioeconômico contemporâneo

1.2. Estrutura do trabalho

Este trabalho está organizado em cinco capítulos. O primeiro capítulo, intitulado "Introdução", tem como propósito contextualizar o leitor sobre o tema abordado, apresentando os conceitos centrais, a justificativa da pesquisa e a definição dos objetivos gerais e específicos.

O segundo capítulo, denominado "Metodologia", descreve de forma detalhada os métodos utilizados ao longo do estudo, assim como a abordagem adotada para conduzir a pesquisa e a forma como ela foi estruturada.

No terceiro capítulo, chamado "Referencial Teórico", são explorados os principais conceitos, técnicas e ferramentas pertinentes à área de estudo, com o intuito de formar uma base teórica consistente que sustente a análise realizada.

O quarto capítulo, que leva o título de "Estudo de Caso", é voltado para a aplicação prática da metodologia descrita anteriormente. Nele, são apresentados o perfil da empresa analisada, as etapas do processo investigativo, os dados coletados e a análise dos resultados obtidos.

O quinto capítulo, denominado “Discussões” traz o debate inerente aos resultados obtidos após a implementação do estudo, destacando quantitativamente e qualitativamente os ganhos que foram obtidos no âmbito operacional e no planejamento estratégico da planta industrial.

Por fim, o sexto capítulo traz as considerações finais, destacando os principais achados da pesquisa e propondo sugestões para futuras investigações. Ao final, encontram-se todas as referências bibliográficas utilizadas na construção do trabalho.

1.3. Objetivos

Esta seção tem como propósito expor as metas que se pretende alcançar no decorrer da pesquisa, as quais serão organizadas em objetivo geral e objetivos específicos, de acordo com a natureza do problema investigado.

1.3.1 Objetivos gerais

Este trabalho tem como objetivo investigar a aplicação das ferramentas da Manutenção Produtiva Total (TPM) na prevenção de contaminações microbiológicas ao longo do processo produtivo em uma indústria cervejeira. A proposta busca, por meio da utilização estruturada dessa metodologia, contribuir para a melhoria contínua, a redução de perdas operacionais e o fortalecimento dos padrões de qualidade do produto.

1.3.2 Objetivos específicos

Com o intuito de alcançar o objetivo geral desta pesquisa, definiram-se os seguintes objetivos específicos, os quais orientam de maneira mais detalhada a condução do estudo e a obtenção de resultados relevantes.

- Mapear os principais riscos microbiológicos ao longo da cadeia produtiva da cerveja
- Implementar ferramentas da TPM para diagnosticar falhas operacionais relacionadas à contaminação.
- Monitorar os efeitos das ações implementadas sobre os indicadores de qualidade microbiológica.
- Avaliar os ganhos obtidos em eficiência, segurança e confiabilidade do processo após a aplicação das ferramentas.

2. METODOLOGIA

Este trabalho caracteriza-se como um estudo de caso aplicado, cujo objetivo é analisar e propor melhorias relacionadas à redução de defeitos microbiológicos em um ambiente fabril de produção de cerveja. Conforme Yin (2015), o estudo de caso é uma estratégia de pesquisa apropriada quando se deseja compreender fenômenos contemporâneos dentro de seu contexto real, especialmente quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não estão claramente definidas.

A abordagem metodológica adotada é de natureza aplicada, voltada à solução de um problema concreto e específico dentro da fábrica estudada. Segundo Gil (2019), a pesquisa aplicada visa gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas que ocorrem na realidade cotidiana. Nesse sentido, este trabalho utiliza como base documentos internos da própria unidade produtiva, como registros de análises microbiológicas, relatórios de desvios de qualidade, instruções de trabalho, procedimentos operacionais (PO), entre outros.

A metodologia segue os princípios do método científico, que, segundo Lakatos e Marconi (2003), consiste em um conjunto de procedimentos sistemáticos utilizados para alcançar o conhecimento. Assim, a condução do estudo baseia-se em etapas lógicas: identificação do problema, coleta e análise de dados, formulação de hipóteses (no caso, causas potenciais dos defeitos microbiológicos), testes práticos de soluções e validação dos resultados.

O estudo será desenvolvido diretamente no ambiente industrial, em uma das linhas de produção da cervejaria, utilizando uma metodologia estruturada de redução de defeitos microbiológicos. Serão aplicadas ferramentas da qualidade como análise de causa raiz (5 Porquês, 4M), gráfico de Pareto, matriz de qualidade e análises de trajetória de contaminação. A escolha por uma abordagem prática justifica-se pela necessidade de alinhamento entre teoria e prática, permitindo a obtenção de resultados relevantes e imediatamente aplicáveis no processo produtivo.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

Compreender os fundamentos que sustentam a atuação prática em ambientes fabris é essencial para propor soluções eficazes. Por esse motivo, este capítulo apresenta a base teórica necessária para o desenvolvimento deste estudo, abordando três eixos

principais: a qualidade na produção de cerveja, os defeitos microbiológicos em bebidas e, por fim, as ferramentas da qualidade e a metodologia TPM (Total Productive Maintenance) aplicadas ao controle e à melhoria contínua dos processos industriais.

3.1 Qualidade na produção de cerveja

A cerveja é uma das bebidas alcoólicas mais consumidas no mundo e possui grande relevância cultural, econômica e social no Brasil. Sua produção envolve um processo técnico e padronizado, regulamentado por normas específicas que asseguram sua qualidade e segurança para o consumo. De acordo com o Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009, que regulamenta a Lei nº 8.918/1994, considera-se cerveja a “bebida alcoólica obtida pela fermentação alcoólica do mosto preparado com cevada maltada e lúpulo, podendo ser adicionadas outras matérias-primas amiláceas e açúcares, desde que permitidos” (BRASIL, 2009).

Essa definição legal não apenas delimita os ingredientes básicos e processos admitidos na produção, mas também estabelece os parâmetros mínimos de qualidade a serem seguidos por todas as cervejarias no território nacional. Nesse contexto, garantir a qualidade da cerveja envolve não apenas a manutenção das características do produto, mas também o cumprimento rigoroso das exigências previstas em lei.

A qualidade da cerveja é um dos principais fatores que influenciam a aceitação e fidelização do consumidor no mercado de bebidas. Para além das exigências legais, manter a constância sensorial, microbiológica e físico-química do produto é essencial para consolidar a reputação de uma marca. Segundo Kotler e Keller (2012), consumidores associam qualidade à confiança, e produtos que mantêm alto padrão ao longo do tempo tendem a conquistar e reter clientes de forma mais eficaz. No caso da cerveja, isso se traduz em aspectos como sabor característico, aroma agradável, coloração adequada, carbonatação equilibrada e ausência de defeitos perceptíveis ao paladar, fatores que afetam diretamente a experiência de consumo.

Além disso, atender às expectativas do público é uma exigência cada vez mais desafiadora diante da variedade de estilos e da expansão do mercado cervejeiro, especialmente com o crescimento das microcervejarias artesanais. Como destacam Garvin (1987) e Slack et al. (2002), a qualidade não se limita à conformidade com especificações técnicas, mas também envolve atributos percebidos pelo cliente, como inovação, apresentação e identidade da marca. Nesse sentido, garantir a qualidade em

todas as etapas da cadeia produtiva — da escolha dos ingredientes ao controle de processo e envase — é uma estratégia não apenas de segurança sanitária, mas também de posicionamento competitivo no mercado, maximizando o consumo e a satisfação dos consumidores.

Dito isto, para garantir a qualidade da cerveja e atender às exigências do mercado, é essencial que a produção siga padrões rigorosos de higiene e controle. As Boas Práticas de Fabricação (BPF) são um conjunto de procedimentos fundamentais que asseguram a segurança e a padronização do produto, sendo obrigatórias na indústria de bebidas. A seguir, serão detalhados os principais aspectos dessas práticas no contexto cervejeiro.

3.1.1 Boas práticas de fabricação (BPF)

As Boas Práticas de Fabricação (BPF) correspondem a um conjunto sistemático de diretrizes e procedimentos essenciais à garantia da segurança e da qualidade de produtos alimentícios, abrangendo também o setor de bebidas. No Brasil, sua implementação é respaldada por uma estrutura legislativa robusta, coordenada por órgãos como o Ministério da Agricultura e Pecuária (MAPA) e a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA), os quais estabelecem requisitos técnicos e sanitários para o setor. A Instrução Normativa SDA/MAPA nº 140/2024 consolida as normas relacionadas às bebidas, fermentados acéticos, vinhos e derivados da uva e do vinho, constituindo um documento de referência para o cumprimento das exigências legais e operacionais da indústria (BRASIL, 2024a).

As BPF não se limitam a um conjunto de regras formais, mas refletem uma filosofia de gestão da qualidade que permeia toda a cadeia produtiva, da matéria-prima ao produto (FRANCO; LANDGRAF, 2008). Entre os seus princípios fundamentais, destacam-se práticas rigorosas de higiene, que abrangem desde a higiene pessoal dos manipuladores — como o uso de uniformes adequados, higienização das mãos e ausência de adornos — até a sanitização minuciosa de instalações, equipamentos e utensílios (BRASIL, 2024a). Além disso, normas específicas, como a IN nº 140/2024, estabelecem requisitos estruturais para o ambiente de produção, como pisos, tetos, paredes, ventilação e iluminação, com o objetivo de prevenir contaminações. Mendes (2019) destaca que "a higiene é a primeira barreira contra a contaminação, e sua falha pode comprometer todo o processo produtivo".

Outro ponto fundamental é o controle rigoroso das matérias-primas, que envolve a qualificação de fornecedores, a inspeção na recepção dos insumos e seu armazenamento adequado, com o objetivo de evitar deteriorações e contaminações (FURLAN; SILVA, 2022). A rastreabilidade, neste contexto, é um requisito indispensável, permitindo o acompanhamento da origem dos componentes do produto acabado. Todas as etapas do processo produtivo devem ser padronizadas por meio de Procedimentos Operacionais Padrão (POs) e acompanhadas por registros que evidenciem o controle dos parâmetros críticos, como temperatura, pH e tempo de processamento (ABREU; CAMARGO, 2021). O monitoramento contínuo e a correção de não conformidades são práticas obrigatórias para garantir a estabilidade do processo e a segurança do produto.

As BPF também contemplam a verificação da conformidade do produto acabado com os padrões estabelecidos. A IN nº 37/2018, por exemplo, define os parâmetros analíticos para sucos e polpas de frutas, enquanto a RDC nº 724/2022 fixa os padrões microbiológicos de alimentos (BRASIL, 2018; BRASIL, 2022a). Essas medidas asseguram que o produto esteja apto para o consumo e em conformidade com as normas vigentes.

A formação contínua dos colaboradores sobre práticas de higiene, segurança dos alimentos e procedimentos operacionais é parte fundamental das BPF. Além disso, a aptidão física e a saúde dos manipuladores devem ser monitoradas para prevenir riscos à saúde pública (FAO; WHO, 2003).

O arcabouço jurídico brasileiro referente à produção de bebidas é extenso e detalhado. A Lei nº 8.918/1994 estabelece os fundamentos legais para a padronização, registro e fiscalização de bebidas. Seu regulamento, o Decreto nº 6.871/2009, detalha as categorias e exigências específicas do setor (BRASIL, 1994; BRASIL, 2009). A Instrução Normativa SDA/MAPA nº 140/2024 representa um marco na atualização normativa do setor, consolidando diretrizes para diferentes tipos de bebidas. Ela se complementa por regulamentações como a IN nº 37/2018, que trata dos parâmetros físico-químicos de sucos e polpas; a RDC nº 724/2022, que estabelece padrões microbiológicos para alimentos; a RDC nº 429/2020, que trata dos requisitos de rotulagem nutricional; a RDC nº 723/2022, que regulamenta ingredientes como açúcares e chocolates; e a RDC nº 725/2022, que trata dos aditivos aromatizantes

(BRASIL, 2018; BRASIL, 2020; BRASIL, 2022a; BRASIL, 2022b; BRASIL, 2022c). O MAPA e a ANVISA atuam de forma complementar, abrangendo desde a origem dos insumos até o ponto final de comercialização, assegurando um controle sanitário rigoroso e eficaz.

A principal contribuição das BPF é a prevenção de doenças transmitidas por alimentos (DTA), protegendo a saúde dos consumidores e evitando prejuízos à imagem da marca (SILVA JÚNIOR et al., 2020). Para Furlan (2021), "a qualidade começa na porta da fábrica e se estende até a mesa do consumidor". A padronização dos processos resulta em bebidas com características sensoriais consistentes e valores nutricionais estáveis, o que fortalece a identidade da marca e a fidelização dos consumidores (ABREU; CAMARGO, 2021).

Além disso, a implementação das BPF contribui significativamente para a redução de desperdícios e rejeições, por meio da prevenção de erros operacionais e do correto acondicionamento dos insumos. Isso também implica ganhos ambientais e econômicos (FAO, 2023). A conformidade com as exigências legais fortalece a reputação institucional e abre portas para novos mercados, inclusive internacionais. Muitos parceiros comerciais exigem certificações baseadas em BPF como critério para contratação (ISO, 2020). Ademais, as BPF constituem pré-requisitos para a implantação de sistemas como o APPCC (Análise de Perigos e Pontos Críticos de Controle), fundamental para empresas que desejam avançar na gestão de riscos alimentares (FAO; WHO, 2003).

As Boas Práticas de Fabricação representam não apenas um requisito legal, mas uma estratégia essencial para a produção de bebidas seguras, padronizadas e competitivas. A nova Instrução Normativa nº 140/2024 do MAPA reforça a importância da adequação técnica e sanitária das indústrias, sendo um reflexo do compromisso do Estado brasileiro com a qualidade e a saúde pública. A adoção efetiva das BPF é, portanto, um fator decisivo para o desenvolvimento sustentável da indústria de bebidas no país.

3.1.2. Controle de qualidade em bebidas

O controle de qualidade na produção de cerveja representa um dos pilares essenciais para garantir a segurança, estabilidade e padronização do produto final.

Trata-se de um processo sistemático que abrange desde a seleção das matérias-primas até a distribuição do produto ao consumidor. Na indústria cervejeira, onde fatores como sabor, aroma, aparência e estabilidade são decisivos para a aceitação do mercado, o controle rigoroso em cada etapa da produção é determinante para assegurar a fidelização do consumidor e a reputação da marca.

A qualidade da cerveja está diretamente relacionada ao desempenho técnico da fábrica e à conformidade com os padrões legais e sensoriais exigidos pelo mercado. A avaliação criteriosa de insumos como água, malte, lúpulo e levedura, aliada ao monitoramento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos durante todas as etapas — desde a brassagem, fermentação e maturação, até o envase — é essencial para evitar variações indesejadas no perfil sensorial do produto (FRANCO; LANDGRAF, 2008). Além disso, a rastreabilidade dos processos permite identificar e corrigir rapidamente quaisquer desvios, prevenindo a circulação de lotes com potenciais riscos à saúde pública.

A adoção de instrumentos de controle de qualidade, como análises laboratoriais regulares e programas de amostragem em linha, também contribui para a padronização dos lotes e para o cumprimento das especificações técnicas estabelecidas tanto pela empresa quanto pela legislação brasileira, como a Instrução Normativa SDA/MAPA nº 140/2024 e a RDC nº 724/2022, que tratam dos parâmetros microbiológicos e da segurança alimentar (BRASIL, 2024; BRASIL, 2022). Esses dispositivos legais visam garantir que os produtos estejam livres de contaminantes físicos, químicos ou biológicos e aptos ao consumo.

A importância do controle de qualidade também se estende ao âmbito econômico e estratégico. Processos bem monitorados reduzem significativamente perdas de matéria-prima, retrabalho e desperdício, contribuindo para o aumento da eficiência produtiva e da sustentabilidade operacional (ABREU; CAMARGO, 2021). Além disso, a confiabilidade dos padrões de qualidade é um diferencial competitivo em um mercado altamente exigente e globalizado.

Dessa forma, o controle de qualidade não deve ser visto apenas como uma exigência legal ou uma ferramenta corretiva, mas como parte integrante da cultura organizacional e da gestão estratégica da indústria cervejeira. Ele atua como um elo

entre a excelência técnica e a satisfação do consumidor, promovendo produtos seguros, estáveis e com identidade sensorial bem definida.

3.2. Defeitos microbiológicos em bebidas

A presença de defeitos microbiológicos na produção de bebidas representa um dos maiores riscos à qualidade e segurança do produto, especialmente em bebidas fermentadas como a cerveja. Esses contaminantes podem surgir ao longo de diferentes etapas do processo produtivo e exigem estratégias de controle robustas para evitar alterações sensoriais, riscos à saúde e prejuízos econômicos.

As fontes de contaminação são variadas, incluindo a água e as matérias-primas, que podem introduzir microrganismos deteriorantes; superfícies e equipamentos que formam biofilmes resistentes à limpeza; e fatores ambientais, como o ar e os operadores, quando não há controle adequado de higiene (FRANCO; LANDGRAF, 2008; BIO-MÉRIEUX, 2023). Esses contaminantes são particularmente críticos em tanques, tubulações e válvulas, locais conhecidos por favorecer a proliferação microbiana devido ao acúmulo de resíduos, enquanto ambientes aeróbicos intensificam o risco de crescimento bacteriano.

Entre os principais microrganismos envolvidos nos defeitos estão as bactérias ácido-láticas, que respondem por cerca de 70% das contaminações observadas em cerveja, resultando em turbidez, aumento de acidez e odores desagradáveis (DRAGONE et al., 2007). Outros contaminantes relevantes incluem bactérias Gram-negativas (como *Pectinatus*, *Megasphaera* e *Zymomonas*) e leveduras selvagens dos gêneros *Brettanomyces*, *Candida* e *Pichia*, capazes de introduzir notas fenólicas ou ácidas e alterar significativamente o perfil sensorial do produto (SPEERS; WAN, 2005; BIO-MÉRIEUX, 2023). Em estudos nacionais, amostras de cerveja artesanal apresentaram contagens de bactérias aeróbias mesófilas abaixo dos limites regulamentares (3000 UFC/mL), mas mesmo níveis baixos de leveduras e fungos podem ser responsáveis por defeitos perceptíveis no produto (TOFÓLI, 2014; UFRPE, 2020). Além disso, pesquisas recentes apontam para a presença de micotoxinas na cerveja comercial brasileira: em 75% das amostras, foi detectada a fumonisina B₁, e em 65%, a B₂, em concentrações variando de 0,110 a 6,861 ng/mL (SOILO, 2019). Outro levantamento estimou que o consumo médio diário de 550 mL de cerveja por pessoa pode contribuir com até 107% da ingestão tolerável de fumonisinas, 60% da

deoxinivalenol e níveis preocupantes de aflatoxinas — substâncias potencialmente cancerígenas — indicando uma carência regulatória em relação a micotoxinas em bebidas no Brasil (RODRIGUES; AZEREDO, 2022).

O impacto desses defeitos é amplo. A presença de contaminantes microorganismos pode levar à perda de lotes, necessidade de retrabalho, recall de produtos e interrupções operacionais, afetando diretamente a rentabilidade e prejudicando a reputação da marca junto ao consumidor. São também observadas mudanças sensoriais — como turbidez, variações no sabor, aroma e carbonatação — que comprometem a experiência do consumidor e diminuem a fidelidade à marca (FURLAN; SILVA, 2022). Sob a perspectiva da saúde pública, ainda que muitos desses microorganismos sejam deteriorantes e não patogênicos, o risco de contaminação por patógenos ou por substâncias tóxicas justifica a exigência de limites legais rigorosos, como os estabelecidos na RDC nº 724/2022 da ANVISA, que define ausência de coliformes termotolerantes e *Salmonella spp.* nas bebidas (BRASIL, 2022). Essas perspectivas reforçam a importância de um sistema de monitoramento microbiológico abrangente, que contemple análise de insumos, controle dos equipamentos e da planta industrial, além de testes periódicos do produto final. Estratégias preventivas e ações corretivas rápidas, embasadas em dados e análises laboratoriais, são essenciais para garantir a qualidade técnica, a segurança alimentar e a sustentabilidade econômica do setor cervejeiro.

3.3. Manutenção Produtiva Total – TPM

A Manutenção Produtiva Total (Total Productive Maintenance – TPM) é uma metodologia japonesa voltada à excelência operacional por meio do envolvimento sistemático de todos os colaboradores na gestão dos ativos produtivos. Sua origem remonta ao Japão da década de 1970, sendo inicialmente implementada pela Nippondenso (atual Denso Corporation), uma fornecedora da Toyota. Seu objetivo principal era integrar a manutenção às atividades diárias dos operadores, promovendo um ambiente de produção mais eficiente, limpo e seguro. Segundo Nakajima (1988), um dos principais divulgadores do método, o TPM surgiu como uma evolução da manutenção preventiva tradicional, incorporando aspectos de melhoria contínua e participação total da equipe, desde a alta gestão até o chão de fábrica.

O TPM baseia-se na premissa de que a eficiência dos equipamentos é fundamental para o desempenho global da produção. Por isso, ela propõe a eliminação sistemática de perdas que afetam a performance dos ativos, como paradas não planejadas, falhas recorrentes, pequenos defeitos e desperdícios operacionais. Diferente das abordagens convencionais de manutenção, o TPM não se limita às equipes técnicas, mas estimula a autonomia dos operadores na detecção de anomalias e no cuidado básico com os equipamentos (SEIXAS et al., 2017). Essa descentralização é um de seus pilares, pois torna o processo produtivo mais ágil e menos dependente de intervenções reativas.

No ambiente industrial, os impactos da adoção do TPM são amplamente reconhecidos. Estudos apontam que a implementação bem-sucedida da metodologia contribui significativamente para o aumento da disponibilidade dos equipamentos, redução do tempo de setup, menor número de defeitos e retrabalhos, e melhoria da segurança no trabalho (GROOVER, 2011). Além disso, o TPM impulsiona a cultura de melhoria contínua e promove o engajamento dos colaboradores por meio de treinamentos, padronização de rotinas e valorização do conhecimento operacional. O resultado é um sistema de produção mais estável, competitivo e sustentável a longo prazo.

Portanto, o TPM se consolida como uma ferramenta estratégica nas organizações industriais contemporâneas, não apenas como um método de manutenção, mas como um sistema de gestão da produção orientado à excelência operacional, redução de perdas e maximização da eficiência dos processos produtivos. A sua aplicação bem estruturada tem se mostrado eficaz em diversos setores, inclusive na indústria de alimentos e bebidas, onde a confiabilidade dos equipamentos é diretamente proporcional à qualidade e à segurança dos produtos fabricados.

3.3.1 Ferramentas de qualidade no TPM

No contexto da Manutenção Produtiva Total, as ferramentas da qualidade assumem papel estratégico ao oferecer suporte metodológico para a identificação de falhas, análise de causas e implementação de melhorias contínuas nos processos produtivos. Segundo Nakajima (1988), instrumentos como o Diagrama de Causa e Efeito (também conhecido como Diagrama de Ishikawa), o ciclo PDCA, a análise dos 5 Porquês, cartas de controle estatístico, entre outros, são amplamente aplicados no

TPM por sua capacidade de sistematizar a resolução de problemas e promover maior confiabilidade operacional.

A origem dessas ferramentas remonta ao período pós-Segunda Guerra Mundial, quando empresas japonesas passaram a incorporar técnicas de controle estatístico da qualidade a partir das contribuições de estudiosos como Deming e Juran. Conforme destaca Machado (2012), a consolidação dessas ferramentas ocorreu a partir da década de 1950, sendo gradualmente incorporadas aos sistemas de gestão como instrumentos fundamentais para melhoria contínua de produtos, serviços e processos. Elas representam, portanto, um conjunto de métodos técnicos acessíveis, mas poderosos, que possibilitam à organização agir com base em evidências e dados concretos.

Paladini et al. (2012) ressaltam que as ferramentas da qualidade são mecanismos analíticos simples que permitem selecionar, avaliar ou validar mudanças em etapas específicas do processo produtivo. Tais ferramentas têm como finalidade principal promover ganhos em qualidade, eficiência ou eficácia, sendo fundamentais para manter a estabilidade operacional em ambientes de alta exigência técnica, como é o caso da indústria de bebidas. Já Oliveira et al. (2006, apud Fugimoto, 2017) conceituam o problema como um resultado indesejado no processo e defendem que essas ferramentas são essenciais para apoiar a gestão na eliminação de falhas e no aperfeiçoamento das rotinas produtivas.

Além das ferramentas tradicionalmente conhecidas, a metodologia TPM também incorpora ferramentas específicas voltadas à eliminação de perdas crônicas e à padronização de boas práticas, como a Matriz QX, a Matriz QM e a Análise das 5 Condições para Zero Defeitos. De acordo com Ishikawa (1989), tais instrumentos são valiosos para garantir o envolvimento dos operadores na gestão da qualidade e para estruturar soluções que atuem de forma proativa, prevenindo a reincidência de falhas.

Nesse cenário, observa-se que a utilização combinada dessas ferramentas promove não apenas a manutenção da qualidade dos produtos, mas também o amadurecimento dos sistemas de gestão, integrando análise crítica, padronização de processos e engajamento coletivo em torno da melhoria contínua.

Dito isto, para que o presente trabalho tenha uma compreensão facilitada, serão apresentadas a seguir as ferramentas utilizadas para a construção do estudo de caso.

3.3.1.1 Ciclo PDCA

O ciclo PDCA, cuja estrutura foi consolidada por W. Edwards Deming na década de 1950, constitui uma das ferramentas fundamentais para a gestão da qualidade e a elevação da produtividade organizacional. De acordo com Deming (1982), o modelo promove uma abordagem estruturada para a identificação de problemas, desenvolvimento de soluções e implementação de melhorias contínuas, sendo aplicável a qualquer tipo de processo, produto ou serviço. Para o autor, o êxito sustentável nas organizações está vinculado à adoção de uma cultura baseada no aprendizado permanente e na capacidade de adaptação frente às variabilidades dos sistemas produtivos.

Complementando essa perspectiva, Ishikawa (1989) descreve o ciclo PDCA como uma sequência de quatro etapas logicamente encadeadas — Planejar (Plan), Executar (Do), Verificar (Check) e Agir (Act) — voltadas à promoção sistemática da melhoria contínua. Essas fases, ao serem aplicadas de forma disciplinada, permitem o refinamento progressivo dos processos produtivos, aumentando a confiabilidade dos resultados e o alinhamento com os padrões de qualidade previamente estabelecidos.

Na etapa *Planejar*, deve-se estabelecer metas claras e mensuráveis, além de elaborar um plano de ação que contemple os recursos, prazos e responsabilidades envolvidos. Ishikawa (1989) enfatiza a importância de compreender profundamente as necessidades dos clientes internos e externos, assim como as causas fundamentais dos problemas, de forma a garantir que os objetivos sejam relevantes e alcançáveis.

A fase *Executar* corresponde à implementação das ações planejadas, exigindo disciplina operacional, comunicação eficiente e cooperação entre os membros da equipe. Ishikawa salienta que a eficácia dessa etapa está diretamente associada ao comprometimento coletivo e ao controle adequado das variáveis envolvidas, garantindo que o processo seja conduzido conforme o previsto.

Na sequência, a etapa *Verificar* consiste na análise dos resultados obtidos com base em indicadores previamente definidos. É nesse momento que são avaliados os desvios entre os resultados reais e os esperados, sendo identificadas possíveis causas de inconformidade. Para Ishikawa, o monitoramento de dados e a análise crítica do

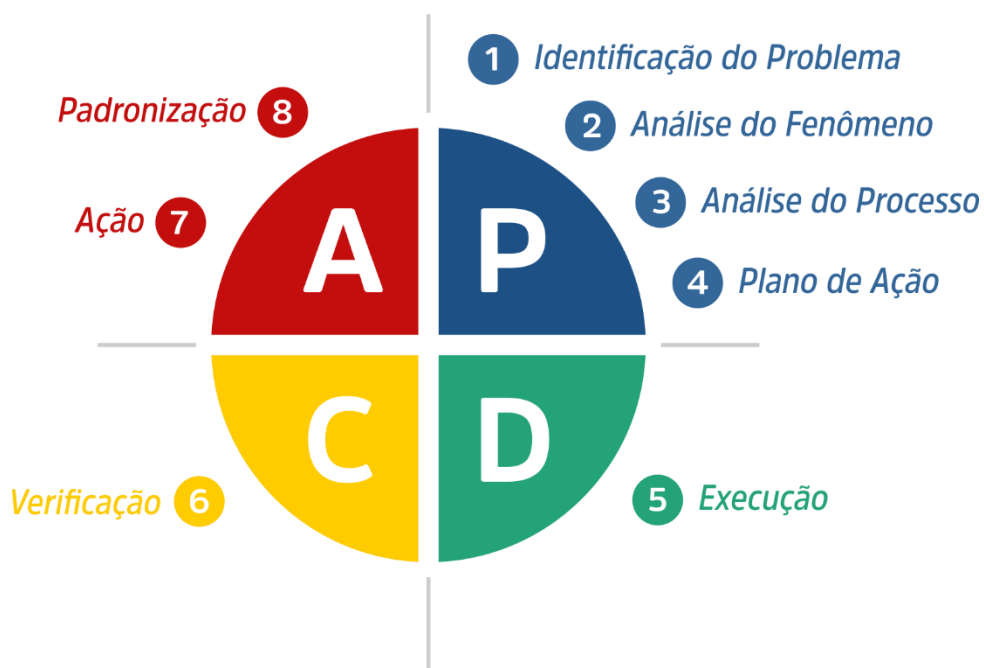
desempenho são cruciais para a consolidação do conhecimento e o aprendizado organizacional.

Por fim, a etapa *Agir* visa consolidar as melhorias bem-sucedidas e corrigir eventuais falhas detectadas na verificação. Essa fase também envolve a padronização das boas práticas e a adoção de medidas preventivas, com o objetivo de evitar a reincidência de problemas similares. Conforme reforça Ishikawa (1989), o ciclo não se encerra nessa etapa; ao contrário, ele se reinicia, configurando um processo contínuo de aprimoramento.

Essa natureza cíclica do PDCA reforça a ideia de que a qualidade é construída progressivamente, por meio de pequenas melhorias incrementais que se acumulam ao longo do tempo. A utilização disciplinada dessa ferramenta permite às organizações desenvolver uma cultura voltada à excelência operacional, baseada na prevenção de falhas e na sistematização do aprendizado.

De acordo com Ishikawa (1989), as etapas do ciclo PDCA não devem ser compreendidas apenas como uma sequência linear, mas como um processo dinâmico, de natureza cíclica e contínua. Após a conclusão da fase "Agir", o ciclo é reiniciado pela etapa de "Planejamento", o que reforça seu caráter iterativo. Essa estrutura evidencia que a melhoria da qualidade deve ser encarada como um esforço permanente de revisão, análise e aprimoramento dos processos organizacionais. A representação gráfica do ciclo, apresentada na Figura 1, ilustra de forma clara a interdependência entre as fases, destacando a lógica sistêmica do método e sua aplicação como instrumento de melhoria contínua.

Figura 1 – Ilustração do ciclo PDCA



Fonte: Grupo Voitto (2023)

O ciclo PDCA demonstra maior efetividade quando aplicado em conjunto com outras ferramentas da qualidade, como o Diagrama de Causa e Efeito, a análise dos 5 Porquês e as Cartas de Controle, pois essa integração favorece uma abordagem mais completa e precisa na resolução de problemas. Paladini (2012) ressalta que essa combinação permite decisões baseadas em dados concretos e direciona esforços para a melhoria contínua. Para Nakajima (1988), essa sinergia é especialmente valiosa em sistemas como o TPM, onde a eliminação de falhas e o aumento da eficiência são objetivos centrais.

3.3.1.2 Carta controle

De acordo com Montgomery (2009), as cartas de controle são ferramentas estatísticas fundamentais para monitorar o comportamento de processos ao longo do tempo, permitindo identificar variações naturais e anômalas. Essa representação gráfica possibilita o acompanhamento contínuo de uma variável, seja ela quantitativa ou qualitativa, facilitando o controle da estabilidade do processo. Segundo Corrêa e Giansi (2011), gráficos desse tipo são particularmente úteis para detectar padrões, oscilações ou tendências que indicam a necessidade de intervenção. Ao tornar visíveis essas alterações, as cartas de controle contribuem diretamente para a tomada de decisões

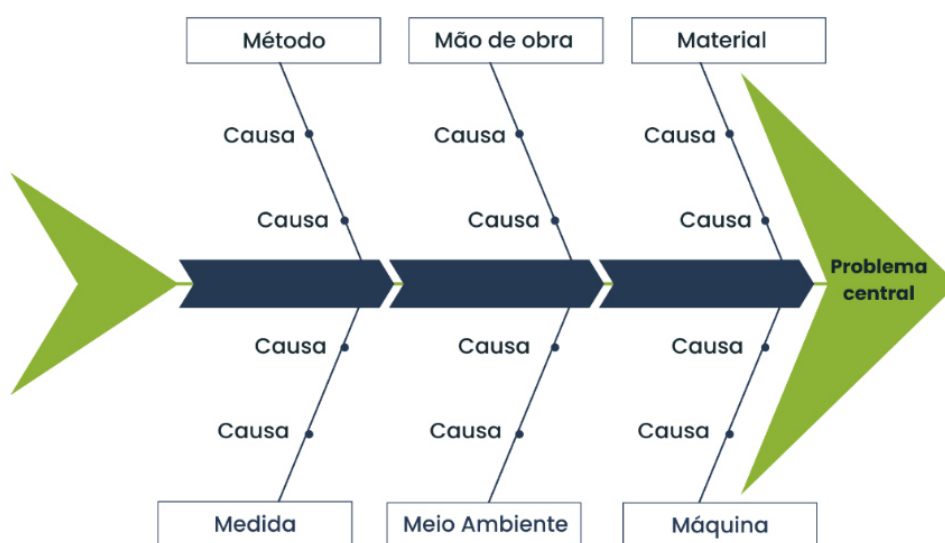
mais assertivas e para a implementação de melhorias contínuas nos processos monitorados.

3.3.1.3 Diagrama de Ishikawa

O Diagrama de Ishikawa, também conhecido como Diagrama de Causa e Efeito ou "espinha de peixe", é uma ferramenta amplamente utilizada na gestão da qualidade por sua capacidade de sistematizar a análise das causas de um problema. Conforme destaca Ishikawa (1993), essa ferramenta possibilita mapear, de forma visual e estruturada, os fatores que podem estar contribuindo para a ocorrência de um desvio ou falha em determinado processo. Sua aplicação favorece a identificação de causas raízes, promovendo maior assertividade na definição de ações corretivas e preventivas.

A representação gráfica organiza as possíveis causas em categorias principais — geralmente agrupadas como método, mão de obra, máquina, material, meio ambiente e medição — facilitando uma visão holística das variáveis envolvidas. Tal estruturação permite que equipes multidisciplinares analisem o problema com maior clareza e baseiem suas decisões em uma análise lógica e objetiva. O nome “espinha de peixe” faz referência ao formato do diagrama, cujas ramificações lembram a estrutura óssea de um peixe, conforme ilustra a Figura 2 a seguir.

Figura 2 - Ilustração do diagrama de Ishikawa



Fonte: Realizze Cursos (2024)

3.3.1.4 Rote Cause Failure Analysis (RCFA) e análise de 5 porquês

A busca por soluções eficazes em ambientes produtivos exige métodos que não apenas corrijam falhas, mas que também atuem em sua origem, promovendo a melhoria contínua e a redução de reincidências. Nesse contexto, as metodologias RCFA (Root Cause Failure Analysis) e 5 Porquês destacam-se como ferramentas analíticas essenciais para a identificação das causas raízes de problemas operacionais, sendo amplamente utilizadas na indústria como parte integrante dos sistemas de gestão da qualidade e manutenção.

A RCFA, ou Análise da Causa Raiz da Falha, é uma abordagem sistemática utilizada para investigar a origem de não conformidades, defeitos ou falhas de equipamentos e processos. Segundo Mobley (1999), o objetivo central da RCFA é ir além da identificação superficial das falhas, mapeando os fatores técnicos, humanos e organizacionais que contribuem para a ocorrência do problema. A análise é estruturada com base em evidências, e geralmente inclui o uso de ferramentas complementares, como diagrama de Ishikawa, análise de falhas (FMEA), cartas de controle e fluxogramas. A RCFA é especialmente eficaz em contextos industriais complexos, onde a multiplicidade de variáveis requer um aprofundamento investigativo mais robusto para a eliminação definitiva da causa do problema.

Por sua vez, a metodologia dos 5 Porquês, desenvolvida por Taiichi Ohno dentro do Sistema Toyota de Produção, é uma técnica mais simples e ágil, voltada para a identificação da causa raiz a partir de um processo iterativo de perguntas. Conforme Ohno (1988), ao perguntar repetidamente “por quê?” — geralmente cinco vezes — é possível revelar a relação de causa e efeito que liga o sintoma do problema à sua origem. Essa metodologia se mostra extremamente eficaz em situações onde há falhas rotineiras ou de baixa complexidade, permitindo uma análise rápida e objetiva.

Apesar de suas diferenças em complexidade e profundidade, RCFA e 5 Porquês são metodologias complementares. Enquanto a RCFA é recomendada para eventos críticos ou recorrentes, exigindo investigação detalhada e análise multidisciplinar, os 5 Porquês funcionam como um ponto de partida prático para iniciar a reflexão sobre as causas de um problema. Segundo Gano (2007), a combinação dessas metodologias fortalece a análise de falhas, pois os 5 Porquês podem ser utilizados como etapa preliminar dentro de uma RCFA, facilitando o raciocínio lógico e orientando a coleta de dados mais específicos.

Além disso, ambas as ferramentas compartilham o princípio da prevenção, ou seja, não se limitam à correção imediata, mas buscam evitar a repetição da falha ao eliminar sua origem. Como destaca Campos (2004), ferramentas de investigação como essas contribuem significativamente para o desenvolvimento da maturidade organizacional, uma vez que promovem uma cultura voltada à análise crítica, ao aprendizado contínuo e à eliminação de desperdícios. Em suma, a integração entre RCFA e 5 Porquês representa uma estratégia valiosa para empresas que buscam eficiência operacional e excelência na gestão de problemas. Ao empregar essas metodologias de forma combinada, a organização amplia sua capacidade de resposta, melhora seus processos decisórios e fortalece a confiabilidade de seus sistemas produtivos.

3.3.1.5 Matrizes QA, QX e QM

As matrizes QA (Quality Assurance), QX (Quality Exploration) e QM (Quality Maintenance) compõem um conjunto estruturado de ferramentas associadas à metodologia TPM (Total Productive Maintenance), voltadas para o aprimoramento sistemático da qualidade e confiabilidade nos processos industriais. Essas matrizes, amplamente difundidas no modelo japonês de produção, têm como objetivo principal garantir a estabilidade operacional dos equipamentos, promover a padronização das condições críticas de funcionamento e eliminar a ocorrência de defeitos nos produtos. Segundo Nakajima (1988), essas ferramentas desempenham papel essencial no pilar de melhoria da qualidade dentro do TPM, uma vez que ajudam a prevenir falhas de origem sistêmica e garantem a robustez dos processos produtivos.

A matriz QX, conforme apresentada por Yamashina (2000), é utilizada para investigar falhas específicas de qualidade por meio da correlação entre os defeitos observados e seus potenciais causas técnicas. Essa matriz permite mapear os fenômenos indesejados, relacionando-os aos componentes, métodos, condições operacionais e parâmetros que podem estar contribuindo para a falha. O diferencial da matriz QX está em sua capacidade de orientar a identificação das condições críticas de controle — valores padrão e suas tolerâncias — que precisam ser monitoradas para evitar reincidência dos problemas. De acordo com Bentes (2014), a aplicação da QX contribui para uma abordagem analítica mais profunda, eliminando suposições genéricas e promovendo ações corretivas direcionadas às causas reais das falhas.

Complementando a análise promovida pela matriz QX, a matriz QM atua de maneira preventiva, definindo e padronizando as condições ideais de operação dos componentes das máquinas. A matriz específica, para cada parte do equipamento, quais condições devem ser mantidas para evitar variações que possam comprometer a qualidade do produto. Para Yamashina (2000), a matriz QM é fundamental para a construção de uma base de conhecimento técnico que viabiliza a manutenção da estabilidade dos processos e a confiabilidade da produção. Essa ferramenta permite, por exemplo, determinar frequências de inspeção, critérios de ajuste e métodos de controle visual que assegurem a conformidade com os padrões estabelecidos.

Já a matriz QA, que muitas vezes antecede a elaboração das matrizes QX e QM, é responsável por identificar os pontos críticos de qualidade no processo produtivo, associando os requisitos do cliente às características do produto e do processo. Como observado por Bichueti et al. (2016), essa matriz orienta o foco dos esforços de manutenção e qualidade para os aspectos mais relevantes sob a perspectiva do consumidor, promovendo um alinhamento direto entre a qualidade percebida e a qualidade produzida. A QA é frequentemente utilizada na fase de desenvolvimento de novos produtos e processos, sendo integrada a outras metodologias como FMEA e QFD.

A complementaridade entre as matrizes QA, QX e QM é o que assegura sua eficácia na resolução de problemas e na prevenção de falhas recorrentes. Enquanto a QA atua na identificação das exigências de qualidade e nos pontos críticos do processo, a QX entra como ferramenta de investigação aprofundada das causas das falhas, e a QM consolida as condições operacionais que devem ser mantidas para garantir a estabilidade do sistema. Essa abordagem integrada fortalece os pilares do TPM, promovendo uma cultura de excelência operacional baseada na padronização, prevenção e melhoria contínua (PALADINI, 2012).

Em síntese, o uso dessas matrizes configura-se como uma prática estratégica na gestão da qualidade industrial. Sua aplicação sistemática permite não apenas solucionar problemas de forma eficaz, mas também prevenir sua reincidência, garantindo a estabilidade dos processos e a conformidade dos produtos. No cenário atual de competitividade e exigência por altos padrões de desempenho, essas ferramentas

oferecem uma base sólida para o controle e a melhoria da qualidade em ambientes fabris.

3.3.1.6 Roteiro de redução de defeitos

O conceito de zero defeito, segundo Crosby (1979), baseia-se na prevenção sistemática de erros, priorizando a excelência e a padronização dos processos. Para Yamashina (apud Junio et al., 2021), alcançar essa meta depende de cinco condições essenciais que avaliam a viabilidade do processo, com destaque para o fator Q, que mede a conformidade dos parâmetros críticos. Essa abordagem permite identificar pontos vulneráveis e agir preventivamente. Autores como Paladini (2012) e Juran (1992) reforçam que a qualidade está diretamente ligada ao controle rigoroso e à estabilidade dos processos, sendo o zero defeito uma consequência do compromisso contínuo com a melhoria.

4 ESTUDO DE CASO

A seguir, tem início o capítulo destinado à apresentação do estudo de caso, cuja finalidade é demonstrar a aplicação prática das ferramentas de qualidade discutidas ao longo deste trabalho, com ênfase na metodologia do Ciclo PDCA como instrumento central para a resolução de problemas. A análise aqui proposta foi conduzida em um ambiente fabril real, permitindo a observação direta dos processos e a coleta de dados relevantes que sustentam as decisões tomadas.

Este capítulo está organizado em quatro seções principais. A primeira trata da caracterização da empresa, contextualizando o setor de atuação, estrutura organizacional e aspectos relevantes do processo produtivo. Na sequência, a descrição do processo em estudo delimita o foco da análise, detalhando o fluxo operacional e as etapas críticas envolvidas. Em seguida, apresentam-se as etapas do estudo de caso, evidenciando a aplicação sistemática do PDCA, apoiada por ferramentas como o Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês, Carta Controle, entre outras. Por fim, são expostos os resultados obtidos, destacando os efeitos das ações implementadas, as melhorias alcançadas e as oportunidades de aprimoramento identificadas ao longo do processo.

A abordagem adotada reforça o compromisso com a integração entre teoria e prática, essencial para a consolidação de um sistema de gestão voltado à melhoria contínua e à eficiência operacional.

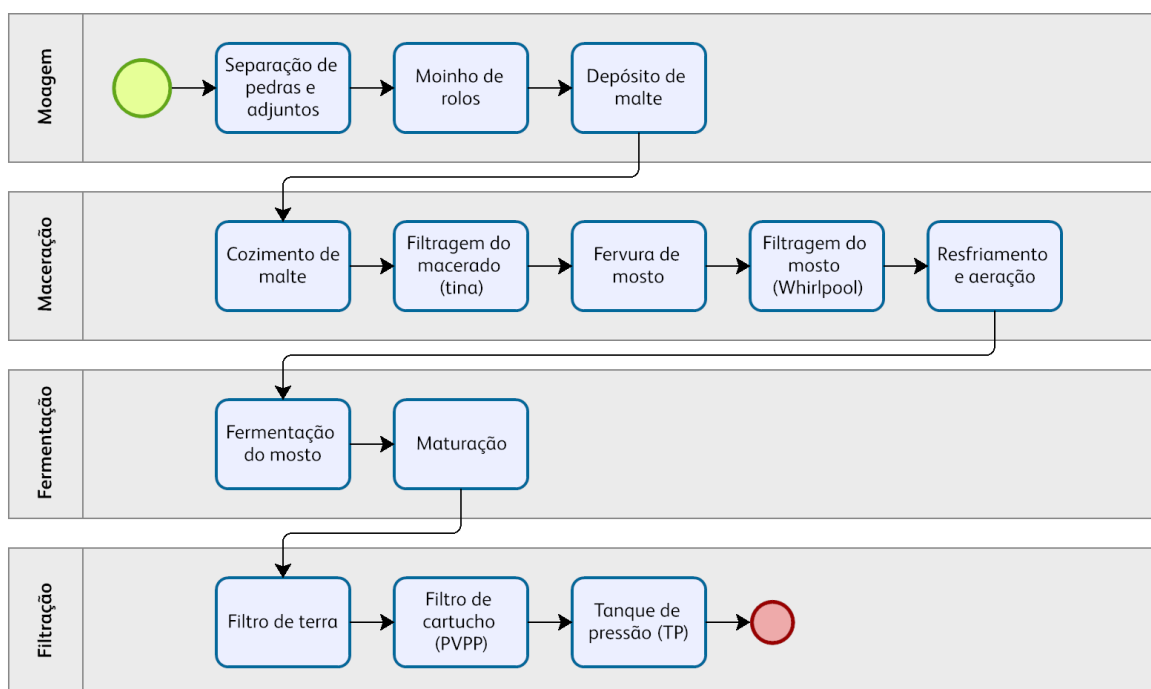
4.1. Caracterização da empresa

O presente estudo foi conduzido em uma unidade industrial do setor cervejeiro, situada no município de Pacatuba, na Região Metropolitana de Fortaleza. Esta planta integra um conglomerado multinacional reconhecido por seu amplo portfólio de bebidas, que abrange tanto produtos alcoólicos quanto não alcoólicos, sendo que a unidade analisada possui como foco principal a produção de bebidas alcoólicas. A empresa sustenta como um de seus pilares estratégicos o compromisso com a qualidade, buscando continuamente a excelência em seus produtos. Para tanto, investe de forma recorrente em inovações tecnológicas, práticas operacionais padronizadas e ferramentas voltadas à melhoria contínua. Entre as abordagens adotadas para o aprimoramento de seus processos produtivos destaca-se a metodologia Total Productive Maintenance (TPM), que integra princípios como o 5S, padronização de atividades, gestão visual e análises sistemáticas de falhas. O objetivo dessa abordagem é eliminar perdas, promover maior eficiência operacional e garantir a confiabilidade dos processos, contribuindo assim para a manutenção de elevados padrões de qualidade ao longo de toda a cadeia produtiva.

4.2. Descrição do processo

A produção industrial de cerveja pode ser dividida em duas áreas distintas: a produção do líquido em si, também conhecido como mosto frio, e o envasamento. O presente estudo concentra-se na etapa de produção (brewing) da fabricação de cerveja, que abrange desde o tratamento para a definição da qualidade físico-química e microbiológica inicial das matérias-primas até a clarificação do produto. Essa etapa é fundamental, além de ser sensível a variações que impactam diretamente o padrão do produto acabado. Abaixo segue o fluxograma detalhado com todas as etapas necessárias do processo.

Figura 3 – Fluxograma de processamento da cerveja.



Fonte: Elaborado pelo autor (2025).

4.2.1. Moagem

A moagem é a primeira etapa operacional da produção e tem como principal objetivo quebrar os grãos de malte de forma controlada, possibilitando a exposição dos componentes internos – especialmente o amido – sem destruir excessivamente as cascas. A granulometria ideal é aquela que favorece uma boa eficiência de extração durante a maceração, mas que ainda permita a formação de um leito filtrante funcional no lautering. Um processo de moagem mal ajustado pode resultar tanto na baixa extração de açúcares quanto em dificuldades operacionais na filtração, como obstruções ou baixa vazão do mosto (BAMFORTH, 2006). Nessa etapa, o tipo de moinho utilizado (de rolos, martelos etc.) e os ajustes de abertura entre os cilindros influenciam diretamente na performance das etapas seguintes.

4.2.2. Maceração

A maceração, também conhecida como mosturação ou mashing, constitui uma das etapas mais relevantes do processo de fabricação da cerveja, sendo responsável por transformar os componentes insolúveis do malte em substâncias fermentescíveis e nutrientes essenciais ao metabolismo das leveduras. Essa etapa tem início no

equipamento denominado cozinhador de malte, onde o malte moído é misturado com água aquecida, formando uma mistura conhecida como mosto.

Durante a mosturação, ocorrem reações enzimáticas fundamentais que promovem a quebra do amido em açúcares simples, como maltose e glicose, e a degradação parcial das proteínas em peptídeos e aminoácidos, elementos que irão contribuir tanto para a nutrição da levedura quanto para características sensoriais como a formação de espuma e corpo da bebida (GUIMARÃES; MANSUR, 2011). Segundo Bamforth (2006), essa conversão é altamente dependente do controle preciso de variáveis como temperatura, pH e proporção água/malte, uma vez que diferentes faixas de temperatura ativam diferentes grupos de enzimas, como as proteases, β -amilase e α -amilase.

Finalizada a conversão enzimática, o mosto segue para a tina filtro, onde ocorre a separação dos sólidos insolúveis. As cascas dos grãos de malte, preservadas durante a moagem, formam uma camada natural de filtração sobre o fundo falso da tina. Essa estrutura auxilia na retenção de partículas indesejadas, resultando em um líquido mais límpido e adequado às etapas seguintes do processo.

O mosto clarificado é então fracionado em duas correntes: o primeiro mosto, que contém a maior parte dos açúcares, e o mosto secundário, obtido por meio da lavagem do bagaço com água quente — operação conhecida como *sparging*. Facas rotativas no fundo do tanque ajudam a manter a permeabilidade da camada de bagaço, assegurando uma extração eficiente.

A etapa seguinte, o cozimento do mosto, ocorre em temperaturas de até 100 °C e tem múltiplas funções tecnológicas essenciais. Além de promover a inativação das enzimas anteriormente ativadas, o cozimento contribui para a concentração do mosto, esterilização térmica, correção da cor por meio da adição de extrato de malte escuro, e, principalmente, a isomerização dos alfa-ácidos do lúpulo, responsáveis pelo amargor característico da cerveja (MEDEIROS; MACHADO, 2016). Também é durante a fervura que são eliminados compostos voláteis indesejáveis, como o dimetilsulfeto (DMS), derivado da S-metilmetionina, cuja presença pode afetar negativamente o perfil sensorial da cerveja.

O mosto fervido segue então para o tanque Whirlpool, onde ocorre a separação centrífuga do *trub* — um conjunto de sólidos em suspensão, como proteínas coaguladas,

resinas de lúpulo e polifenóis. Esse processo de clarificação por sedimentação é essencial para garantir estabilidade coloidal e limpidez à cerveja. Por fim, o mosto é rapidamente resfriado a temperaturas adequadas para a fermentação, geralmente entre 10 °C e 18 °C, dependendo do tipo de levedura utilizada, e submetido à aeração controlada com ar estéril. Essa etapa visa fornecer oxigênio necessário para o crescimento inicial das leveduras, o que impactará diretamente na saúde da fermentação e no desenvolvimento de compostos desejáveis ao perfil aromático da bebida (BAMFORTH, 2006).

4.2.3. Fermentação e maturação

Após o resfriamento e aeração do mosto, o líquido é transferido para tanques de fermentação (TFM), onde se adiciona a levedura. Durante esta fase, os açúcares fermentáveis são convertidos em álcool etílico, dióxido de carbono e uma série de compostos secundários que conferem aroma e sabor à cerveja. Segundo Briggs et al. (2004), a fermentação é o coração do processo cervejeiro, uma vez que define o perfil sensorial do produto acabado.

O controle de temperatura nesta etapa é vital, pois influencia o metabolismo da levedura e a formação de subprodutos. Em fermentações do tipo lager, a temperatura é mantida em torno de 8 a 12 °C; já em fermentações ale, varia entre 15 e 22 °C. Ao término da fermentação, a cerveja jovem passa por um período de maturação a frio, durante o qual compostos indesejáveis, como diacetil e aldeídos, são degradados, melhorando a estabilidade sensorial do produto. Esta etapa pode durar de 10 a 30 dias, dependendo do estilo da cerveja e das metas de qualidade estabelecidas pela indústria (BAMFORTH, 2006).

4.2.4. Filtração

O processo de filtração da cerveja é uma fase crucial que emprega uma sequência de filtros para atingir a clarificação final, resultando em uma bebida com aspecto límpido e brilhante. Inicialmente, a cerveja passa pelo Filtro KG (Kieselguhr). Neste estágio, a terra diatomácea, ou diatomita, é empregada como agente filtrante devido à sua notável porosidade. A função primária deste filtro é a remoção eficaz de células de levedura e dos complexos proteína-polifenóis, que são os principais responsáveis pela turbidez do mosto.

Subsequentemente, a bebida segue para o Filtro PVPP (polivinilpolipirrolidona). Neste ponto, a substância polivinilpolipirrolidona atua como

agente filtrante, reduzindo o teor de polifenóis na cerveja por meio de um processo de adsorção. Essa ação é fundamental para conferir uma maior estabilidade coloidal ao produto acabado, prevenindo a formação de turbidez e prolongando sua vida útil.

Concluída a filtração, a cerveja é transferida para os tanques de pressão para o estágio final antes do envasamento. Durante este período de armazenamento, a bebida é mantida sob pressão controlada, uma condição essencial para preservar sua qualidade e estabilidade. Tal controle de pressão é vital para prevenir a oxidação e o desenvolvimento de sabores indesejados, assegurando que a cerveja mantenha suas características sensoriais ideais até ser acondicionada.

4.3. Identificação do problema

Como forma de obter os resultados esperados, é necessário que as etapas de análise dos defeitos que geraram a contaminação microbiológica indesejada contemplem as ferramentas de qualidade e TPM. Dito isto, nesse estudo serão utilizadas as metodologias PDCA e o roteiro de redução de defeitos de forma simultânea e convergente. A tabela 1 ilustra de forma visual como os passos dessas ferramentas conversam entre si a fim de obter resultados qualitativos e quantitativos no ambiente industrial.

Tabela 1 – Correlação entre o ciclo PDCA e o Roteiro de redução de defeitos

PDCA Cycle	Defect Reduction Team Route
<i>Plan</i>	<i>Identify the origins of defects</i>
<i>Do</i>	<i>Restore basic conditions on critical area & set standards</i>
	<i>Find out root causes for recurring defects</i>
	<i>Implement improvement actions</i>
<i>Check</i>	<i>Analyse every defect</i>
<i>Act</i>	<i>Improve the management system to hold the gains</i>

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.3.1. Plan

A fase inicial do estudo concentra-se na organização e direcionamento das ações necessárias para o entendimento do problema e sua posterior resolução. Nesta etapa, realiza-se a identificação precisa da falha a ser tratada, com base em uma avaliação objetiva dos indicadores de desempenho mais relevantes. Em seguida, define-se qual

parte do processo demanda uma intervenção mais assertiva da equipe técnica, a fim de reduzir ou eliminar a perda observada.

Para garantir um diagnóstico consistente, essa etapa foi estruturada em seis atividades principais: delimitação do problema, formação da equipe de trabalho, levantamento de dados operacionais, interpretação dos resultados dos indicadores, identificação dos modos potenciais de falha por meio da construção de uma matriz QA preliminar e, por fim, compreensão do funcionamento do sistema envolvido. Essas ações fornecem o alicerce analítico necessário para as fases subsequentes do estudo.

4.3.2. *Do*

Nesta etapa serão realizadas as ações de restauração da condição básica dos processos ou equipamentos que tiverem desvios identificados em relação ao princípio de funcionamento. Logo após, será realizada a análise de causa raiz utilizando como pilares o diagrama de Ishikawa e os 5 porquês para que sejam definidas as ações de contramedida a serem implementadas no objeto desse estudo.

4.3.3. *Check*

Na terceira fase do estudo, são demonstrados os efeitos alcançados após a aplicação das ações corretivas propostas anteriormente. Durante esse momento, procede-se à observação contínua dos dados e à avaliação dos indicadores de desempenho, com o intuito de verificar a efetividade das soluções adotadas e identificar eventuais variações que exijam novos ajustes no processo.

4.3.4. *Act*

A quarta e derradeira fase deste estudo concentra-se na análise comparativa entre os resultados obtidos e os objetivos definidos previamente. A partir dessa avaliação, são adotadas ações corretivas ou preventivas, conforme a necessidade, para sanar possíveis inconsistências. Essa etapa, correspondente ao momento “Agir” do ciclo PDCA, é direcionada à consolidação de melhorias e ao aprimoramento contínuo dos processos operacionais.

4.4. Resultados obtidos

Neste tópico serão abordados e detalhados os resultados obtidos a partir da aplicação do ciclo PDCA.

4.4.1. ETAPA “*Plan*”

4.4.1.1. Identificação do problema

A identificação de problemas na indústria parte, frequentemente, da análise criteriosa de indicadores-chave de desempenho, também conhecidos como KPIs (Key Performance Indicators). Esses indicadores permitem o monitoramento contínuo de variáveis críticas do processo produtivo, servindo como ferramentas indispensáveis para a tomada de decisão estratégica e a implementação de ações corretivas e preventivas. Segundo Slack et al. (2009), o uso de indicadores de desempenho é fundamental para identificar desvios, mensurar a eficiência operacional e alinhar os processos aos objetivos organizacionais. Ao interpretar corretamente os KPIs, é possível detectar falhas ou ineficiências nos estágios iniciais, garantindo maior agilidade na resposta e promovendo melhorias contínuas na performance industrial.

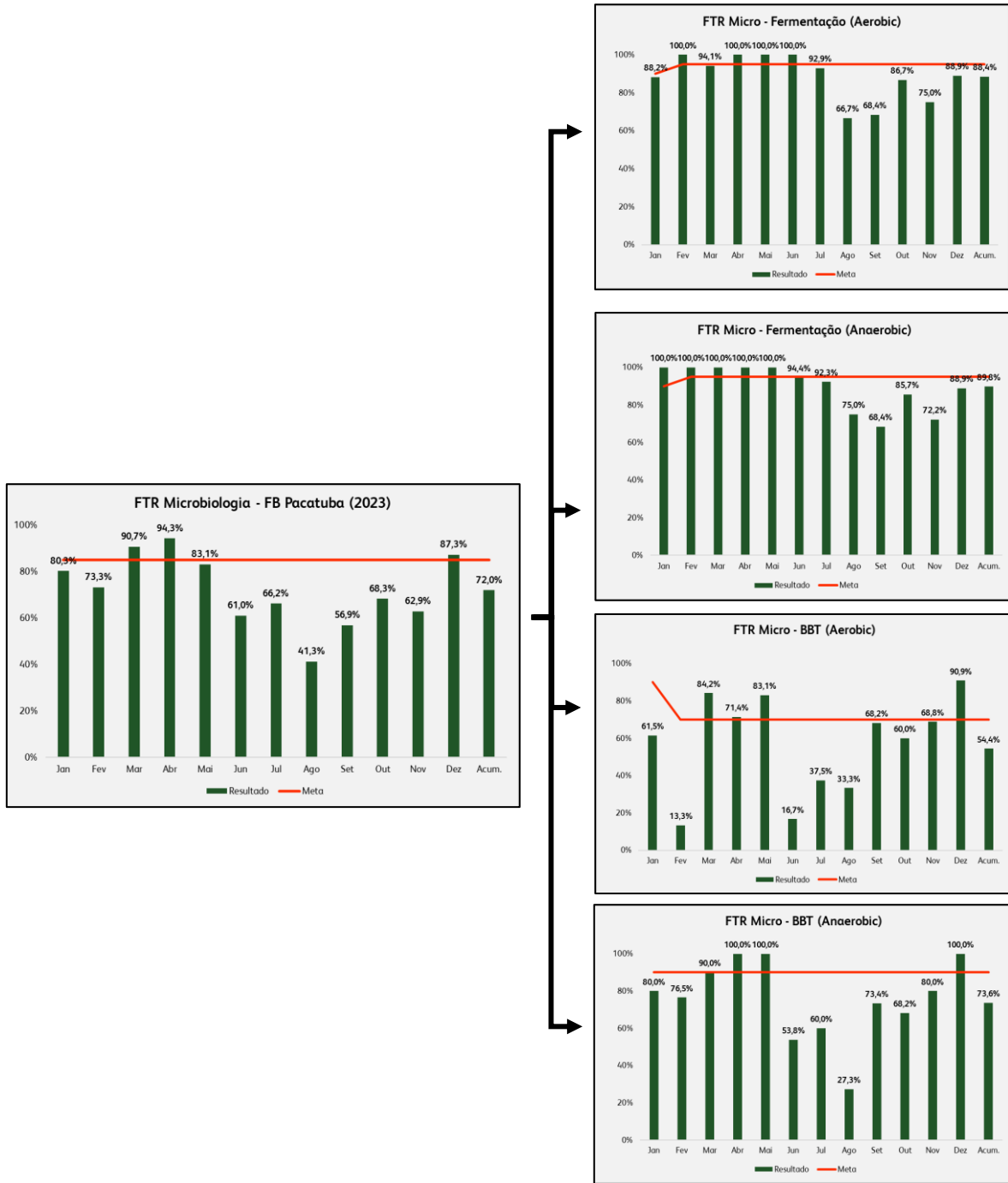
O conceito de *First Time Right* (FTR), ou “Certo de Primeira”, está diretamente ligado à eficiência operacional e à qualidade na produção industrial, especialmente no setor de alimentos, onde o retrabalho e os desperdícios impactam diretamente nos custos e na segurança do produto. A aplicação do FTR consiste em realizar corretamente todas as etapas do processo já na primeira execução, eliminando falhas e retrabalhos que possam comprometer a qualidade final. Segundo Corrêa e Corrêa (2012), essa abordagem visa a redução de variabilidades e perdas, promovendo a padronização dos processos e a confiabilidade dos resultados. No ambiente industrial de alimentos, alcançar o FTR significa garantir que os produtos estejam em conformidade com os padrões microbiológicos, sensoriais e legais desde o início, contribuindo para a segurança alimentar, a satisfação do consumidor e a competitividade da empresa. Além disso, a adoção do FTR está alinhada aos princípios de melhoria contínua e qualidade total, sendo uma estratégia fundamental para sustentar altos níveis de desempenho produtivo.

Dito isto, para esse estudo, a análise das falhas foi realizada a partir do indicador FTR Microbiologia. Esse KPI é responsável por esboçar resultados referentes a contaminação por microrganismos degenerantes ao longo da cadeia de produção na multinacional a qual a cervejaria em análise pertence. A fórmula descrita na equação 1 considera o grau de conformidade dos parâmetros analisados em relação aos limites previamente estabelecidos, sendo essencial para mensurar a presença de microrganismos indesejáveis e compreender seus efeitos sobre a qualidade do produto acabado.

$$\%FTR \text{ Microbiologia} = 100 \times \frac{(n^{\circ} \text{ total de medições} - n^{\circ} \text{ de falhas})}{n^{\circ} \text{ total de medições}} \text{ (Equação 1)}$$

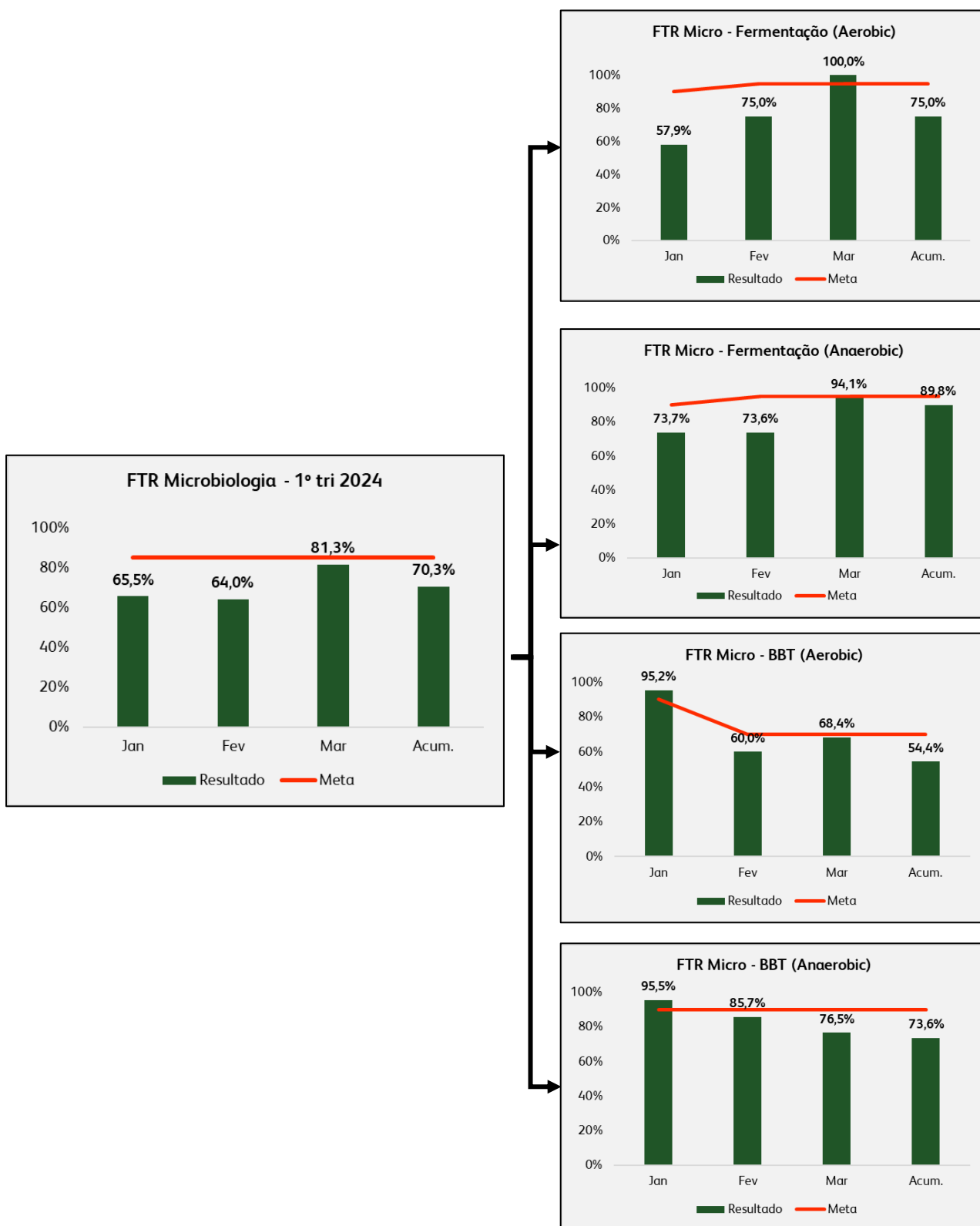
A partir da aplicação qualitativa desse KPI, foi possível desdobrar os resultados de FTR Microbiologia na área de *brewing* ao longo de 2023 e no primeiro trimestre de 2024 conforme os gráficos 2 e 3 encontrados abaixo.

Gráfico 2 – Desdobramento do indicador FTR Microbiologia na área de brewing em 2023



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 3 – Desdobramento do indicador FTR Microbiologia na área de brewing no primeiro trimestre de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Conforme observado no gráfico 2, o KPI FTR Microbiologia fechou o ano de 2023 abaixo da expectativa de 85%. Ao analisar os impactos diretos da área de brewing denota-se uma queda brusca de resultados a partir do segundo semestre em ambas as subáreas do setor, tendo um impacto ainda mais acentuado na filtração, chegando a cair cerca de 60 p.p. no mês de junho em comparação a meta estabelecida para o referido mês (75%). Além disso, outra questão que demonstrou preocupação é a variabilidade dos resultados obtidos, caracterizando descontrole em pontos chave que impactam a qualidade de processo produtivo e a qualidade do produto acabado.

A análise do gráfico 3, correspondente ao primeiro trimestre de 2024, evidencia uma maior estabilidade nos resultados do indicador FTR microbiologia, contemplando ambas as subáreas avaliadas. A partir dessa observação, verificou-se que, embora a etapa de filtração apresentasse impactos mais imediatos sobre o desempenho do indicador, a subárea de fermentação se revelou como o ponto crítico com maior potencial de influência a médio e longo prazo. Isso se deve ao fato de que eventuais contaminações microbiológicas nessa etapa inicial podem ser propagadas para os processos subsequentes, como nas adegas de pressão, comprometendo a qualidade do produto acabado. Diante desse cenário, tornou-se essencial a aplicação de ferramentas de TPM, com foco na redução das perdas operacionais e no fortalecimento dos controles sanitários durante a fermentação do mosto.

4.4.1.2. Formação da equipe de trabalho

A partir da definição da subárea a qual serão destinados os esforços, foram também definidos os membros que participariam da resolução do problema. A equipe foi composta por profissionais de diferentes áreas da fábrica para que os seus perfis e linhas de raciocínio convergissem na obtenção de resultados consistentes. Para que o processo fosse iniciado, ocorreu uma reunião de abertura formal para que o motivo de abertura da equipe de melhoria fosse divulgado para todos.

4.4.1.3. Coleta e análise dos dados históricos

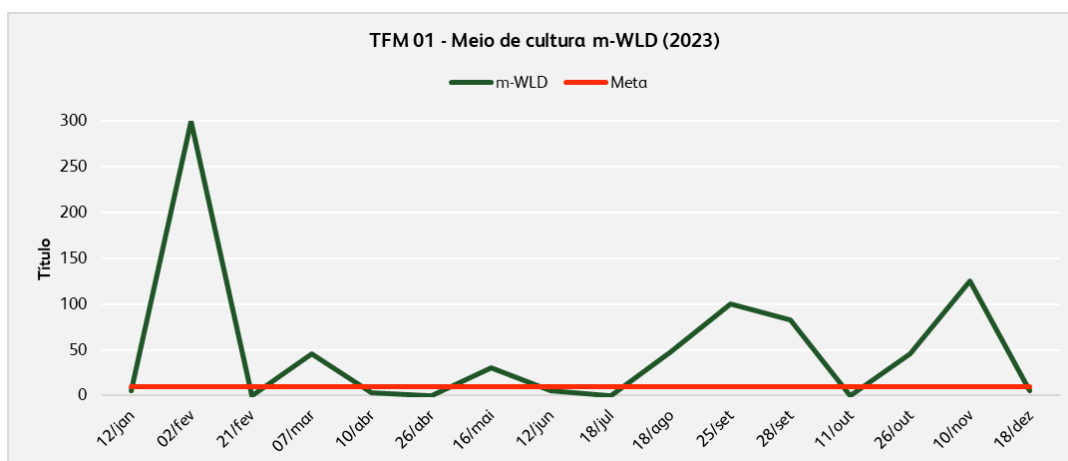
Para que fosse registrado e avaliado o comportamento histórico dos dados de FTR micro, foi utilizada a carta controle para serem analisados os resultados diários obtidos por amostra.

As análises microbiológicas utilizando meios de cultura específicos como WLN (Wallerstein Laboratory Nutrient Agar) e NBBA (Nutrient Beer Brilliant Green Agar)

são fundamentais no monitoramento da qualidade microbiológica durante o processo de fabricação de bebidas fermentadas, como a cerveja. Esses meios possibilitam a detecção, isolamento e quantificação de microrganismos contaminantes, com elevada seletividade e eficiência. O meio WLN, por exemplo, é amplamente utilizado para o isolamento diferencial de leveduras e bactérias presentes no processo fermentativo, sendo especialmente eficaz na diferenciação de colônias por características morfológicas e cor (STEELE; EHLENFELDT, 1995). Já o NBBA é reconhecido por sua seletividade na detecção de bactérias ácido-láticas como *Lactobacillus* e *Pediococcus*, que podem comprometer a estabilidade e o sabor da cerveja (BAMFORTH, 2005). De forma prática, o meio WLN auxilia na detecção de culturas aeróbicas, enquanto o NBBA entrega resultados focados na identificação de microrganismos anaeróbicos.

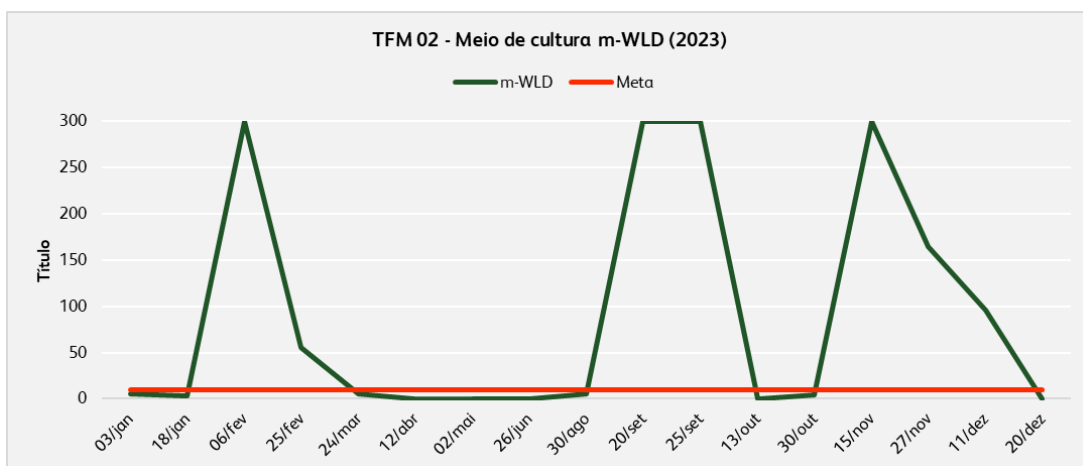
Para esse estudo, foram coletados e analisados os dados de crescimento microbiológico em dois tanques de fermentação e maturação (TFM) diferentes ao longo de 2023 e 2024, os quais foram intitulados de tanque 01 e tanque 02. Os gráficos 4 e 5 trazem os resultados de análise microbiológica feita em meio m-WLD para os dois tanques TFM utilizados no estudo, já os gráficos 6 e 7 ilustram os resultados de contaminação microbiológica para ambos os tanques em meio de cultura NBBA. Vale ressaltar que em meio m-WLD os resultados são recebidos três dias após a inoculação, e para o meio NBBA os resultados são obtidos em 11 dias após o cultivo.

Gráfico 4 – Resultados de análise microbiológica em meio m-WLD do TFM 01 ao longo de 2023



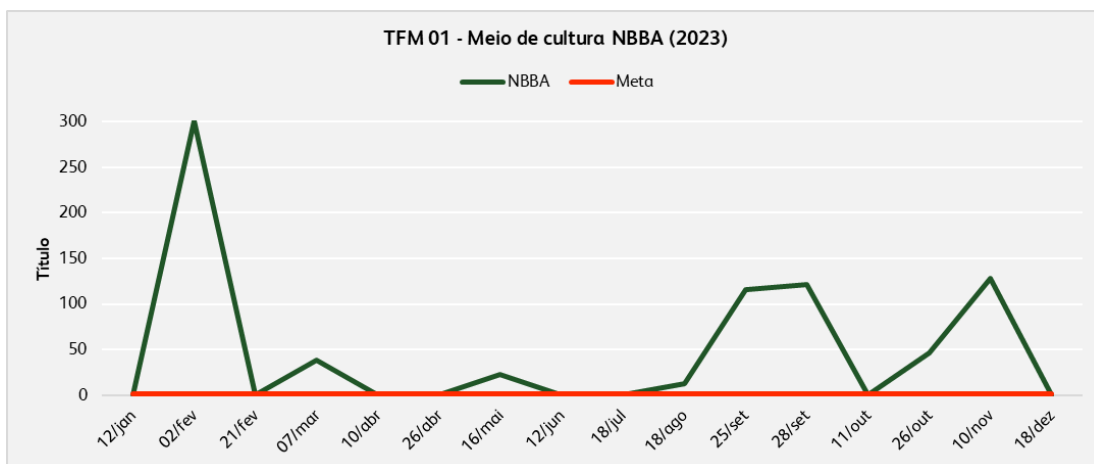
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 5 – Resultados de análise microbiológica em meio m-WLD do TFM 02 ao longo de 2023



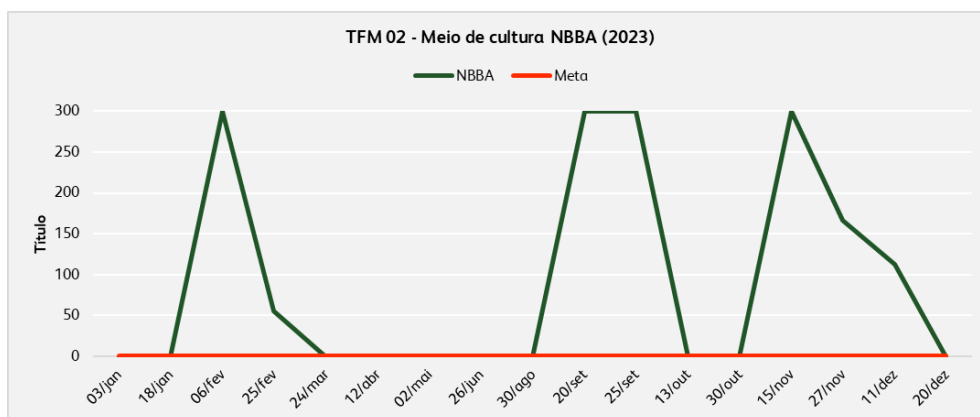
Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 6 – Resultados de análise microbiológica em meio NBBA do TFM 01 ao longo de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 7 – Resultados de análise microbiológica em meio NBBA do TFM 02 ao longo de 2023



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

Ao analisar os resultados obtidos para esses tanques, em ambos os meios de cultura (m-WLD e NBBA) é observado que a variabilidade de resultados foi uma tendência por todo o ano, o que pode também explicar a variabilidade nos resultados do KPI, tendo diversas amostras com valores muito acima das metas estabelecidas nos procedimentos internos da empresa. Na tabela 2 constam as especificações definidas para as amostras microbiológicas em meio aeróbio e anaeróbio.

Tabela 2 – Especificação para resultados de análise microbiológica na fermentação

FTR Micro - fermentação		%	$0,4 \times Fa + 0,6 \times Fb$
Fa	Fermentação - Meio aeróbio	%	Amostras do mosto no segundo dia de fermentação, no meio m-WLD Volume da amostra: 1 ml
			≤ 5 UFC/100 ml
Fb	Fermentação - Meio anaeróbio	%	Amostras do mosto no segundo dia de fermentação, no meio NBBA (ou RAK). Volume da amostra: 1 ml
			≤ 0 UFC/100 ml

Fonte: Procedimento interno da empresa (2021)

4.4.1.4. Entendimento dos modos de falha a partir da matriz QA

Com base nas evidências identificadas na etapa de planejamento, esta fase do estudo tem como objetivo aprofundar a compreensão sobre os fatores que contribuem para a ocorrência das perdas observadas, por meio da análise estruturada das possíveis causas. Para isso, foi utilizada inicialmente a matriz QA para definir todas as subfases presentes no processo de fermentação e relacioná-las com as possíveis causas de forma segmentada, atribuindo pesos e categorias de falha com base nos parâmetros de processo e na experiência em chão de fábrica da equipe do projeto. Com isso, todas as causas foram plotadas em um gráfico de Pareto, que se baseia no princípio de Pareto, também conhecido como a regra 80/20, que sugere que aproximadamente 80% dos efeitos vêm de 20% das causas. Abaixo segue o detalhamento de como foi preenchida e gerada a matriz QA preliminar.

Tabela 3 – Preenchimento dos defeitos na matriz QA

Defeitos	ppm *	Σpeso
		% **
001 - Contaminação microbiológica na levedura	44.120	189
		1.000

Fonte: Material interno da empresa (2024)

A partir da análise da área em foco, foram identificadas as etapas críticas do processo na tabela 4, as quais serviram de base para a delimitação das possíveis causas relacionadas à ocorrência da perda.

Tabela 4 – Definição das etapas do processo de fermentação na matriz QA

Nº	Fases do Processo
1	CIP TF
2	CIP Linha de Fermento
3	Recuperação de Levedura
4	Limpeza do visor + Esterilização do dreno
5	Esterilização do bloco de serviço
6	Controle de Temperatura e Pressão em TF
7	Propagação de levedura
8	Preparo de soluções
9	Controle de Temperatura e Pressão em TFM

Fonte: Material interno da empresa (2024)

Com a definição desses parâmetros, a equipe de trabalho se reuniu para debater todas as possíveis causas de contaminação microbiológica ao longo dessa etapa e concluir o preenchimento inicial da matriz. Com base na discussão realizada pelo time, foram definidas 24 possíveis causas pertinentes a contaminação na fermentação. Todas foram validadas e classificadas pelo seu peso operacional, método de controle e acompanhamento, e classificadas frente ao 5M (mão de obra, método, máquina, material e meio ambiente). Vale ressaltar que a partir de todas as teses de falha informadas, também é preenchido o método atual que é utilizado para mitigação, sejam procedimentos operacionais, cumprimento de rotina ou até mesmo parâmetros de controle de processo – pressão, temperatura ou volume. Essas informações foram devidamente preenchidas na tabela 5 que se encontra abaixo.

Tabela 5 – Correlação das fases, causas e 5M na matéria QA

Tese sobre os elementos da Matriz QA					Verificar detalhes	
Defeito	Fase	Causa	Categoria	Peso	Tese	Verificar método a ser usado
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP TF	Microvazamento nas conexões	Máquina	2	Os microvazamentos vão favorecer o contato com ambiente e gerar contaminação.	Realização de MOSF na área para avaliação da presença de vazamentos antes da realização do CIP
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP TF	Descumprimento do Ciclo de Sinner	Método	8	O descumprimento dos parâmetros considerados no ciclo e Sinner favorecem a contaminação	Ação térmica: Temperatura ambiente (28-30°) Ação química: soda: 2.5 - 3 %; ácido: 2-2.5; ácido peracético: 0.5-1% Ação tempo: Soda: 1h; ácido: 50 min; peracético: 1h. Ação mecânica: vazão: 250-300h/Lh; Pressão: 2.5-3 Bar
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP TF	Espinha inadequada Diluição do álcool Contaminação cruzada do álcool	Material	5	A esponja suja pode gerar contaminação cruzada. A baixa concentração do álcool não vai esterilizar o ponto e não vai eliminar a influência do ambiente.	Garantir o cumprimento de CLT
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP TF	Limpeza dos bocais/cone/troca de septo/troca de vedações	Mão de obra	8	O descumprimentos das rotinas podem gerar biofilmes e carrear contaminação para levedura	Realizar remoção, limpar com água, sabão e esponja, sanitizar e reparar.
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Microvazamento nas conexões	Máquina	2	Os microvazamentos vão favorecer o contato com ambiente e gerar contaminação.	Realização de MOSF na área para avaliação da presença de vazamentos antes da realização do CIP
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Descumprimento do Ciclo de Sinner	Método	8	O descumprimento dos parâmetros considerados no ciclo e Sinner favorecem a contaminação	Execução do ciclo de Sinner e da política de sanitização
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Limpeza manual dos bocais Esterilização do Dreno	Mão de obra	8	O descumprimentos das rotinas podem gerar biofilmes e carrear contaminação para levedura	Pssar água quente a 80° durante 10 min
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Espinha inadequada Diluição do álcool Contaminação cruzada do álcool	Material	2	A esponja suja pode gerar contaminação cruzada. A baixa concentração do álcool não vai esterilizar o ponto e não vai eliminar a influência do ambiente.	Garantir o cumprimento de CLT
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Carro de purga contaminação cruzada	Ambiente	2	Contaminação cruzada com ambiente com utilização do carro de purga	Realizar limpeza do carro de purga após utilização
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Trocador de calor não incluído na lógica de CIP	Máquina	8	O descumprimentos das rotinas podem gerar biofilmes e carrear contaminação para levedura	Realizar remoção, limpar com água, sabão e esponja, sanitizar e reparar.
001 - Contaminação microbiológica na levedura	CIP Linha de Fermento	Limpeza dos bocais/cone/troca de septo/troca de vedações	Mão de obra	8	O descumprimentos das rotinas podem gerar biofilmes e carrear contaminação para levedura	Realizar remoção, limpar com água, sabão e esponja, sanitizar e reparar.
001 - Contaminação microbiológica na levedura	RECuperação de Levedura	Vazamento bomba de levedura	Máquina	5	Os vazamentos vão favorecer o contato com ambiente e gerar contaminação.	Realização de MOSF na área para avaliação da presença de vazamentos antes da realização do CIP
001 - Contaminação microbiológica na levedura	RECuperação de Levedura	Limpeza manual de visor Esterilização do Dreno	Mão de obra	8	O descumprimentos das rotinas podem gerar biofilmes e carrear contaminação para levedura	Realizar remoção, limpar com água, sabão e esponja, sanitizar e reparar.
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Limpeza do visor + Esterilização do dreno	Limpeza das vedações e da chave de nível Temperatura da água quente e tempo adequado	Método	8	Se a água não estiver na temperatura adequada os microrganismos não serão eliminados	Pssar água quente a 80° durante 10 min
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Limpeza do visor + Esterilização do dreno	Troca das vedações danificadas	Mão de obra	8	Vedações perderam a usabilidade com o tempo sem trocas	Garantir o cumprimento do CLT
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Esterilização do bloco de serviço	Temperatura da água quente, tempo adequado e vapor	Método	8	Se a água não estiver na temperatura adequada os microrganismos não serão eliminados	Pssar água quente a 80° durante 10 min
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Esterilização do bloco de serviço	Limpeza dos filtros	Mão de obra	5	Contaminação cruzada se os filtros não estiverem limpos	Pssar água quente a 80° durante 10 min
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Controle de Temperatura e Pressão em TF	Válvula controladora de pressão desregulada	Máquina	8	Se a válvula estiver desregulada ocorre a depressurização do tanque e ocorre contato com ar externo, podendo haver contaminação	Ajustar a válvula controladora para 0,3 - 0,5 Bar
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Controle de Temperatura e Pressão em TF	Ajuste da válvula controladora de CO2/ Abertura de válvula de etanol	Mão de obra	5	Se o ajuste da válvula de CO2 não for realizada não ocorre a pressurização do tanque e ocorre o contato com ar externo. Se a válvula de etanol não estiver aberta a temperatura do tanque sobe e ocorre espumamento do tanque, gerando contaminação	Ajustar a válvula controladora para 0,3 - 0,5 Bar/ manter a temperatura do etanol abaixo de 4°C
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Preparo de soluções	Falha nas bombas de dosagem	Máquina	8	Soluções com concentrações inadequadas que não serão suficientes para limpeza adequada	Garantir a calibração do condutivímetro
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Preparo de soluções	Reagente vencido ou contaminação cruzadas	Material	5	Soluções com concentrações inadequadas que não serão suficientes para limpeza adequada	Garantir o cumprimento de CLT
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Preparo de soluções	Falha na análise	Mão de obra	2	Desconhecimento das concentrações necessárias	Garantir o cumprimento do CLT
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Preparo de soluções	Concentração inadequada	Método	8	Soluções com concentrações inadequadas que não serão suficientes para limpeza adequada	Garantir a automação do sistema quanto a definição das concentrações dos químicos
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Controle de Temperatura e Pressão em TFM	Válvula controladora de pressão desregulada	Máquina	8	Se a válvula estiver desregulada ocorre a depressurização do tanque e ocorre contato com ar externo, podendo haver contaminação	Garantir a calibração do condutivímetro
001 - Contaminação microbiológica na levedura	Controle de Temperatura e Pressão em TFM	Ajuste da válvula controladora de CO2 Abertura de válvula de amônia	Mão de obra	5	Se o ajuste da válvula de CO2 não for realizada não ocorre a pressurização do tanque e ocorre o contato com ar externo. Se a válvula de etanol não estiver aberta a temperatura do tanque sobe e ocorre espumamento do tanque, gerando contaminação	Ajustar a válvula controladora para 0,3 - 0,5 Bar/ manter a temperatura do etanol abaixo de 4°C

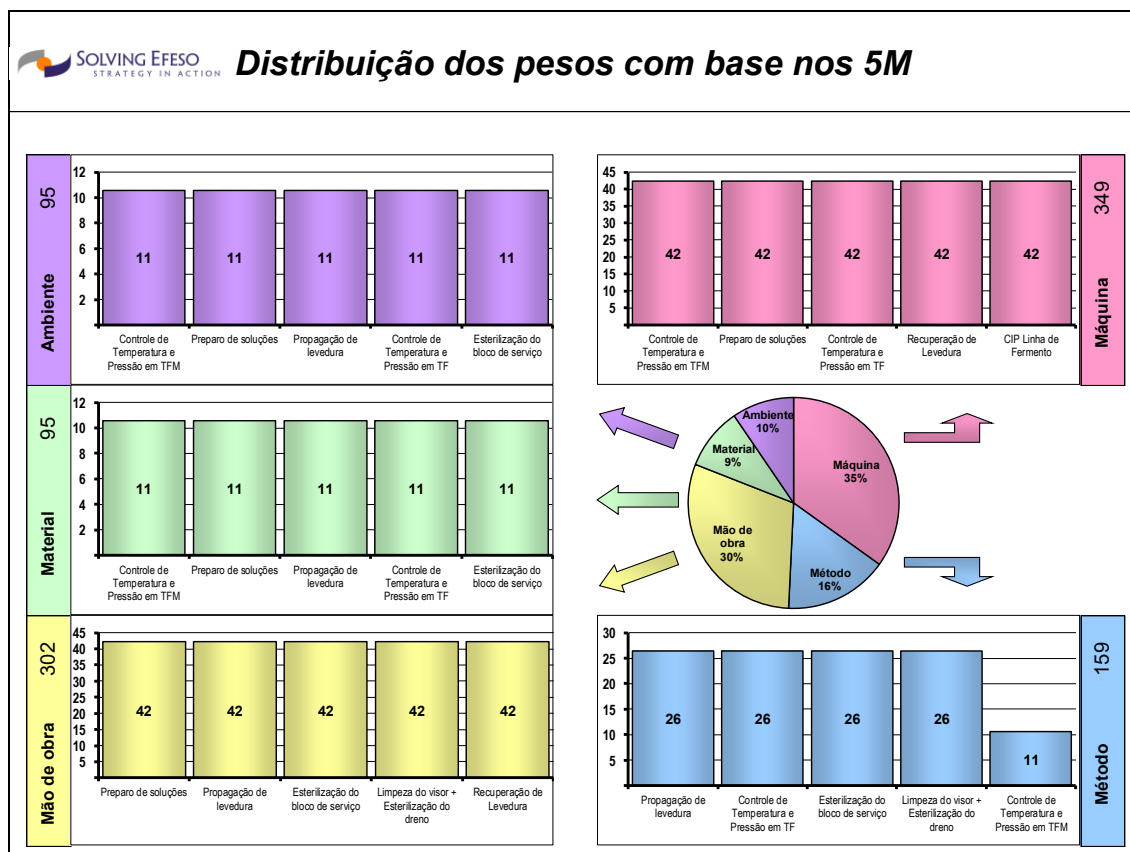
Fonte: Material interno da empresa (2024)

Com base na avaliação dos dados apresentados no Gráfico 8, verifica-se que a matriz QA indicou uma predominância de falhas operacionais associadas ao maquinário utilizado na área de fermentação, com destaque para o procedimento de limpeza CIP (Cleaning in Place) das linhas de fermento. Este modo de falha figura como um dos mais críticos, uma vez que o CIP é responsável por garantir a higienização interna de tubulações e tanques sem a necessidade de desmontagem, sendo um dos pilares para assegurar a estabilidade microbiológica do processo produtivo na indústria de alimentos e bebidas. Quando executado fora dos padrões estabelecidos, esse procedimento pode apresentar falhas que comprometem a eliminação eficaz de resíduos orgânicos, possibilitando a sobrevivência e a multiplicação de microrganismos contaminantes — cenário que representa sérios riscos à qualidade do produto acabado e à segurança da cadeia de produção (FRANCO; LANDGRAF, 2008).

Além disso, merece atenção o fato de que o preparo das soluções de limpeza também se destaca entre os principais modos de falha, tendo em vista seu impacto direto na efetividade do próprio CIP. Soluções mal preparadas, com concentrações inadequadas de detergentes ou sanitizantes, interferem no desempenho da sanitização, tornando o processo ineficaz mesmo que executado conforme o protocolo técnico. Essa falha operacional, muitas vezes associada a falhas na calibração de bombas dosadoras e condutivímetros, compromete os resultados esperados do CIP e reforça a necessidade de ações de restauração das condições básicas do sistema e entendimento do motivo de falha também nas inspeções *cilt* realizadas pela equipe de técnicos da área.

Dessa forma, a análise evidencia a importância de direcionar os esforços iniciais do plano de ação para a reestruturação dos parâmetros técnicos e operacionais relacionados ao CIP, garantindo não apenas a padronização das etapas de limpeza, mas também a qualificação dos insumos utilizados. A seguir, será aprofundado o entendimento sobre o princípio de funcionamento do sistema CIP, etapa fundamental para promover uma abordagem mais eficiente na mitigação dessas falhas.

Gráfico 8 – Distribuição dos pesos das falhas com base nos 5M



Fonte: Material interno da empresa (2024)

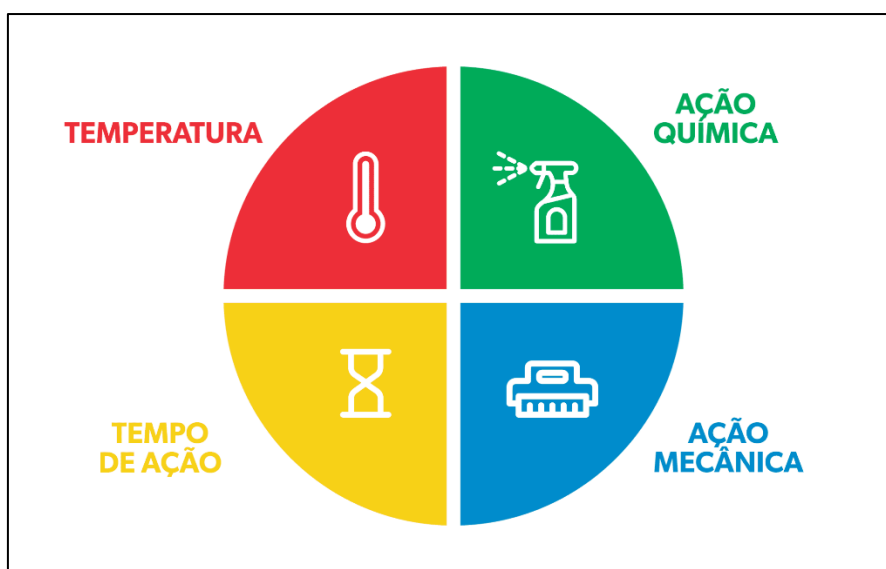
4.4.1.5. Entendimento do princípio de funcionamento do método CIP

O método de sanitização CIP (Cleaning in Place), ou limpeza no local, é amplamente utilizado na indústria de alimentos e bebidas por permitir a higienização de equipamentos e tubulações sem a necessidade de desmontagem do sistema produtivo. Esse método promove eficiência operacional ao reduzir o tempo de parada dos processos, ao mesmo tempo em que assegura a eliminação de resíduos e microrganismos que possam comprometer a segurança e a qualidade do produto final.

O CIP é geralmente composto por etapas sequenciais de enxágue inicial, limpeza alcalina (para remoção de resíduos orgânicos), enxágue intermediário, limpeza ácida (para eliminação de resíduos inorgânicos, como incrustações), enxágue final com água potável e, quando necessário, sanitização com produtos químicos ou térmicos. Essas etapas são conduzidas de forma automatizada ou semiautomatizada, garantindo a padronização do processo, o que é essencial em ambientes que exigem elevado controle higiênico-sanitário, como a produção de cerveja, laticínios e sucos.

A eficácia do método CIP está diretamente relacionada à aplicação dos princípios do Ciclo de Sinner, que estabelece quatro variáveis interdependentes para a eficiência do processo de limpeza: ação mecânica, ação química, temperatura e tempo. A manipulação equilibrada desses fatores é fundamental para remover biofilmes, sujidades e cargas microbianas presentes nas superfícies em contato com os alimentos. Por exemplo, uma redução na ação mecânica (como o fluxo turbulento do líquido de limpeza) pode ser compensada por um aumento na temperatura ou na concentração dos agentes químicos. Assim, o conhecimento e controle dessas variáveis permite ajustar o processo às características específicas do equipamento e do resíduo a ser removido (FRAZÃO et al., 2021).

Figura 4 – Ilustração do ciclo de Sinner



Fonte: Retirado do portal INDEBA (2021)

Além disso, a empresa em questão possui procedimentos operacionais rigorosos quanto a execução rotineira do CIP e suas etapas que estão descritas abaixo.

- **Despressurização e eliminação do CO₂:** quando aplicável, tem como objetivo eliminar o CO₂ remanescente no equipamento, evitando com isto reação com soda e consequente risco de implosão do tanque. É recomendada a abertura do cone do tanque quando a operação é feita manualmente.
- **Pré-enxágue:** efetuado com água recuperada ou água industrial para a eliminação de sujidades sólidas grosseiras como “*trub*”, restos de levedura etc., e

eliminação do CO₂ remanescente no tanque. Não enxaguar com água recuperada após um enxague com água industrial.

- Limpeza cáustica: efetuada com a circulação ou shot cáustico de detergente alcalino para remoção das sujidades orgânicas aderidas às paredes do equipamento.
- Enxague intermediário: com circulação de água industrial limpa, para remover o residual de soda existente. Nesta etapa, é separada a água recuperada.
- Limpeza ácida: com circulação de solução de detergente inorgânico, para remoção de incrustações inorgânicas.
- Enxague intermediário: efetuado com circulação de água industrial limpa, para remoção do residual de ácido existente.
- Desinfecção: efetuada por meio de um agente desinfetante, para eliminação dos microrganismos restantes nas superfícies internas do sistema/equipamento.
- Enxague final: efetuado com circulação de água industrial para a remoção de todo o residual de desinfetante.
- Entre cada enxague e antes de nova utilização do equipamento, medir ausência do produto de limpeza utilizado (controle de isenção) conforme a política de segurança alimentar da empresa. Quando não for possível controlar a isenção devido a alterações no pH, controlar o resultado do enxague pelo aspecto e aroma da água. Não é permitido colocar produto em um equipamento que não tenha sido enxaguado e apresentado ausência de produto químico no controle de isenção.
- Tempos, temperaturas, volumes de soluções e concentrações devem ser adequados ao processo específico e dimensionados, para que se alcancem os objetivos de sanitização pretendidos. Equipamentos diferenciados devem ser avaliados quanto à compatibilidade com soluções de limpeza que serão aplicadas.
- Alguns produtos podem acumular dupla função, substituindo, por exemplo, o conjunto ácido-desinfetante ou soda-desinfetante. - Fases da rotina podem ser eliminadas ou ter sua frequência modificada, dependendo do tipo de sujidade que ocorre no equipamento e da obtenção dos resultados desejados.
- A eliminação total de filmes de material orgânico e de resíduos de pedra de cerveja nas paredes dos equipamentos são os objetivos principais da aplicação de detergentes.
- Atividades como intermitência do jato de produto etc. podem ser incluídas nas rotinas, visando a aumentar o efeito da ação mecânica da solução durante o seu uso. - O uso de soluções a quente deve ser condicionado às características dos equipamentos,

como, por exemplo, tanques com solução alcoólica nas camisas não podem ser enxaguados com soluções quentes.

A aplicação inadequada de qualquer um dos elementos do ciclo pode comprometer a sanitização e acarretar riscos como a recontaminação cruzada, alterações microbiológicas indesejadas no produto, ou mesmo impactos na durabilidade do equipamento devido à corrosão química. Portanto, a correta execução do CIP é um pilar da segurança de alimentos e da qualidade na indústria, refletindo diretamente nos indicadores de desempenho microbiológico e nos índices de conformidade dos produtos acabados.

4.4.1.6. Entendimento dos princípios de *cilt* na manutenção autônoma

Dentro da filosofia TPM, a manutenção autônoma representa um dos pilares fundamentais para garantir a confiabilidade operacional dos equipamentos a partir do envolvimento direto dos operadores nas atividades básicas de conservação e prevenção. Essa abordagem visa o desenvolvimento do senso de propriedade, promovendo a responsabilização da equipe produtiva pela condição dos ativos sob seu controle. Um dos principais instrumentos que dão suporte a essa prática é o CILT – sigla para limpeza, inspeção, lubrificação e aperto –, que estrutura as tarefas essenciais para manter as condições básicas de operação das máquinas.

A padronização das atividades de CILT permite a identificação precoce de anomalias, evita falhas decorrentes da degradação de componentes e contribui para a extensão da vida útil dos equipamentos. Segundo o manual da equipe de manutenção autônoma interno da empresa, o CILT deve ser implementado com critérios visuais bem definidos, frequência adequada e responsabilidade clara entre operadores e técnicos, possibilitando a redução do tempo de execução das tarefas e promovendo melhorias tangíveis no desempenho produtivo. Essa sistemática favorece, ainda, o fortalecimento de uma cultura de melhoria contínua, reduzindo perdas e reforçando a estabilidade do processo industrial.

4.4.2. Etapa “Do”

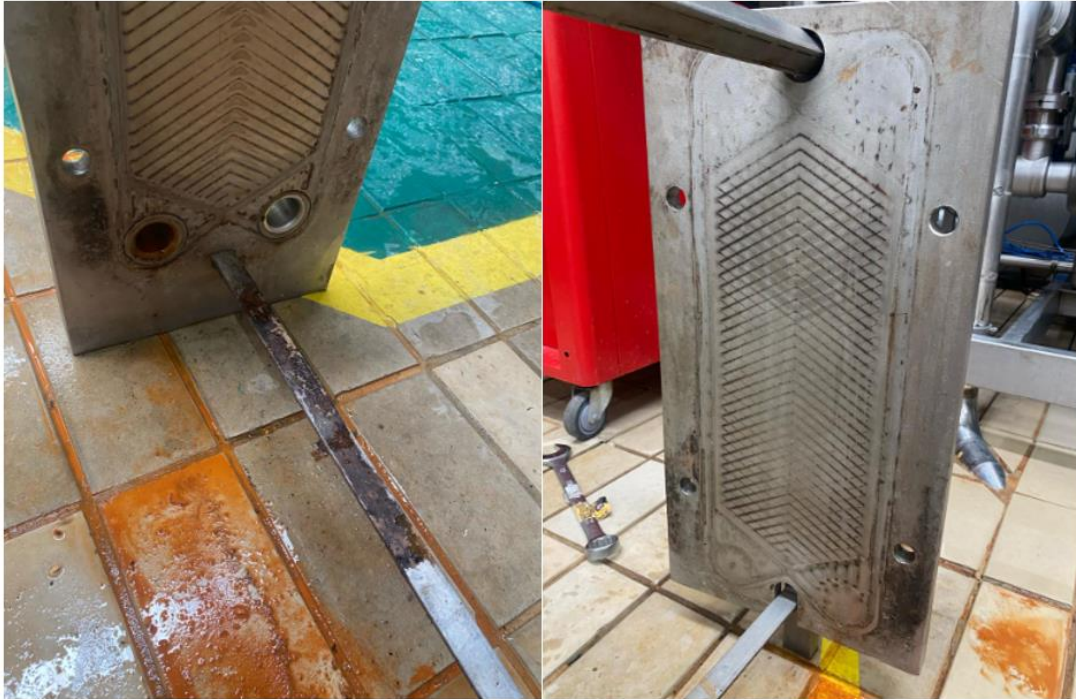
4.4.2.1. Restauração das condições básicas

Após a definição dos modos de falha através da matriz QA e interpretação dos resultados, a equipe de melhoria foi para campo realizar as inspeções visuais nos

componentes que tratam diretamente do preparo de soluções e do CIP na linha de fermento.

Na linha de fermento, o resfriador foi retirado e desmontado para que a avaliação interna fosse realizada. Abaixo é possível verificar alguns registros das condições em que o trocador de calor estava apresentando.

Figura 5 – Blocos fixos do trocador de calor após abertura para limpeza



Fonte: registro fotográfico feito pela equipe de melhoria (2024)

Figura 6 – Placas retiradas do trocador de calor após abertura do equipamento



Fonte: registro fotográfico feito pela equipe de melhoria (2024)

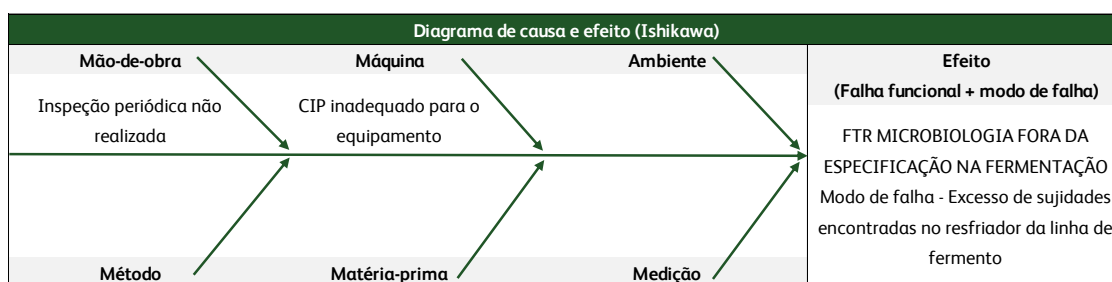
Após a desmontagem e inspeção criteriosa dos componentes do sistema de resfriamento, foram identificadas a presença de detritos e formação de biofilmes em diversas placas e conexões do equipamento. Diante desses achados, todas as peças afetadas foram submetidas a um processo rigoroso de limpeza química, seguido por um protocolo de esterilização, com o objetivo de eliminar completamente os contaminantes residuais e garantir a integridade microbiológica do sistema antes de seu retorno à operação. Essa etapa foi essencial para restaurar as condições sanitárias adequadas do equipamento, prevenindo possíveis fontes de contaminação cruzada nos ciclos subsequentes de produção.

Adicionalmente, a validação de campo teve como finalidade verificar o desempenho das estações de CIP, com foco especial na conformidade operacional dos condutímetro, assegurando que os parâmetros definidos para as soluções químicas fossem devidamente atendidos. Durante essa verificação, os equipamentos que apresentaram impossibilidade de ajuste ou desvio significativo em relação aos padrões estabelecidos foram prontamente substituídos, a fim de garantir a eficácia do processo de limpeza e manter os níveis exigidos de controle sanitário.

4.4.2.2. Análise de causa raiz

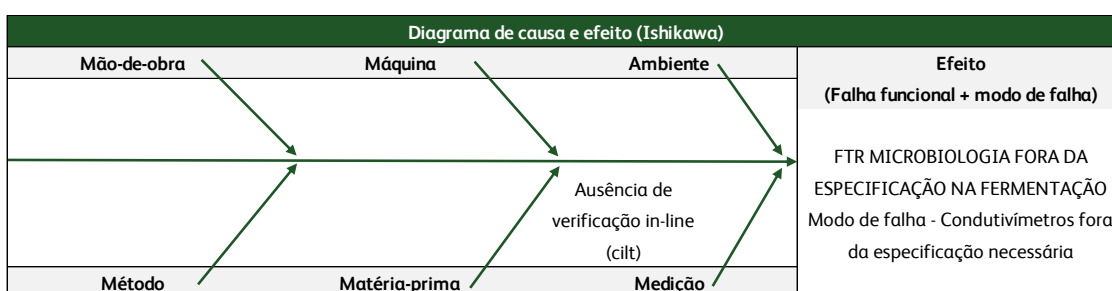
A partir da validação através da matriz QA que resultou nas falhas de maior impacto crônico relacionadas às sujidades encontradas no trocador de calor da linha de fermento e preparo de soluções, foi conduzida uma investigação aprofundada da causa raiz com o auxílio das metodologias do diagrama de causa e efeito, também conhecido como Diagrama de Ishikawa, e da técnica dos 5 Porquês. Essa abordagem permitiu a identificação estruturada e lógica dos fatores que contribuíram para a ocorrência do problema, possibilitando uma compreensão mais clara de suas origens e servindo como base para o direcionamento de ações corretivas eficazes. A utilização combinada dessas ferramentas visa não apenas solucionar a falha identificada, mas também prevenir sua reincidência por meio da eliminação de suas causas fundamentais.

Figura 7 – Diagrama de Ishikawa referente ao trocador de calor



Fonte: elaborado pela equipe de melhoria (2024)

Figura 8 – Diagrama de Ishikawa referente aos condutivímetros



Fonte: elaborado pela equipe de melhoria (2024)

Conforme demonstrado na figura a seguir, as análises dos 5 Porquês foram desenvolvidas a partir dos Diagramas de Ishikawa, possibilitando a identificação estruturada das causas mais relevantes para o problema em questão. A partir dessa abordagem, três causas principais foram validadas, das quais duas apresentaram vínculo direto com falhas nas rotinas de inspeção CILT conduzidas pela equipe da área. No

primeiro caso, foi identificado que a unidade fabril não dispõe de equipamentos específicos que possibilitem a verificação física do trocador de calor sem a necessidade de desmontagem, o que, na prática, inviabiliza sua inspeção frequente devido à complexidade operacional envolvida. No segundo ponto crítico, verificou-se que os condutivímetros – instrumentos fundamentais para o controle automatizado da dosagem de soluções químicas – não estavam plenamente integrados às rotinas de inspeção e manutenção preventiva, comprometendo a eficácia do processo. Adicionalmente, constatou-se que o resfriador da linha de fermento não estava devidamente incluído na lógica automatizada do CIP, ocasionando uma vazão inferior à esperada durante a circulação dos aditivos químicos. Essa deficiência comprometeu significativamente a efetividade do ciclo de Sinner, ao reduzir a ação dos agentes de limpeza e, conseqüentemente, a higienização adequada do sistema.

Figura 9 – Análise dos 5 Porquês realizada para os modos de falha estabelecidos

Análise de 5 Porquês das possíveis causas identificadas e priorizadas (E - Evidência: Escrever "S" se o problema foi evidenciado ou "N" se o problema não foi evidenciado)												
Nº	Possível causa	1º Porquê	E	2º Porquê	E	3º Porquê	E	4º Porquê	E	5º Porquê	E	6M
1	CIP inadequado para o resfriador	Falta de fluxo de CIP no trocador	S	A bomba de avanço de CIP desligava durante a limpeza do trocador	S	A lógica programada do CIP automatizado não estava incluindo o trocador no cálculo de vazão	S					Máquina
2	Inspeção periódica não realizada	Falta de plano de inspeção periódico	S	A abertura do equipamento rotineiramente leva muito tempo	S	Não temos equipamento disponível para inspeção interna	S					Máquina
3	Ausência de verificação in-line no cilt	Inspeção CILT nos equipamentos não realizada	S									Mão-de-obra

Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.4.2.3. Implementação das contramedidas

Com a análise realizada e as causas identificadas, as ações de contramedida foram estabelecidas a fim de mitigar qualquer ocorrência envolvendo os mesmos modos de falha. A tabela 6 esboça as ações implementadas por sub-área informando também qual deverá ser a periodicidade de aplicação.

Tabela 6 – Ações de contramedida implementadas para as causas definidas

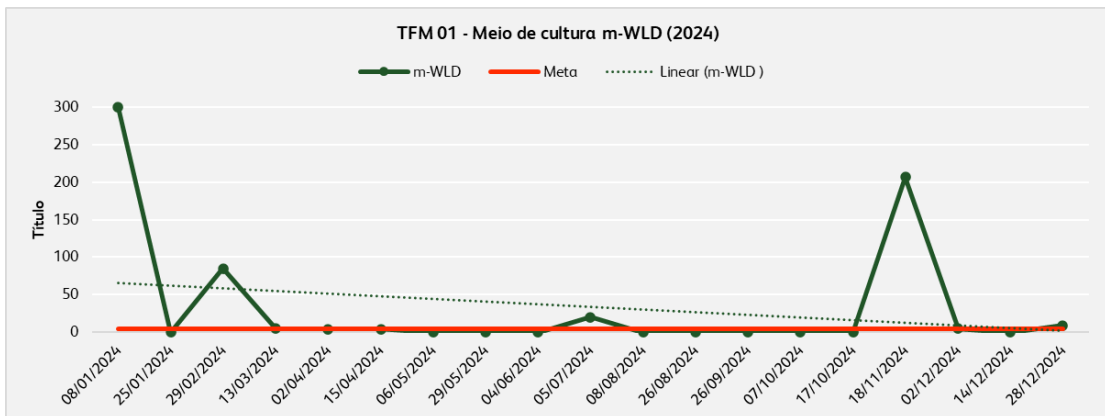
Contramedidas implementadas	
Subárea	Detalhamento da ação
Resfriador da linha de fermento	Inspeção quinzenal por videoscopia para inspecionar os ciclos de CIP realizados, não sendo necessário abrir o equipamento.
Resfriador da linha de fermento	Reajuste da lógica de programação do supervisório de CIP da linha, aumentando a vazão volumétrica de 11,4hL/hora para 223,3 hL/hora
Resfriador da linha de fermento	Inspeção CILT para validação e verificação de vazamentos que possam impactar a limpeza
Bombas dosadoras de químicos	Ajustar o plano de CILT para incluir a validação/calibração dos condutivímetros das estações CIP
Bombas dosadoras de químicos	Treinamento da equipe operacional completa sobre a calibração dos condutivímetros

Fonte: Elaborado pela equipe de melhoria (2024)

4.4.3. Etapa “Check”

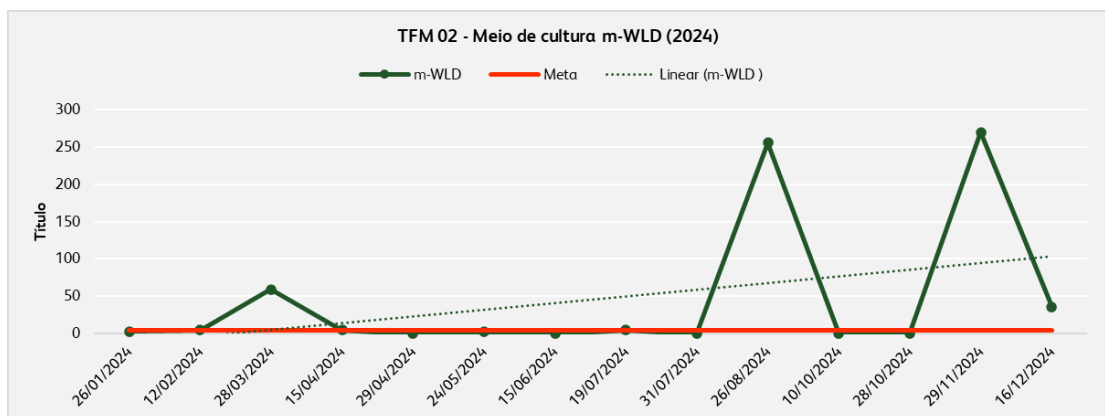
Após a restauração de condições básicas e também aplicação das ações de mitigação na linha de CIP de fermento e nos condutivímetros de dosagem, o KPI FTR microbiologia (fermentação) passou a alcançar resultados muito relevantes. Abaixo segue o detalhamento dos resultados microbiológicos obtidos ao longo de 2024 para os TFM 01 e 02, além da tendência desses valores.

Gráfico 9 – Resultados de microbiologia do TFM 01 ao longo de 2024 no meio WLD



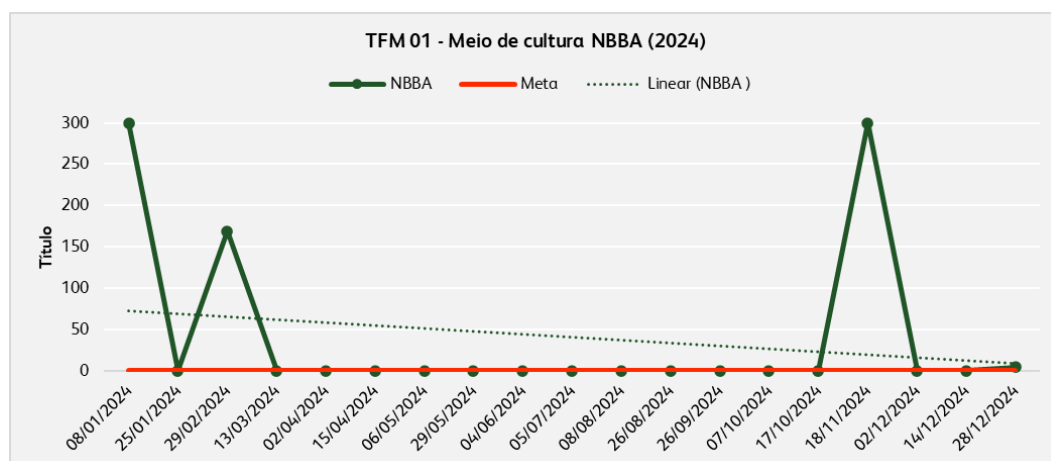
Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 10 – Resultados de microbiologia do TFM 02 ao longo de 2024 no meio WLD



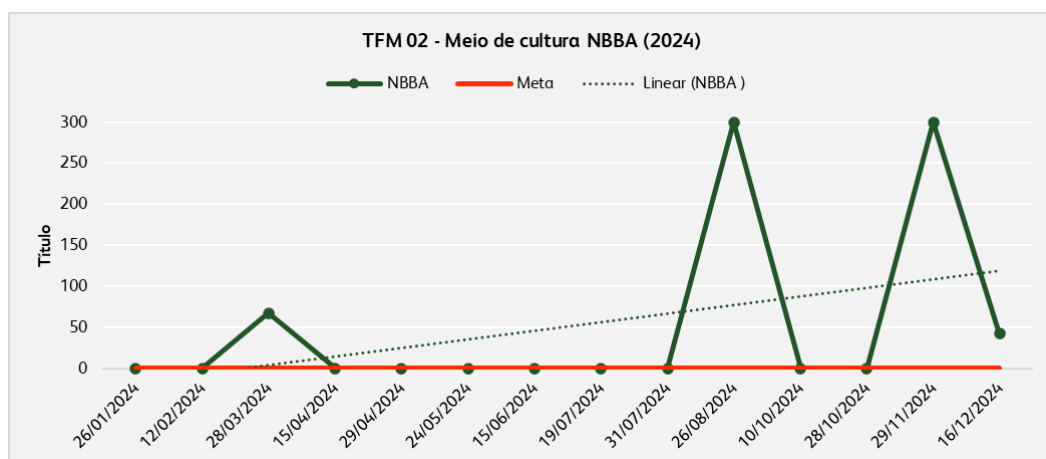
Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 11 – Resultados de microbiologia o TFM 01 ao longo de 2024 no meio NBBA



Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Gráfico 12 – Resultados de microbiologia do TFM 02 ao longo de 2024 no meio NBBA



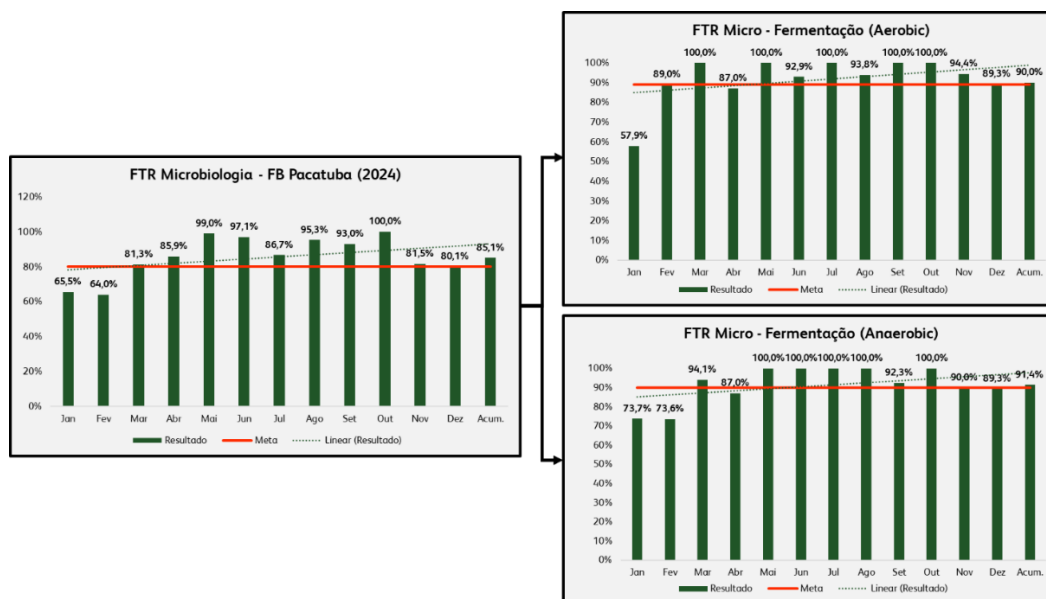
Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Considerando que a equipe de melhoria foi fechada na segunda quinzena de março/24, após a implementação das ações foram observados apenas dois desvios do TFM 01 em meio m-WLD e um desvio em meio NBBA, o que demonstra que as contramedidas tiveram impacto positivo na mitigação da contaminação por microrganismos indesejados, onde em seis meses após o fechamento do time não foram observadas contaminações fora dos parâmetros dentro do tanque, e a linha de tendência foi de queda durante os nove meses posteriores.

Para o TFM 02, ainda foram observadas tendências de crescimento microbiológico em ambos os meios de cultura, especialmente em função de dois resultados significativamente acima da faixa aceitável de contaminação registrados no segundo semestre. Apesar disso, é possível notar que as ações de melhoria implementadas também geraram efeitos positivos nesse equipamento. Isso se confirma pelo fato de que, nos cinco meses subsequentes ao encerramento das atividades da equipe de melhoria, não foram identificados novos episódios de crescimento microbiológico fora dos padrões estabelecidos nas amostras analisadas. Esse cenário evidencia o impacto relevante das medidas corretivas adotadas, ao mesmo tempo em que reforça a necessidade de manter uma cultura organizacional voltada à disciplina operacional e ao controle contínuo dos processos. Mesmo diante de avanços consistentes, a prevenção de contaminações exige vigilância constante, com revisões periódicas, análises criteriosas e novas ações corretivas sempre que forem identificados desvios pontuais.

Dito isto, como o indicador de FTR microbiologia leva em consideração a junção dos resultados obtidos nos tanques TFM e que na planta da cervejaria existem outros dez tanques que tiveram os mesmos planos de ação do TFM 01 e 02, foi observado um crescimento notável no indicador aplicado a fermentação e a maturação, conforme o gráfico abaixo ilustra.

Gráfico 13 – Desdobramento dos resultados de FTR microbiologia na fermentação de 2024



Fonte: Elaborado pelo autor (2025)

4.4.4. Etapa “Act”

4.4.4.1. Preenchimento da matriz QX para avaliação dos parâmetros de processo

Como parte das iniciativas voltadas à melhoria contínua, foi desenvolvida pela equipe uma Matriz QX direcionada ao controle da contaminação microbiológica no processo produtivo. Essa matriz foi construída com base em uma análise criteriosa de todas as etapas do processo que podem contribuir para a ocorrência desse tipo de não conformidade. A ilustração a seguir apresenta a estrutura da matriz, elaborada com foco específico nas fases de fermentação e maturação da cerveja, por se tratar de estágios críticos para a integridade microbiológica do produto acabado.

detalhada da relevância estratégica de cada item e de seu possível impacto sobre o desempenho global do processo. Dessa maneira, os pontos Q foram selecionados como referências essenciais para o monitoramento e a gestão eficaz dos riscos associados à contaminação microbiana.

Dito isto, foram definidos dois pontos Q no processo: a realização do CIP do trocador de calor da linha de fermento e a esterilização do dreno dos TFM. Esses dois pontos estão ilustrados na tabela abaixo, dado que foram consideradas etapas críticas para a plena funcionalidade da fermentação de cerveja.

Tabela 8 – Pontos Q definidos na fermentação

Machine parameters	Especificação	Pontos Q
A esterilização do dreno do TFM deve acontecer antes da recolha do fermento e após cjp da linha de levedura	Temperatura da água quente deve ser acima de 80°C garantir vazão acima de 650hl e passar por 10 minutos	Q
Durante o cjp o fluxo de soda deve preencher toda a tubulação, além de obedecer todos os parâmetros definidos no ciclo de Sinner e também na política de sanitização	Vazão deve ser maior que 230hl/h	Q

Fonte: material interno da empresa (2024)

4.4.4.2. Elaboração da matriz QM para validação dos parâmetros de manutenção

Foi realizada uma avaliação fundamentada nas cinco condições essenciais para alcançar o objetivo de zero defeitos. Essa avaliação consistiu na aplicação de cinco questionamentos específicos que consideraram aspectos como visibilidade, variabilidade, estabilidade, acionamento e restauração. Cada uma dessas dimensões foi analisada em relação aos quatro fatores principais do processo produtivo: máquina, mão de obra, material e método. A análise foi aplicada a cada parâmetro técnico previamente definido na Matriz QX, conforme será apresentado adiante. As perguntas realizadas para cada parâmetro podem ser conferidas nas tabelas 9, 10, 11 e 12.

Tabela 9 – Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (máquina)

5 CONDIÇÕES PARA ZERO DEFEITOS - MAQUINÁRIO		
A condição está limpa e visível?	1	Existe um intervalo de especificação fixo definido
	3	Existe um método fácil de controle
	5	Visibilidade imediata em qualquer momento
A condição é fácil de ser regulada?	1	Dificuldade de regulagem, medição manual
	3	Fácil de regular, posição fixa
	5	Pré-definida, set up automático para cada tipo de produto
A condição é variável?	1	Durante produção normal varia em menos de 1 turno
	3	Muda a cada set up
	5	Excepcionalmente
A variação de condição é visível?	1	Baixa probabilidade de ser percebida
	3	O sistema de inspeção periódica tem mais de 90% de probabilidade de ocorrer um desvio
	5	Um monitoramento contínuo assegura um alerta imediato
A condição é fácil de ser restabelecida?	1	Dificuldade, quase um trabalho artístico
	3	Fácil, quando o operador é qualificado
	5	Regulagem automática

Fonte: material interno da empresa (2024)

Tabela 10 – Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (material)

5 CONDIÇÕES PARA ZERO DEFEITOS - MATERIAL		
As especificações dos materiais são claramente definidas e visíveis?	1	Foi definido um intervalo de especificação fixo. O não seguimento das especificações impacta no desempenho qualitativo
	3	Existe um método de controle simples
	5	Visibilidade imediata em qualquer momento (registro de controle visível)
É fácil produzir material conforme as especificações?	1	Cpk muito baixo, muitos problemas relacionados com os fornecedores
	3	$1 < Cpk < 1.33$, problemas esporádicos
	5	Fornecedores certificados, $Cpk > 1.33$
O material de entrada está variando fora dos intervalos de especificação?	1	Durante a produção normal varia em cada turno
	3	A característica varia a cada mudança de lote
	5	As não conformidades dos materiais são menos de PPM
A variação das especificações é fácil de ser identificada?	1	Nenhuma detecção antes da primeira elaboração
	3	Controle na entrada detecta mais de 90% dos defeitos
	5	Sim, existe um sistema Poka Yoke no local para evitar o uso de material defeituoso
É fácil de restabelecer uma característica do material correta?	1	Não, o material que chega deve ser descartado
	3	Aplica-se contramedidas padrões para compensar a anomalia (ajuste do processo, super controle, etc)
	5	Um processo robusto compensa a anomalia do material

Fonte: material interno da empresa (2024)

Tabela 11 – Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (material)

5 CONDIÇÕES PARA ZERO DEFEITOS - MÉTODO		
O método é claramente definido?	1	O grau de liberdade é definido, as conseqüências sobre o desempenho qualitativo são claras
	3	Poucas LUPs, fotos, desenhos de suporte ao SOP
	5	Gestão visual e/ou explicação Audio/Vídeo utilizável facilmente também em caso de produtos diversos
É fácil de aprender?	1	Documentação não clara para uma pessoa não especialista: as competências não são bem especificadas
	3	LUPs, fotos, desenhos de suporte ao SOP, são parte de um pacote de treinamento
	5	Em menos de 50 dias a pessoa interessada se transforma em um especialista
É facilmente repetível e reproduzível?	1	Alto grau de liberdade / fácil cometer erros / desvio do tempo de ciclo definido
	3	O tempo de ciclo é facilmente respeitado, mas ainda existe um certo grau de liberdade que poderia gerar defeitos
	5	Um sistema Poka Yoke evita erros
É eficaz?	1	Não garante uma taxa de produção
	3	Taxa positiva mas não previsível
	5	Taxa de produção garantida
É fácil de restabelecer?	1	Analisar as anomalias posteriores
	3	A individualização dos problemas é guiada por instruções específicas
	5	Check list de prevenção

Fonte: material interno da empresa (2024)

Tabela 12 – Perguntas da análise 5 condições para zero defeitos (mão de obra)

5 CONDIÇÕES PARA ZERO DEFEITOS - MÃO DE OBRA		
As competências necessárias estão bem definidas?	1	Definidas somente as competências principais
	3	As competências são detalhadas apropriadamente
	5	As competências necessárias são fáceis de serem aprendidas
Formação	1	Somente poucas pessoas são treinadas
	3	Todos são treinados porém ainda existe uma lacuna para preencher
	5	Todos são completamente treinados
Estabilidade de aplicação	1	Falta de interesse – Muitos desvios
	3	Senso de responsabilidade – Desvios esporádicos
	5	Motivação à perfeição – Nenhum desvio
Sistema de detecção de desvios	1	A maior parte dos desvios não serão detectados
	3	A aplicação do método é verificado sistematicamente
	5	Todos os desvios são detectados e analisados
Sistema para recuperar	1	Os desvios são comentados somente com os interessados
	3	O plano de formação é atualizado mensalmente para preencher as lacunas
	5	Procedimento de repetição da formação em tempo real para restaurar o nível de competência exigido

Fonte: material interno da empresa (2024)

Com base nessa metodologia, estabelece-se uma correlação entre cada resposta obtida e a respectiva pontuação atribuída, que pode assumir os valores de 1, 3 ou 5. Todos os parâmetros da máquina devem ser analisados individualmente, somando-se os valores das respostas para determinar o nível de prioridade. Resultados mais baixos indicam maior criticidade e, portanto, a necessidade imediata de intervenção no parâmetro em questão. A tabela 13 apresenta as faixas de pontuação associadas e as ações sugeridas conforme o total obtido na avaliação.

Tabela 13 – Faixa de pontuação para as 5 condições para zero defeitos

Avaliação	Pontuação
Padrões precisam de melhorias urgentes	5-14
Bom nível de padronização, mas boa chance de melhorias futuras	15-19
Excelente nível de padrões, importante manter o nível	20-25

Fonte: material interno da empresa (2024)

Com base nesses dados, a tabela 14 foi devidamente preenchida com as informações essenciais para a validação do processo.

Tabela 14 – Preenchimento da matriz QM para validação das condições para zero defeitos

4 Machine parameters		Contaminação microbiológica na recolha do fermento	MÁQUINA					MÉTODO					MÃO DE OBRA					MATÉRIA PRIMA									
			Condições ótimas?	Fácil de implementar?	Valor é variável?	Variabilidade é visível?	Fácil de restaurar?	Total	O método existe?	O método garante o nível de qualidade desejado?	O método garante o índice de produção desejado?	Os procedimentos/países são bem documentados?	O aprendizado é simples?	Total	Quais são as habilidades da Mão de Obra?	Existem habilidades de gerenciamento?	Aplicado?	Ocorrem erros humanos durante o processo?	Existem melhorias?	Total	As características de Qualidade do material são claras?	A capacidade do fornecedor é suficiente?	Existe inspeção de recebimento definida?	É possível evitar o uso ou correção de material defeituoso?	É possível recuperar quando um material de retorno entra no processo?	Total	
Deve ser realizado a limpeza com água, sabão e álcool	Antes de iniciar a recolha		3	3	3	3	3	15	5	5	3	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21
Deve ser realizado a limpeza com água sabão e álcool nas vedações de alinhamento, as vedações devem ser sem bordas e de material asséptico	Antes de partir o cip da linha		1	3	3	1	3	11	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21	
Deve ser realizado a limpeza com água sabão e álcool nas vedações de alinhamento, as vedações devem ser sem bordas e de material asséptico	Antes de partir o cip da linha		1	3	3	1	3	11	5	5	3	1	3	17	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21	
Deve ser realizado a limpeza com água sabão e álcool nas vedações de alinhamento	Antes de partir o cip da linha		3	3	3	3	3	15	5	5	3	1	3	17	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21	
Realizar o levantamento do balacinho manualmente	deve estar em 0,5 bar		5	3	5	5	3	21	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	3	3	5	3	1	15	
O septo deve ser conservado em álcool 70% realizar a troca a cada cip	a cada CIP		3	3	5	1	3	15	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21	
Durante o Cip da linha a torneira de prova deve ficar gotejando para a limpeza da mesma. Trocador de calor deve realizar pulsos no by pass durante o cip da linha, sensores não podem estar ignorados	concentração soda: 2,5 a 3,0 Temperatura: acima de 80°C		1	1	5	3	3	13	5	5	3	1	3	17	3	3	1	1	1	9	5	5	5	3	3	21	
Deve se manter uma contra pressão do TFM	0,8 bar		5	3	3	5	3	19	5	5	3	1	3	17	3	3	1	1	1	9	3	3	5	3	3	17	
Barrar a válvula manualmente da linha	antes da recuperação e depois do CIP		3	3	3	3	3	15	5	5	5	1	5	21	3	1	1	1	1	7	3	3	5	3	3	17	
Selo não pode apresentar vazamentos de fluidos	a cada CIP		3	5	5	3	1	17	5	5	3	1	5	19	5	1	3	3	1	13	3	3	5	3	3	17	
Durante o cip o fluxo de soda deve preencher toda a tubulação, além de obedecer todos os parâmetros definidos no ciclo de Sinner e também na política de sanitização	Vazão deve ser maior que 230hl/h		3	3	1	1	3	11	5	5	3	3	5	21	5	3	3	1	3	15	5	5	5	3	3	21	
A esterilização do dreno do TFM deve acontecer antes da recolha do fermento e após cip da linha de levedura	Temperatura da água quente deve ser acima de 80°C garantir vazão acima de 650hl e passar por 10 minutos		1	3	3	3	1	11	5	5	3	3	3	19	3	3	3	3	3	15	5	5	5	3	3	21	

Fonte: material interno da empresa (2024)

Conforme já havia sido previamente validado ao longo do estudo, os parâmetros destacados como pontos Q apresentaram pontuações reduzidas, o que reforça a relevância das ações de melhoria anteriormente implementadas e discutidas. Essa baixa pontuação evidencia que tais pontos críticos ainda demandam atenção contínua e intervenções direcionadas para garantir a estabilidade do processo. No entanto, durante a nova análise conduzida a partir das condições para zero defeitos, outros parâmetros que não haviam sido identificados nas etapas anteriores também apresentaram resultados insatisfatórios. Isso indica a necessidade de expansão do escopo das contramedidas já adotadas, a fim de contemplar essas novas fragilidades do processo. Na tabela 15 é possível visualizar o plano de ação detalhado para os pontos críticos mapeados, visando mitigar falhas operacionais e assegurar maior robustez às rotinas produtivas.

Tabela 15 – Plano de ação proveniente das 5 condições para zero defeitos

Plano de ação	
Parâmetro	Contramedida estabelecida
A limpeza dos cones deve ser feita com água, sabão e álcool nas vedações de alinhamento, as vedações devem ser sem bordas e de material asséptico	Substituir e padronizar os cones dos tanques semelhante aos BBTs
A limpeza das vedações deve ser feita com água, sabão e álcool nas vedações de alinhamento, seu material deve ser sem bordas e de material asséptico	Garantir o cumprimento de MRP para compra das vedações.
Durante o Cip da linha a torneira de prova deve ficar gotejando para a limpeza da mesma. O trocador de calor deve realizar pulsos no by pass durante o cip da linha, sensores não podem estar ignorados	Ajustar o transmissor de pressão para ajustar automaticamente o parâmetro para 0.8 Bar
Deve se manter uma contra pressão do TFM	Inserir alarme no transmissor de pressão para soar quando a pressão estiver abaixo de 1 Bar
Barrar a válvula manualmente da linha de fermento	Inserir um sensor de presença da válvula para identificar no supervisório se o manipulo esta barrado
A esterilização do dreno do TFM deve acontecer antes da recolha do fermento e após cip da linha de levedura	Alterar a lógica de programação para incluir a esterilização do braço do TFM na automação de CIP

Fonte: elaborado pelo autor (2025)

Embora os elementos que obtiveram classificação intermediária também exijam intervenções, a abordagem metodológica adotada aponta que tais medidas não requerem execução imediata. A equipe avaliou que, mesmo apresentando oportunidades de aprimoramento, esses pontos não representam ameaças críticas nem comprometem, no momento, a performance ou a qualidade do processo. Dessa forma, definiu-se que as ações voltadas a esses aspectos poderão ser estruturadas e aplicadas em etapas futuras, conforme houver disponibilidade de recursos e adequação de cronograma.

Após a execução das medidas corretivas, foi conduzida uma nova avaliação com base nas cinco condições voltadas à obtenção de zero defeitos, conforme ilustrado na tabela 16. Os parâmetros que passaram por intervenções apresentaram elevação em suas pontuações, sinalizando avanços relevantes em seus níveis de controle e desempenho. Esse progresso evidencia os efeitos positivos das melhorias aplicadas, refletindo diretamente em ganhos de qualidade e maior eficiência nos processos analisados

Tabela 16 – Preenchimento da matriz QM para validação zero defeitos após contramedidas

4 Machine parameters		Contaminação microbiológica na recolha do fermento	MÁQUINA					MÉTODO					MÃO DE OBRA					MATÉRIA PRIMA								
			Condições ótimas?	Fácil de implementar?	Valor é variável?	Varabilidade é visível?	Fácil de restaurar?	Total	O método existe?	O método garante o nível de qualidade desejado?	O método é validado/ testes são bem documentados?	O aprendizado é simples?	Total	Quais são as habilidades da Mão de Obra?	Existem habilidades de gerenciamento?	Aplicação ?	Ocorrem erros humanos durante o processo?	Existe motivação?	Total	As características de Qualidade do material são claras?	A capacidade do fornecedor é suficiente?	Existe inspeção de recebimento definida?	É possível evitar o uso ou carregamento de material defeituoso?	É possível recuperar quando ocorrerem erros no processo?	Total	
			3	3	3	3	3	15	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21
Deve ser realizado a limpeza com água, sabão e álcool	Antes de iniciar a recolha		3	3	3	3	15	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21	
Deve ser realizado a limpeza com água sabão e álcool nas vedações de alinhamento, as vedações devem ser sem bordas e de material asséptico	Antes de partir o cip da linha		3	3	3	5	3	17	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21
Deve ser realizado a limpeza com água sabão e álcool nas vedações de alinhamento, as vedações devem ser sem bordas e de material asséptico	Antes de partir o cip da linha		3	3	3	5	5	19	5	5	3	1	3	17	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21
Deve ser realizado a limpeza com água sabão e álcool nas vedações de alinhamento	Antes de partir o cip da linha		3	3	3	3	3	15	5	5	3	1	3	17	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21
Realizar o levantamento do balacinho manualmente	deve estar em 0,5 bar		5	3	5	5	3	21	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	3	3	5	3	1	15
O septo deve ser conservado em álcool 70% realizar a troca a cada cip	a cada CIP		3	3	5	1	3	15	5	5	3	1	5	19	3	5	3	1	1	13	5	5	5	3	3	21
Durante o Cip da linha a torneira de prova deve ficar gotejando para a limpeza da mesma. Trocador de calor deve realizar pulsos no by pass durante o cip da linha, sensores não podem estar ignorados	concentração soda: 2,5 a 3,0 Temperatura: acima de 80°C		1	1	5	3	3	13	5	5	3	1	3	17	3	3	5	5	3	19	5	5	5	3	3	21
Deve se manter uma contra pressão do TFM	0,8 bar		5	3	3	5	3	19	5	5	3	1	3	17	3	3	3	3	3	17	3	3	5	3	3	17
Barar a válvula manualmente da linha	antes da recuperação e depois do CIP		3	3	3	3	3	15	5	5	5	1	5	21	3	3	5	3	5	19	3	3	5	3	3	17
Selo não pode apresentar vazamentos de fluidos	a cada CIP		3	5	5	3	1	17	5	5	3	1	5	19	5	1	3	3	1	13	3	3	5	3	3	17
Durante o cip o fluxo de soda deve preencher todo a tubulação, além de obedecer todos os parâmetros definidos no ciclo de Simmer e também na política de sanitização	Vazão deve ser maior que 230hl/h		3	5	3	5	5	21	5	5	3	3	5	21	5	3	3	1	3	15	5	5	5	3	3	21
A esterilização do dreno do TFM deve acontecer antes da recolha do fermento e após cip da linha de levedura	Temperatura da água quente deve ser acima de 80°C garantir vazão acima de 650hl e passar por 10 minutos		5	3	5	3	5	21	5	5	3	3	3	19	3	3	3	3	3	15	5	5	5	3	3	21

Fonte: material interno da empresa (2024)

5. DISCUSSÃO

Os resultados do estudo de caso evidenciaram avanços expressivos na redução de falhas por contaminação microbiológica durante a fermentação, validando a aplicação da metodologia TPM integrada ao ciclo PDCA. A evolução do KPI de First Time Right (FTR) de microbiologia confirmou o impacto positivo das ações corretivas adotadas.

O uso de ferramentas da qualidade, como o Gráfico de Pareto, Diagrama de Ishikawa e os 5 Porquês, permitiu identificar como principais causas de falha deficiências nas rotinas de inspeção CILT, falhas no CIP e problemas estruturais, como condutivímetros descalibrados e selos danificados. A correção desses pontos por meio da restauração de condições básicas e contramedidas estruturadas contribuiu para a estabilidade do processo.

As matrizes QX e QM auxiliaram na definição de parâmetros críticos e rotinas padronizadas de controle. Já a matriz das Condições para Zero Defeitos reforçou a necessidade de ações preventivas, mesmo para itens com menor criticidade. Dessa forma, o estudo confirma a eficácia das ferramentas TPM na indústria cervejeira, demonstrando que a integração entre análise de causa, padronização e monitoramento contínuo fortalece a confiabilidade do processo.

Ao comparar os resultados microbiológicos entre 2023 e 2024 nos mesmos períodos, observa-se uma redução significativa no número de unidades formadoras de colônias (UFC). Em 2023, os tanques TFM 01 e TFM 02 registraram 16 amostras fora do parâmetro no meio m-WLD (>5 UFC/ml) e 15 no meio NBBA (>0 UFC/ml). Já em 2024, foram identificadas 5 amostras fora do padrão no meio m-WLD e 4 no NBBA, representando uma redução de aproximadamente 70% e 73%, respectivamente, nos eventos de contaminação.

Com base na evolução dos resultados, fica evidente que as contramedidas implementadas contribuíram de forma decisiva para a melhoria do controle microbiológico no processo. A redução consistente nas falhas demonstra a efetividade das ações adotadas e reforça a importância da padronização operacional e da manutenção das condições básicas como pilares para a excelência contínua na produção.

6. CONCLUSÕES

O presente estudo teve como objetivo mitigar falhas microbiológicas no processo produtivo de uma indústria cervejeira por meio da aplicação da metodologia TPM e de suas ferramentas. A partir do mapeamento de falhas, uso das matrizes QX e QM, e da aplicação de ferramentas como o Diagrama de Ishikawa, os 5 Porquês e o ciclo PDCA, foi possível estruturar um plano de melhoria contínua com foco na estabilidade da fermentação.

Os indicadores microbiológicos apontaram redução significativa de contaminações, validando a eficácia das ações implementadas, especialmente na linha TFM 01. A restauração das condições básicas — como a calibração de condutivímetros, reforço nas rotinas de CILT e a sistematização do CIP — mostrou-se fundamental para o controle do processo.

O estudo reforça a importância do engajamento das equipes, do uso correto dos equipamentos e do controle microbiológico como pilar estratégico. A gestão eficaz de variáveis como temperatura, pressão e sanitização é determinante para garantir a confiabilidade do produto e preservar a imagem da marca.

Por fim, este trabalho oferece uma aplicação prática das ferramentas da qualidade, servindo de base para novas iniciativas na organização e como referência para outras indústrias de alimentos e bebidas que enfrentam desafios similares.

Como desdobramento futuro, recomenda-se a aplicação das ferramentas de qualidade e da abordagem metodológica utilizadas neste estudo também na etapa de filtração e clarificação, fase subsequente à fermentação e maturação, uma vez que essa área apresenta relevância operacional e potencial para ganhos similares em controle e padronização do processo.

REFERÊNCIAS

- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Manual de Boas Práticas de Fabricação para Estabelecimentos Produtores/Industrializadores de Alimentos**. Brasília: MAPA, 2020.
- CROSBY, Philip B. **Qualidade é investimento**. Rio de Janeiro: José Olympio, 1979.
- DEMING, W. Edwards. **Out of the Crisis**. Cambridge: MIT Press, 1982.
- FRANCO, Bernadette Dora Gombossy de Melo; LANDGRAF, Mariza. **Microbiologia dos Alimentos**. 2. ed. São Paulo: Atheneu, 2008.
- ISHIKAWA, Kaoru. **Controle da qualidade total: à maneira japonesa**. 2. ed. São Paulo: IMC, 1993.
- JUNIO, Emerson Luís Lopes et al. **Aplicação da metodologia TPM em indústria de alimentos para análise de perdas e proposta de ações de melhoria**. Brazilian Journal of Development, v. 7, n. 2, p. 14900–14918, 2021.
- MACHADO, Denise E. **Ferramentas da Qualidade: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2012.
- MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. **Fundamentos de metodologia científica**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- OLIVEIRA, Otávio J. de et al. **Gestão da Qualidade: tópicos avançados**. São Paulo: Atlas, 2006.
- PALADINI, Edson Pacheco. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. São Paulo: Atlas, 2012.
- SANTOS, Diego dos; CASAGRANDE, Roselaine. **Ferramentas da qualidade: aplicação e análise**. Revista Científica Multidisciplinar Núcleo do Conhecimento, v. 2, n. 6, p. 115–132, 2021.
- YAMASHINA, Hideaki. **Kaizen em TPM: introdução ao sistema TPM nas empresas japonesas**. Porto Alegre: Bookman, 2000.
- YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2015.
- FUGIMOTO, M. D. **Qualidade total: fundamentos e evolução**. São Paulo: FGV, 2017.
- PALADINI, E. P. et al. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

GROOVER, M. P. *Automação industrial e sistemas de manufatura*. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2011.

SEIXAS, R. et al. **A importância da manutenção produtiva total para a melhoria da eficiência industrial**. *Revista Gestão Industrial*, v. 13, n. 3, p. 126–141, 2017.

ABREU, S. A.; CAMARGO, M. A. **Qualidade e segurança na produção de bebidas: fundamentos e práticas**. São Paulo: Editora Atlas, 2021.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa SDA/MAPA nº 140, de 2024**. Dispõe sobre as normas para bebidas e derivados. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2024a.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Pecuária. **Instrução Normativa nº 37, de 1º de outubro de 2018**. Estabelece os padrões de identidade e qualidade para sucos e polpas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2018.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 429, de 8 de outubro de 2020**. Dispõe sobre a rotulagem nutricional de alimentos embalados. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2020.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 723, de 1º de julho de 2022**. Estabelece requisitos sanitários para ingredientes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2022b.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 724, de 1º de julho de 2022**. Estabelece padrões microbiológicos para alimentos. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2022a.

BRASIL. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. **Resolução RDC nº 725, de 1º de julho de 2022**. Dispõe sobre os aditivos aromatizantes. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2022c.

BRASIL. **Lei nº 8.918, de 14 de julho de 1994**. Dispõe sobre a padronização, classificação, registro, inspeção, produção e fiscalização de bebidas. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 1994.

BRASIL. **Decreto nº 6.871, de 4 de junho de 2009**. Regulamenta a Lei nº 8.918/1994. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 2009.

FAO; WHO. **Codex Alimentarius: General Principles of Food Hygiene**. Rome: FAO/WHO, 2003.

FAO. **Sustainable Food Systems – Guidelines for Reducing Food Loss and Waste**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 2023.

FURLAN, M. P.; SILVA, A. C. **Qualidade de bebidas: aspectos técnicos, sensoriais e legais**. Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2022.

ISO – **International Organization for Standardization. ISO 22000: Food Safety Management Systems — Requirements for Any Organization in the Food Chain**. Geneva: ISO, 2020.

MENDES, J. E. B. S. **Segurança de Alimentos: conceitos e aplicações**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2019.

SILVA JÚNIOR, E. F. et al. **Boas práticas de fabricação em indústrias de bebidas: revisão**. *Revista Higiene Alimentar*, v. 34, n. 294, p. 24-30, 2020.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. (edição mais recente) **Fundamentos de Metodologia Científica**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017. Disponível em: Academia.edu (PDF). Acesso em: jun. 2025 .

BIO-MÉRIEUX. **Controle de qualidade da cerveja & prevenção da contaminação**. Disponível em site institucional. Acesso em: jun. 2025.

DRAGONE, G. et al. **Produção de cerveja: microrganismos deteriorantes e métodos de detecção**. *Brazilian Journal of Food Technology*, Campinas, v. 10, n. 4, p. 242-249, out./dez. 2007.

RODRIGUES, A. L. L.; AZEREDO, D. R. P. **Estimativas da contribuição da cerveja na ingestão diária de micotoxinas pela população brasileira**. *Anais do 1º Congresso de Segurança e Qualidade dos Alimentos*, 2022.

SPEERS, R. A.; WAN, J. **Beer spoilage and beer stability**. In: BAMFORTH, C. W. *Brewing: new technologies*. Cambridge: Woodhead Publishing, 2005. p. 301-326.

SOILO, E. R. P. de S. **Fumonisin e fumonisin hidrolisadas em cerveja: avaliação da contaminação**. 2019. 91 f. Dissertação (Mestrado) – Fiocruz, RJ, 2019.

TOFÓLI, et al. **Avaliação microbiológica de cervejas artesanais de alta fermentação**. 59º CBQ, 2019.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N. *Just in time, MRP II e OPT: um enfoque estratégico*. São Paulo: Atlas, 2011.

MONTGOMERY, D. C. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2009.