



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

PEDRO ARTUR ALVES LISBOA

**ESTUDO DE MELHORIA NO CONSUMO DE ÁGUA NO ENVASE DE  
ALCOÓLICOS NÃO RETORNÁVEIS EM UMA CERVEJARIA INDUSTRIAL COM O  
AUXÍLIO DA METODOLOGIA TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)**

Recife  
2025

PEDRO ARTUR ALVES LISBOA

**ESTUDO DE MELHORIA NO CONSUMO DE ÁGUA NO ENVASE DE  
ALCOÓLICOS NÃO RETORNÁVEIS EM UMA CERVEJARIA INDUSTRIAL COM O  
AUXÍLIO DA METODOLOGIA TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia Mecânica da Universidade  
Federal de Pernambuco, como requisito  
parcial para a obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Orientador (a): Profa. Dra. Marcele Elisa Fontana.

Recife

2025

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do programa de geração automática do SIB/UFPE

Lisboa, Pedro Artur Alves.

Estudo de melhoria no consumo de água no envase de alcoólicos não retornáveis em uma cervejaria industrial com o auxílio da metodologia total productive maintenance (TPM) / Pedro Artur Alves Lisboa. - Recife, 2025. 44 : il., tab.

Orientador(a): Marcele Elisa Fontana

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Mecânica - Bacharelado, 2025.

Inclui referências.

1. Consumo de água. 2. Pasteurizador. 3. Eficiência hídrica. 4. Linha de envase de alcoólicos. I. Fontana, Marcele Elisa. (Orientação). II. Título.

620 CDD (22.ed.)

PEDRO ARTUR ALVES LISBOA

**ESTUDO DE MELHORIA NO CONSUMO DE ÁGUA NO ENVASE DE  
ALCOÓLICOS NÃO RETORNÁVEIS EM UMA CERVEJARIA INDUSTRIAL COM O  
AUXÍLIO DA METODOLOGIA TOTAL PRODUCTIVE MAINTENANCE (TPM)**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Graduação em  
Engenharia Mecânica da Universidade  
Federal de Pernambuco, Centro de  
Tecnologia e Geociências, como requisito  
parcial para a obtenção do grau de  
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovado em: 31/07/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

---

Prof. Dra. Marcele Elisa Fontana (Orientador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dra. Janaina Moreira Meneses (Examinadora Interna)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Antonio Marques da Costa Soares Jr. (Examinador Interno)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço ao meu núcleo familiar, dona Elaine, Jotinha e Luana por servirem de estrutura de apoio durante todo o curso, além do esforço físico para todas as mudanças de apartamento que foram necessárias. Sem vocês não teria sido possível financeiramente, emocionalmente e tão pouco haveria motivo para suportar as incertezas e dúvidas que surgiram durante o percurso.

Agradeço aos professores da UFPE, em especial da coordenação de engenharia mecânica, pois em sua maioria sempre fizeram o que estava ao seu alcance para que o curso nos preparasse para suportar as intempéries do mercado de trabalho. Com a metodologia de ensino usada foi possível desenvolver a habilidade de aprendizagem autônoma e exercer o foco e concentração. Com a taxa de presença dos docentes nas aulas foi possível desenvolver o senso de dono nos discentes que insistiam em finalizar a disciplina. Por fim, com o auxílio e apoio durante o período de estágio foi possível observar que os horários de aulas em turnos opostos são estratégicos para adaptação da turma ao regime de trabalho que exige poucas horas de sono e grandes deslocamentos geográficos. Fora desse contexto, gostaria de destacar nomes que serão levados com carinho após o diploma: Darlan Karlo, Guilherme Barbosa, Francisco Fernando, Janaina Moreira, Guilherme Medeiros, Armando Hideki, Thiago Rolim, Marcele Fontana e Cesar Augusto.

Por fim agradeço a Bruna Elis, aos meus amigos do curso Aquino, Faustolino, José e Alana. Amigos conterrâneos, Antônio e Rafinha. Da Dipolum Consultoria, Tulio e Pedrão. Do meu primeiro estágio, Leila, Rodrigo e Romero. Do meu segundo estágio, Bruna e Adriano. Esses trouxeram a leveza necessária para seguir em frente mesmo com a rotina desgastante e a sensação de sentir-se acolhido apesar de grande distância da família.

## RESUMO

O presente trabalho aborda o estudo do consumo de água de uma linha de envase de alcoólicos não retornáveis. A necessidade do trabalho deu-se após a dispersão do consumo de água no comparativo com o padrão estabelecido por históricos da planta e *benchmarking* de outras plantas com capacidade e maquinário semelhantes. Com o objetivo de reduzir o consumo de água e alcançar o *benchmarking*, utilizou-se as ferramentas da metodologia *total productive maintenance* – TPM, para identificar o principal causador do consumo excessivo. Após identificar o equipamento pasteurizador como o principal responsável pelo consumo excessivo, chegando a representar até 70% do consumo total da linha, foram implementadas melhorias técnicas que envolveram a correção de sensores de temperatura e a desobstrução de linhas de troca de água entre tanques. As ações foram concluídas em maio de 2024, e os resultados dos meses seguintes demonstraram expressiva melhoria na eficiência hídrica do processo, alcançando uma redução de 88% no consumo em litros de água por litro de cerveja envasada. O desempenho da linha voltou a níveis satisfatórios frente ao *benchmarking* da companhia. Além disso, o projeto promoveu ganhos indiretos como o desenvolvimento de habilidades técnicas, aprimoramento do trabalho em equipe e reforço da consciência ambiental entre os envolvidos.

Palavras-chave: consumo de água; pasteurizador; eficiência hídrica, linha de envase de alcoólicos.

## **ABSTRACT**

This study addresses the water consumption analysis of a non-returnable alcoholic beverage bottling line. The investigation was initiated due to deviations in water usage compared to the standard established by the plant's historical data and benchmarks from similar operations with equivalent capacity and equipment. Aiming to reduce water consumption and meet the benchmark targets, Total Productive Maintenance (TPM) methodology tools were applied to identify the main cause of excessive consumption. The pasteurizer was identified as the primary contributor, accounting for up to 70% of the line's total water use. Technical improvements were implemented, including temperature sensor recalibration and the unblocking of water exchange lines between tanks. These actions, completed in May 2024, led to a significant increase in water efficiency, with an 88% reduction in liters of water per liter of beer bottled. The line's performance returned to satisfactory levels compared to the company's benchmark. Additionally, the project fostered indirect benefits such as technical skill development, enhanced teamwork, and strengthened environmental awareness among the team.

Keywords: water consumption; pasteurizer; water efficiency; alcoholic beverage filling line.

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                                               |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1. Esquemático de uma linha de alcoólicos .....                                        | 17 |
| Figura 2. Gradiente de temperatura tanque a tanque de um pasteurizador túnel .....            | 20 |
| Figura 3. Etapas da pesquisa.....                                                             | 14 |
| Figura 4. Consumo de água linha de alcoólicos.....                                            | 16 |
| Figura 5. Pareto do consumo nominal em HL de água por equipamento. ....                       | 17 |
| Figura 6. Consumo de água pasteurizador versus consumo total da linha de alcoólicos.<br>..... | 18 |
| Figura 7. Consumo de água do pasteurizador de alcoólicos.....                                 | 18 |
| Figura 8. Resultado das contramedidas no consumo de água.....                                 | 23 |

## LISTA DE QUADROS

|                                                    |    |
|----------------------------------------------------|----|
| Quadro 1. Tanques que são vasos comunicantes. .... | 20 |
| Quadro 2. Cindo porquês? .....                     | 21 |
| Quadro 3. Contramedidas aplicadas. ....            | 22 |

## **LISTA DE TABELAS**

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1. Temperaturas de trabalho tanques pasteurizador.....          | 20 |
| Tabela 2. Acionamento da linha externa de água. ....                   | 20 |
| Tabela 3. Acionamento da linha externa de água – unidade Igarassu..... | 21 |

## SUMÁRIO

|                                                                                              |           |
|----------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                                                                    | <b>13</b> |
| <b>1.1 OBJETIVOS .....</b>                                                                   | <b>14</b> |
| <b>1.2. JUSTIFICATIVAS .....</b>                                                             | <b>14</b> |
| <b>1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO .....</b>                                                      | <b>16</b> |
| <b>2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA .....</b>                                                         | <b>17</b> |
| <b>2.1 PROCESSO DE ENVASE DE ALCOÓLICOS.....</b>                                             | <b>17</b> |
| 2.1.1 <i>Enchimento .....</i>                                                                | <i>18</i> |
| 2.1.2 <i>Processo de pasteurização .....</i>                                                 | <i>18</i> |
| 2.1.3 <i>Verificações de qualidade .....</i>                                                 | <i>21</i> |
| <b>2.2 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL.....</b>                                                   | <b>22</b> |
| <b>3 METODOLOGIA .....</b>                                                                   | <b>13</b> |
| <b>3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA .....</b>                                                  | <b>13</b> |
| <b>3.2. ETAPAS DA PESQUISA .....</b>                                                         | <b>13</b> |
| <b>4 RESULTADOS.....</b>                                                                     | <b>16</b> |
| <b>4.1 ETAPA 1 – MAPEAMENTO DOS CONSUMOS DE ÁGUA .....</b>                                   | <b>16</b> |
| <b>4.2 ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS COM MAIOR INEFICIÊNCIA .....</b>             | <b>17</b> |
| <b>4.3 ETAPA 3 – ENTENDIMENTO DO PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DE FUNCIONAMENTO .....</b>            | <b>19</b> |
| <b>4.4 ETAPA 4 – APLICAÇÃO DA ANÁLISE DA CAUSA RAIZ.....</b>                                 | <b>20</b> |
| <b>4.5 ETAPA 5 – DEFINIÇÃO E EXCEUÇÃO DAS MELHORIAS E ACOMPANHAMENTO DE RESULTADOS .....</b> | <b>22</b> |
| <b>4.6 ETAPA 6 – ACOMPANHAMENTO DOS RESULTADOS .....</b>                                     | <b>23</b> |
| <b>4.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS.....</b>                                                     | <b>24</b> |
| <b>5 CONCLUSÃO .....</b>                                                                     | <b>26</b> |
| <b>5.1 CONTRIBUIÇÕES .....</b>                                                               | <b>26</b> |
| <b>5.2 LIMITAÇÕES E FUTUROS TRABALHOS .....</b>                                              | <b>27</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                                                      | <b>29</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

A água é um recurso fundamental para a manutenção da vida no planeta. No corpo humano, por exemplo, cerca de 70% da sua composição é somente de água. Além da necessidade direta do consumo deste recurso, indiretamente também é fundamental para o cultivo de alimentos, geração de energia, produção industrial e reprodução. A importância foi notada desde muito cedo e a história evidencia que o desenvolvimento da sociedade humana está restritamente associado a presença de água, registros históricos apontam que as primeiras civilizações surgiram às margens de grandes rios e lagos, a exemplo dos egípcios no vale do rio Nilo e os sumérios nos vales do rio Tigre-Eufrates (Bruni, 1993).

Contudo, apesar de sua importância, a água doce representa percentualmente apenas 2,5 do total de água disponível no planeta. Desses 2,5%, mais da metade ainda se encontra indisponível em formato de geleiras e aquíferos (Panorama, 2025). Paralelo a isso, o crescimento populacional impulsionador da rápida urbanização e consumo desenfreado do recurso, faz com que a gestão hídrica seja um desafio para a geração atual. A poluição e desperdício do recurso, reforçam a necessidade de uma gestão otimizada dos recursos hídricos, visando garantir sua perenidade para as gerações atuais e futuras (Medeiros, Rufino e Aragão, 2024).

Nos processos industriais, a disponibilidade do recurso é um ponto viabilizador operacional, o mercado cervejeiro especificamente traz números curiosos, com a composição de água no produto acabado sendo entre 90% e 95%. A importância do recurso no processo de fabricação é tamanha, que sua qualidade e disponibilidade passa a ser um dos pré-requisitos necessários nos locais de instalação fabris (Mierzwa, Espíndola e Hespanhol, 2021). Com volume projetado de produção para 2024 de 15,5 bilhões de litros, segundo a CervBrasil (2023), o Brasil ocupa a posição de uma das maiores produtoras do setor no mundo, ficando atrás apenas da China, Estados Unidos, Alemanha e Rússia (SINDICERV, 2009).

Durante a fase de envase em cervejarias industriais, o processo de pasteurização — que consiste em um tratamento térmico responsável por conservar as características sensoriais da cerveja — é a etapa que envolve o maior volume de água. Isso ocorre devido ao uso intensivo do recurso em trocadores de calor e na lavagem dos equipamentos, segundo a cervejaria Ambev (2009).

Nesse cenário, torna-se imprescindível a adoção de práticas e tecnologias sustentáveis para um manejo responsável de água nos processos industriais (Brears, 2024). Este trabalho é um passo nessa direção, demonstrando que é possível avançar o processo produtivo de forma sustentável, consumindo o mínimo possível para o retorno esperado.

## 1.1 OBJETIVOS

Este trabalho tem como objetivo principal estudar melhorias no consumo de água no envase de alcoólicos não retornáveis em uma cervejaria industrial com o auxílio da metodologia total productive maintenance (TPM).

Para que seja possível alcançar o objetivo geral, alguns objetivos específicos foram definidos:

- Compreender o processo de envase da cervejaria por meio do mapeamento do processo;
- Identificar as causas do alto consumo de água no processo de envase da cerveja através do mapeamento das perdas;
- Aplicar as ferramentas da Manutenção Produtiva Total (*Total Productive Maintenance* – TPM) para a solução do problema;
- Apresentar contramedidas eficientes para o problema do consumo de água.

## 1.2. JUSTIFICATIVAS

As primeiras indústrias cervejeiras no Brasil datam entre os anos de 1870 e 1880, na região de Porto Alegre (RS) (Santos, 2003). Para 2024 estima-se a produção de 15,5 bilhões de litros de cerveja, 3,1 milhões de empregos, R\$35 bilhões de impostos arrecadados totalizando 2,5% do PIB apenas com o setor cervejeiro, além de um investimento total entre 2025 e 2030 de R\$ 36 bilhões (CervBrasil, 2023). A produção torna-se possível acompanhada de um grande consumo de recursos hídricos, de acordo com a Cervejaria Ambev (2009), para cada litro de cerveja produzido no Brasil, são consumidos, em média, de 3 a 5 litros de água – gerando diretamente o consumo previsto para o ano de 2024 de 77,5 bilhões de litros. Para se ter uma dimensão do impacto, toda a população do estado de Sergipe, estimada em 2,3 milhões de habitantes (IBGE, 2022), conseguiria ser abastecida por esse volume

de água durante um ano inteiro, considerando o consumo básico recomendado de 100 litros por pessoa por dia, estabelecido pela Organização Mundial da Saúde (OMS, 2003). Essa comparação evidencia como uma gestão hídrica eficiente pode gerar benefícios ambientais e sociais significativos, reforçando a necessidade de reduzir o consumo de água para garantir a sustentabilidade das operações industriais diante de cenários de escassez.

Ao tratar da planta produtora, especificamente uma cervejaria industrial, é estimado que o impacto do custo do consumo de água no custo total da planta varie entre 1% e 3% (Lofting, Davis e BOWER, 1976). Segundo a *Brewers Association* (2024), cervejarias podem ser classificadas como nano cervejaria – produção anual menor que 59.000 litros, microcervejaria – produção anual entre 59.000 litros e 1.760.000 litros, cervejaria regional – produção anual entre 1.760.000 litros e 3.500.000 litros, ou grande cervejaria – produção anual acima de 3.500.000 litros, a planta estudada classifica-se como cervejaria regional. Utilizando o custo médio do consumo de água em metro cúbico de R\$4,09 (IBGE, 2023) e segundo a cervejaria Ambev (2009), o consumo de água de 5 litros por litro de cerveja produzido, é possível estimar um custo mensal de R\$447.000,00 considerando a produção de cerveja anual de 2.630.000 litros.

Além disso, em 2015, os 193 Estados membros da Organização das Nações Unidas (ONU) deram início a nova agenda de desenvolvimento sustentável através da publicação do documento “Transformando o Nosso mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento sustentável”, este documento estabelece 17 objetivos de desenvolvimento sustentáveis, o 12º é nomeado como “Consumo e produção responsáveis” e tem como intuito promover uma produção e consumo que se façam sustentáveis na perenidade (ONU, 2024).

Somado a isso, aplicar conhecimentos teóricos em um projeto prático que busca estudar o consumo de recurso hídrico em processos industriais é de grande valia na construção de conhecimento, em especial no curso de engenharia mecânica - o curso tem ligação direta com a inspeção, manutenção e otimização operacional de equipamentos (Rompelman e Vries, 2002). Desenvolver habilidades não adquiridas durante o curso também são somadas ao contexto, como o desenvolvimento de práticas inovadoras e soluções para redução de custo operacional (Cropley, 2015).

Dessa forma, com a investigação e mapeamento de grandes dispersões no consumo de água para os equipamentos de uma linha de envase de alcoólicos não

retornáveis e a implementação de contramedidas, o presente estudo contribui para a redução do consumo de recursos hídricos e para a promoção de práticas de produção e consumo mais sustentáveis.

### 1.3. ESTRUTURA DO TRABALHO

Este trabalho está estruturado em 5 capítulos: introdução, fundamentação teórica, metodologia, estudo de caso e conclusão.

No capítulo 1 tem-se a contextualização do tema, motivação, justificativas do projeto e sua estrutura.

No capítulo 2 tem-se a fundamentação teórica com o embasamento sobre o processo de envase de cerveja em uma cervejaria industrial com foco no equipamento pasteurizador e as ferramentas utilizadas pela metodologia TPM para a resolução de falhas e desperdícios.

No capítulo 3 tem-se a metodologia empregada no trabalho e as etapas que foram seguidas durante sua construção.

No capítulo 4 tem-se o estudo realizado, desde o cenário inicial do consumo de água da linha de envase até a aplicação de contramedidas.

No capítulo 5 tem-se o resultado obtido com a aplicação das contramedidas, a conclusão e considerações finais do trabalho, assim como as limitações e a relevância para a área de trabalho.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

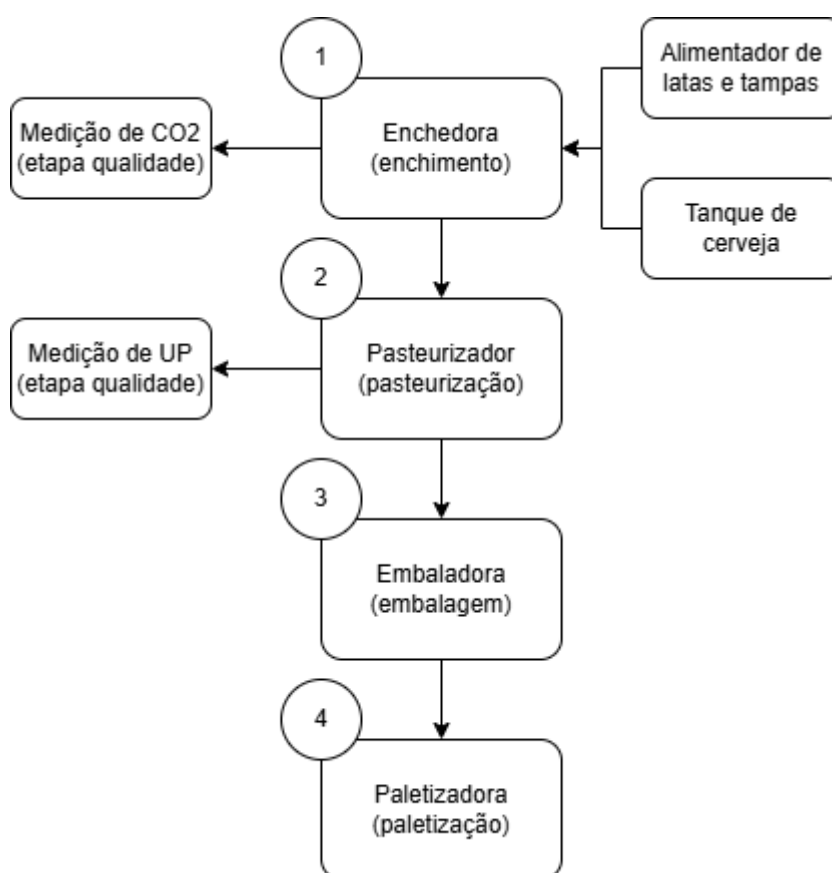
Neste capítulo foi abordado o processo de envase de cerveja em uma cervejaria industrial, sendo explanado as etapas envolvidas com foco no principal ponto de consumo de água, a pasteurização.

Além disso, foi trazido o conceito da metodologia *Total Productive Maintenance* e sua abordagem para investigação, definição e resolução de falhas e desperdícios.

### 2.1 PROCESSO DE ENVASE DE ALCOÓLICOS

O processo de envase de cerveja é a etapa final da transformação da cerveja em produto acabado e é composta por algumas etapas principais, sendo: enchimento, pasteurização, verificações de qualidade, embalagem e paletização. Na Figura 1 é possível visualizar o diagrama da disposição de cada etapa.

Figura 1. Esquemático de uma linha de alcoólicos



Fonte: autor, 2025.

### 2.1.1 Enchimento

O equipamento nomeado como enchedora recravadora trata-se de uma máquina rotativa e é a etapa principal do envase, a velocidade de rotação admitida pela máquina é medida em latas por hora e será a referência para leitura de eficiência de uma linha de envase. Exemplificando, uma linha de envase com nominal de 100 mil latas por hora que durante o período de uma hora teve o resultado de envase de 50 mil latas, obteve nesse período 50% de eficiência. A máquina é responsável por receber as latas vazias e as tampas através de dois alimentadores distintos, alimentar as latas com cerveja, fechar e selar a lata. A alimentação da enchedora recravadora com latas é o início do processo, um rígido controle de qualidade sob as latas é realizado antes que siga para o equipamento, variações de qualidade como falta de verniz ou amassamentos podem gerar impacto na eficiência do equipamento (Krones AG, 2025).

Com as latas devidamente certificadas, há a etapa de enchimento, onde sequencialmente as latas têm seu volume disponível preenchido por cerveja e seguem para a próxima etapa, onde um jato de gás carbônico é dispensado sobre a cerveja para realizar o controle de espuma e garantir o nível correto de CO<sub>2</sub> na embalagem já que houve o contato direto do líquido com o ar atmosférico na etapa anterior. Após isso é realizado o posicionamento da tampa sobre a lata para que ocorra a etapa conhecida como recravação, processo mecânico entre a lata e a tampa que garante a vedação hermética e evita qualquer tipo de vazamento da lata (COMAC ITALIA, 2021).

### 2.1.2 Processo de pasteurização

O processo de pasteurização foi estudado e colocado em prática por Louis Pasteur, sobrenome que deu nome ao processo ainda no século XIX. Pasteur entendeu o efeito letal do calor sobre determinados microrganismos e a consequente preservação de nutrientes, vitaminas e a qualidade organoléptica (qualidades perceptíveis aos sentidos humanos) após a exposição de líquidos ao processo de elevação de temperatura (Maia, 2012).

O processo de pasteurização não só assegura a segurança microbiológica da cerveja, mas também é um fator determinante na preservação de sua qualidade

organoléptica. Controlar rigorosamente a temperatura e o tempo é crucial, pois variações desses parâmetros podem alterar o sabor, aroma e cor da cerveja, além de impactar diretamente o consumo de recursos como energia térmica e água (Wray, 2015).

O processo de pasteurização baseia-se na exposição de líquidos a temperaturas superiores à ambiente (25°C). É importante destacar a diferença entre pasteurização e esterilização: a pasteurização ocorre com temperaturas inferiores a 100°C, enquanto a esterilização envolve temperaturas acima dessa marca (Maia, 2012).

Um parâmetro utilizado no processo é o P, que representa o tempo necessário para eliminar 90% da população de um determinado microrganismo a uma temperatura específica. É fundamental o estudo microbiológico dos microrganismos presentes no líquido a ser pasteurizado. Intuitivamente, a exposição a temperaturas mais altas reduz o valor de P. Outro parâmetro relevante é o Z, medido em unidades de temperatura, que indica a variação necessária para que o valor de P seja reduzido em um fator de 10 (Wray, 2015). A correlação entre P e Z é alta, e, para uma pasteurização adequada, é essencial uma modelagem que leve em consideração essas variáveis.

Atualmente, existem 3 principais métodos de pasteurização na indústria de bebidas, o tradicional, flash e túnel. O primeiro, dura um minuto e um trocador de calor é responsável por elevar a temperatura do líquido entre 60°C e 65°C, após isso o líquido é resfriado até alcançar temperatura ambiente (Ribéreau-Gayon, 1998). O segundo, tem um processo de elevação de temperatura mais veloz, alcançando a marca dos 95°C, temperatura limite do processo de pasteurização, e mantendo essa temperatura constante de 2 a 6 segundos, após isso uma refrigeração forçada é realizada, fazendo a temperatura ambiente ser alcançada mais rapidamente (Rizzon, 2007). Já o pasteurizador de túnel tem como principal característica a maior confiabilidade na garantia da qualidade do líquido e menores riscos de contaminação, já que o processo de pasteurização é realizado apenas após o envasamento da bebida (Ribéreau-Gayon, 1998).

Por se tratar de um processo que atuará sobre a qualidade organoléptica do produto, padrões de qualidade e controles são estabelecidos para garantir a qualidade no momento do consumo. Para realizar essa medição, utiliza-se um parâmetro conhecido como unidade de pasteurização (UP), e após a saída do pasteurizador é

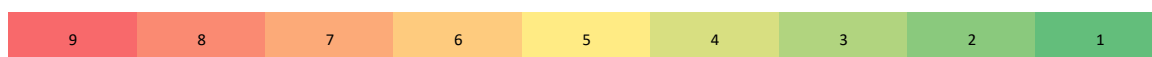
necessário que as latas estejam dentro da faixa de UP determinada como aceitável (Fontana, 2009).

### 2.1.2.1 Pasteurizador túnel

O pasteurizador de túnel é amplamente utilizado na indústria cervejeira devido às suas características de confiabilidade e capacidade de pasteurização em larga escala. Além de ser eficaz na garantia da qualidade do produto, o pasteurizador de túnel apresenta benefícios ambientais significativos. A possibilidade de reuso da água entre os tanques e a economia de energia térmica são cruciais, uma vez que o processo pode reduzir o consumo de energia e a geração de resíduos, alinhando a produção às práticas sustentáveis exigidas pela indústria moderna (Wray, 2015).

Composto por tanques de água aquecidos por meio de trocadores de calor, o pasteurizador de túnel faz com que o produto passe por um gradiente de temperatura, desde o aquecimento até o resfriamento em temperatura ambiente (Wray, 2015). Esse processo está ilustrado na Figura 2 e a interligação entre os tanques que realizam o reuso da água estão descritos no Quadro 1.

Figura 2. Gradiente de temperatura tanque a tanque de um pasteurizador túnel



Fonte: autor, 2025.

Quadro 1. Tanques que são vasos comunicantes.

| Nº dos tanques |
|----------------|
| 9 e 4          |
| 8 e 3          |
| 7 e 2          |
| 6 e 1          |

Fonte: autor, 2025.

Os pasteurizadores túnel são equipamentos robustos e necessitam de muitos componentes auxiliares na sua formação, como válvulas, esguichos, sensores de nível, bombas e outros diversos controladores. Esse grande número de componentes aumenta a complexidade e torna o processo suscetível a falhas (Solenis, 2024).

Além disso, uma grande carga térmica também é empregada para a manutenção do processo. A fim de torná-lo mais eficiente, existem interligações – sinalizadas no Quadro 1, entre os tanques que permitem a troca de água em diferentes temperaturas e assim regulam a temperatura sem a necessidade de um aumento de carga térmica. Nos primeiros tanques do pasteurizador há o aquecimento do produto e, portanto, a transferência de calor no sentido água do tanque > produto. Do tanque central em diante será o processo de resfriamento, havendo a transferência de calor no sentido produto > água do tanque. Com a troca de temperatura interna o sistema avança na tentativa de aproximar-se o máximo possível de um ciclo fechado, chegando a alcançar 50% de economia de energia térmica frente a não utilização do método (Wray, 2015).

Por ser um método que trabalha com grandes volumes de água e altas cargas de energia térmica, permite a realização da pasteurização em larga escala. Assim, a mínima falha dos componentes citados, espaçamento de produtos ou velocidade da esteira pode significar uma grande gama de produtos não pasteurizados corretamente e consequentemente um grande desperdício de água e energia térmica (Prown, 2024).

### 2.1.3 Verificações de qualidade

As verificações de qualidade são pontos de checagem que garantem que todos os critérios necessários durante o envase da cerveja cumprem os requisitos que garantem excelência de um produto acabado. Existem pontos críticos de controle que requisitam maior atenção da operação, são esses a garantia de que o volume correto de cerveja foi introduzido na embalagem, a inexistência de corpo estranhos nas latas, o correto nível da unidade de pasteurização, a correta formação da embalagem e correta paletização (Machado, Mafra e Rodrigues, 2021).

Com exceção da verificação da unidade de pasteurização, os demais usam como ferramenta de verificação sensores de nível, peso e alavancas mecânicas e

separadores de esteira responsáveis por remover as latas não aprovadas nos sensores citados (Machado, Mafra e Rodrigues, 2021).

A verificação de unidade de pasteurização trata-se de um teste químico, é realizado em laboratório com periodicidade definida pela unidade de acordo com os resultados históricos e necessidade de controle específico. Por se tratar de um processo de resultado não imediato, é possível que lotes pasteurizados fora do padrão definido transformem-se em produto acabado, para isso é importante que seja mantido o controle de identificação dos lotes de produção na área de armazenagem logística, permitindo a correta retenção caso haja necessidade (Santana, 2022).

## 2.2 MANUTENÇÃO PRODUTIVA TOTAL

A metodologia Manutenção Produtiva Total (do inglês, *Total Productive Maintenance* - TPM) busca aprimorar a qualidade de todos os componentes do ambiente fabril: pessoas, equipamentos, materiais e métodos. Um dos princípios mais fortes dessa abordagem é a autonomia dos operadores na manutenção das máquinas, o que requer sua capacitação para que a metodologia seja eficaz (Rosa, Alves e Carvalho, 2014). O TPM representa uma verdadeira mudança nas unidades de produção, onde não apenas a equipe de manutenção é envolvida, mas todos os colaboradores da organização. É crucial que as lideranças compreendam a importância dessa abordagem e forneçam os recursos necessários para sua implementação (Ribeiro, 2010). O cerne da metodologia é compartilhar a responsabilidade pela eliminação de perdas e falhas com todos os membros da equipe, incentivando uma cultura de intraempreendedorismo, onde cada colaborador assume a responsabilidade e o cuidado com os equipamentos: "A única forma sustentável de reduzir custos é envolver os membros da sua equipe nas melhorias" (Dennis, 2008, p.32).

Na prática, o TPM oferece diversas ferramentas para promover a melhoria contínua no ambiente fabril. O primeiro passo essencial para uma boa gestão e controle é a identificação de gargalos, que podem ser causados por quebras ou desperdícios. Nesta etapa, busca-se localizar os pontos críticos que limitam a eficiência do processo de produção. É importante observar a periodicidade com que esses gargalos ocorrem. Quando se verificam repetidas falhas em determinados

pontos, uma análise mais profunda deve ser realizada para entender a causa e erradicar o problema (Nakajima, 1998).

Após a identificação dos gargalos, é necessário estratificar os dados. Em um ambiente de recursos limitados, os esforços devem ser concentrados nos gargalos que têm maior impacto, buscando soluções que tragam resultados significativos no período mais curto possível. Para que isso tangível, o TPM tem algumas ferramentas a serem aplicados durante o processo de investigação, como o entendimento do princípio fundamental de funcionamento, 5W1H, gráfico de pareto e 5 porquês (Nakajima, 1998).

O entendimento do princípio fundamental de funcionamento do processo ou equipamento é crucial para que a equipe possa atuar de forma eficiente, compreendendo as etapas corretas do processo. Por meio dele é entendido o estado original do equipamento ou processo e como ele deveria estar funcionando, utilizando manuais de fabricante e padrões operacionais como referência. Nessa etapa é importante desvincular a forma atual de operacionalização, já que é possível que desvios estejam ocorrendo. Feito isso, se espera como saída a percepção da forma de operação sem desvios para aquele equipamento ou processo, a partir disso será possível detectar anomalias e oportunidades ao seguir com a aplicação das próximas ferramentas de investigação (Souza e Rodrigo, 2017).

O 5W1H (What, Why, Where, When, Who, How) é uma ferramenta que permite uma análise profunda do problema ao responder seis perguntas-chave, organizando a informação de forma clara e objetiva, o que facilita o entendimento e a definição de ações corretivas. Nele se define o que é o problema investigado, porque está ocorrendo, onde está ocorrendo, quando ocorreu, quem está envolvido e como está acontecendo. A partir disso se torna mais simples seguir com a investigação e definição dos pontos focais, locais e recursos necessários no processo (Paladini, 2012).

A metodologia 5 Porquês é uma técnica simples, mas eficaz, de identificação de causa raiz. Consiste em perguntar “por quê?” a partir do problema, repetidamente, até alcançar a causa raiz – o último “por quê?” geralmente é detectado quando não há mais resposta. Isso permite identificar falhas profundas que podem não ser aparentes à primeira vista (Silva, 2017).

O Gráfico de Pareto, com base no princípio de Pareto, que define como 80% dos efeitos vindo de 20% das causas, é uma ferramenta estatística utilizada para

identificar os principais fatores que causam problemas ou perdas em um processo. A partir do gráfico, é possível visualizar claramente quais são os pontos críticos que mais impactam o desempenho, permitindo priorizar ações corretivas nas áreas de maior impacto (Borges, 2024).

Por fim, uma vez identificado o gargalo e compreendido seu funcionamento, é possível aplicar contramedidas eficazes, erradicando o problema e garantindo a continuidade do processo de melhoria contínua. O TPM busca, assim, a eliminação total de falhas e perdas, atingindo um nível de operação mais eficiente e sustentável (Nakajima, 1998).

### 3 METODOLOGIA

Neste capítulo será apresentada a metodologia utilizada para o desenvolvimento deste trabalho, visando alcançar os objetivos propostos.

#### 3.1. CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa caracteriza-se como aplicada, com uma abordagem quantitativa e qualitativa, e objetivos descritivos, adotando a estratégia de estudo de caso.

A escolha do estudo de caso como abordagem metodológica justifica-se pela necessidade de realizar uma análise detalhada em um contexto específico, que, neste caso, envolve uma linha de envase de alcoólicos não retornáveis. Essa abordagem permitirá compreender, de forma aprofundada, as práticas, processos e atividades relacionadas ao consumo de água, possibilitando a identificação de fatores que contribuem para ineficiências ou desperdícios, caso existam.

Outro aspecto que sustenta a escolha dessa abordagem é a necessidade de implantar soluções práticas, o que torna o estudo de caso particularmente adequado. Dessa forma, será possível descrever a situação atual com o nível de profundidade necessário para a compreensão do contexto e propor melhorias eficazes, alinhadas aos objetivos do trabalho (Yin, 2015).

#### 3.2. ETAPAS DA PESQUISA

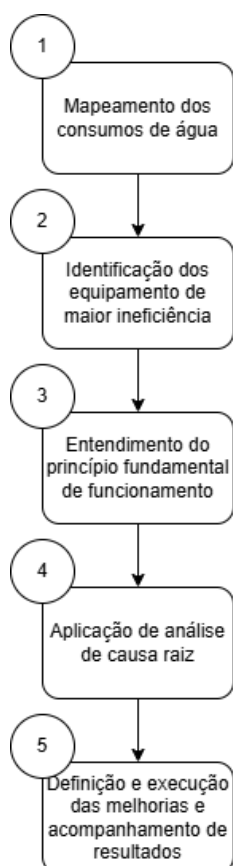
O estudo de caso foi desenvolvido em uma unidade industrial de porte médio localizada no estado de Pernambuco. A unidade pertencente a uma cervejaria industrial multinacional com sede na Holanda, uma das principais empresas do mercado cervejeiro mundial.

A linha de produção estudada é responsável pelo envase de cervejas em embalagens descartáveis de lata, com capacidade superior a 2 milhões de litros de cerveja por dia. O estudo foi conduzido no primeiro semestre de 2024 e os resultados obtidos estão sintetizados nos Capítulos 4.

Para o desenvolvimento do estudo passos lógicos foram seguidos, iniciando pelo mapeamento dos consumos de água na linha de envase de alcoólicos, seguido pela identificação dos equipamentos com maior ineficiência, entendimento do princípio

fundamental de funcionamento do equipamento, aplicação da análise de causa raiz, definição e execução das melhorias e acompanhamento dos resultados. As etapas podem ser visualizadas na Figura 3.

Figura 3. Etapas da pesquisa.



Fonte: autor, 2025.

1. **Etapa 1 - Mapeamento dos consumos de água** na linha de envase de alcoólicos: foi realizado o levantamento dos processos que compõem o envase de alcoólicos, o que possibilitou compreender as etapas do processo de envase de cerveja e identificar os principais pontos de consumo de água.
2. **Etapa 2 - Identificação dos equipamentos com maior ineficiência:** com base nos processos mapeados, foi realizado um brainstorming com membros da unidade e outras plantas do grupo, comparando os resultados de meses anteriores dos principais pontos de consumo de água identificados na etapa 1. Nesse levantamento, a amostragem dos dados coletados foi a partir do ano de 2023, trazendo uma maior riqueza nas comparações e investigações. Esse

mapeamento de perdas possibilitou a identificação dos equipamentos com maior ineficiência no consumo de água.

3. **Etapa 3 - Entendimento do princípio fundamental de funcionamento:** após identificar os equipamentos com maior ineficiência hídrica (consumo acima da média das demais unidade do grupo que possuem equipamento similar), foi investigada a forma padrão de operacionalização desses equipamentos, bem como os consumos de água esperados. Nessa etapa foi detalhada as etapas para o bom funcionamento do equipamento, a lógica de sua operacionalização e princípios físicos que o rege.
4. **Etapa 4 - aplicação da análise de causa raiz:** com o entendimento do princípio de funcionamento dos equipamentos, foi feita a investigação para detectar a causa raiz através da metodologia dos 5 porquês. Paralelo a aplicação da metodologia, foram feitas visitas em campo e reuniões de *brainstorming* com o time operacional. Ao identificar a causa raiz foi possível seguir com a definição do plano de ação e etapas subsequentes.
5. **Etapa 5 - definição e execução das contramedidas e acompanhamento de resultados:** com o auxílio da ferramenta 5W1H, as melhorias necessárias foram definidas e implementadas para solucionar a causa raiz identificada.
6. **Etapa 6 - acompanhamento dos resultados:** após a implementação, foi realizado o acompanhamento dos resultados, com o objetivo de verificar se as soluções aplicadas realmente geraram os resultados esperados.

## 4 RESULTADOS

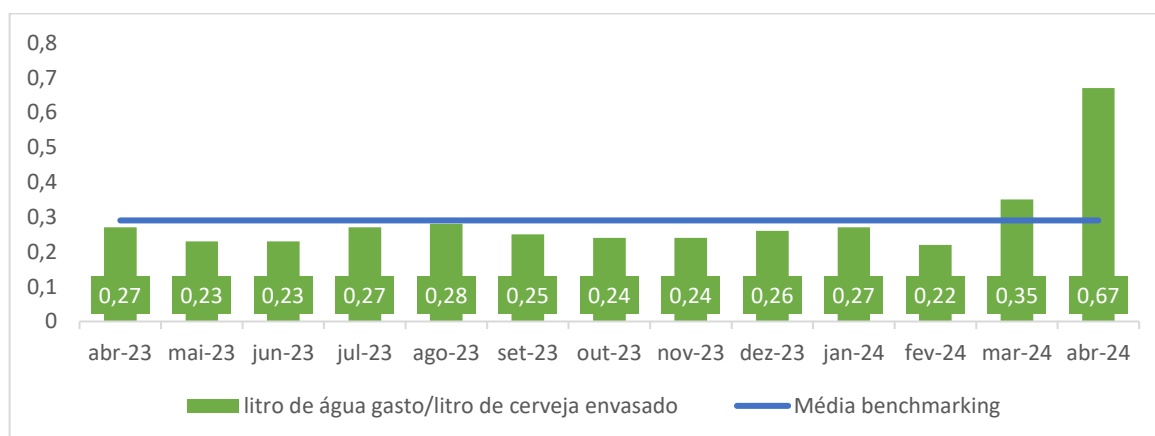
Durante a apresentação dos resultados, serão descritos o histórico do consumo de água na linha de envase de alcoólicos e metas estabelecidas para efeito de comparação. O monitoramento do consumo de água da linha de envase de alcoólicos é realizado ponderando-se o consumo de água em um período de tempo pela quantidade de cerveja envasada nesse mesmo período de tempo. Para critério de meta é realizado um estudo nas plantas produtivas do grupo baseado nos históricos de consumo, fontes teóricas – literatura científica, manual de equipamentos e objetivos ambientais de longo prazo.

Para a planta produtiva em que foi desenvolvido o estudo de consumo de água na linha de envase de alcoólicos, a meta foi estabelecida como o consumo de 0,29 litros de água para 1 litro de envase de cerveja. Essa meta abrange exclusivamente os consumos previstos para a linha de envase de alcoólicos, logo, não considera nenhuma outra etapa produtiva da cerveja.

### 4.1 ETAPA 1 – MAPEAMENTO DOS CONSUMOS DE ÁGUA

Ao realizar reuniões de *brainstorming*, levantou-se os dados de consumo de água para o período de 01 de abril de 2023 até 30 de abril de 2024. Na Figura 4 é possível observar os dados obtidos.

Figura 4. Consumo de água linha de alcoólicos.



Fonte: autor, 2024.

Interpretando a Figura 4 é possível visualizar o consumo estável entre os meses de abril de 2023 até fevereiro de 2024, alcançando a meta estabelecida sem grandes variações. A partir do mês de março de 2024 houve o primeiro indício de variação no consumo de água, tendo resultado acima da meta estabelecida pela primeira vez no período estudado. Além disso, o resultado do mês seguinte – abril 2024, evidencia que há uma tendência de aumento no consumo de água da linha de envase de alcoólicos.

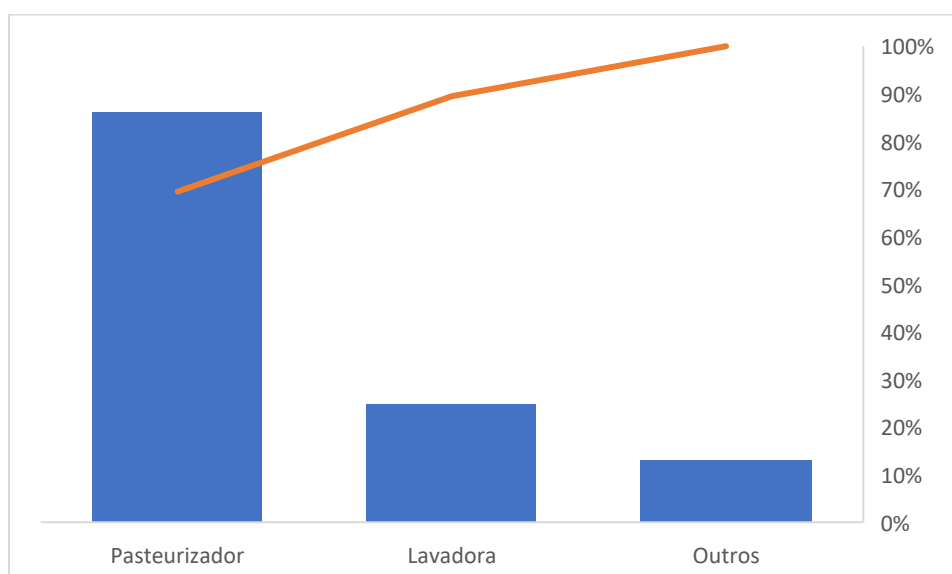
Antes de seguir para a etapa seguinte, foram mapeados os pontos consumidores de água na linha de envase:

- Lavadora;
- Pasteurizador;
- Limpeza e sanitização de equipamentos;
- Vazamentos de vapor;
- 

#### 4.2 ETAPA 2 – IDENTIFICAÇÃO DOS EQUIPAMENTOS COM MAIOR INEFICIÊNCIA

Para maior detalhamento dos principais equipamentos consumidores de água, foi feito o estudo nos dois meses em questão, março e abril de 2024, tornando claro o equipamento de maior consumo sendo o pasteurizador. O resultado pode ser observado na Figura 5.

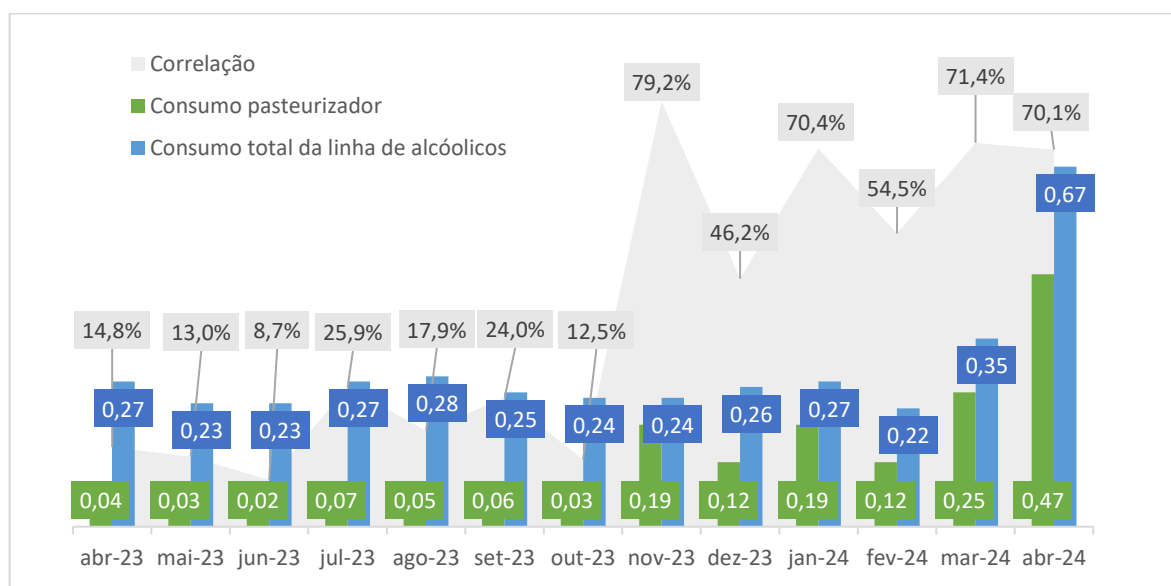
Figura 5. Pareto do consumo nominal em HL de água por equipamento.



Fonte: autor, 2024.

Para entender de forma mais profunda o real impacto do equipamento pasteurizador no consumo de água, foi analisado o histórico deste equipamento e o comportamento do seu resultado no desempenho total da linha, deixando claro que desde o mês de novembro de 2023 o equipamento não performava de modo eficiente. O resultado pode ser observado na Figura 6, onde é trazido o consumo em hl de água consumido por hl de cerveja envasado e feita a comparação entre os dois.

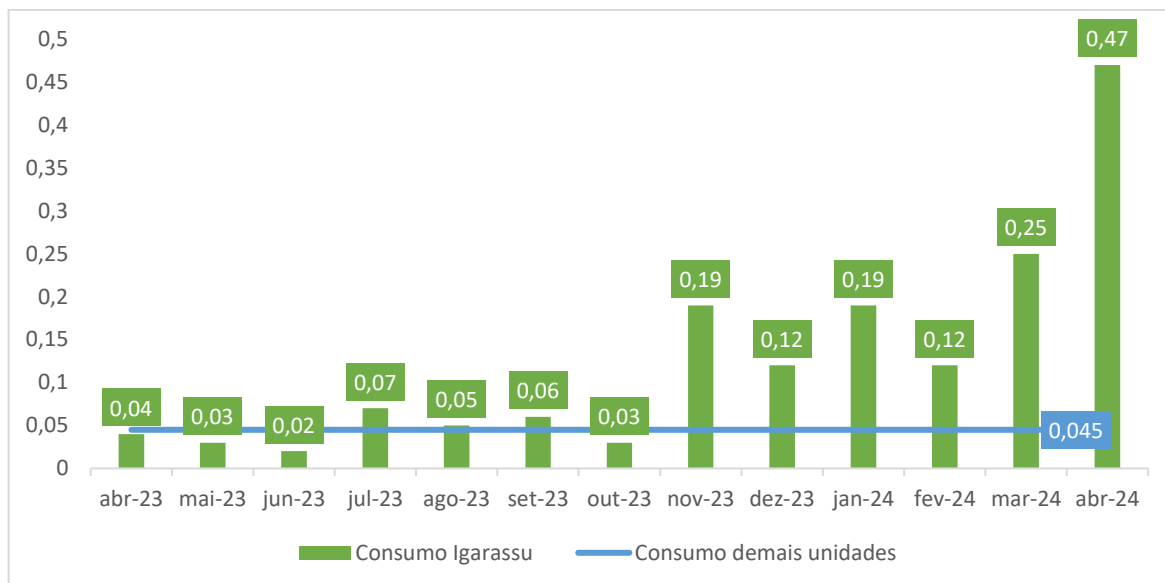
Figura 6. Consumo de água pasteurizador versus consumo total da linha de alcoólicos.



Fonte: autor, 2024.

Para certificar do impacto do pasteurizador no período comentado, foi feito um benchmarking utilizando as cervejarias do grupo que possuíam equipamentos operando de forma similar. Ao coletar o consumo real do mesmo equipamento nas demais unidades e comparar com o consumo da unidade Igarassu, foi reforçado uma ineficiência ou desperdício a partir do mês de novembro. O resultado pode ser visto na Figura 7, onde é trazido o consumo em hl de água consumido por hl de cerveja envasado da unidade Igarassu e demais unidades do grupo.

Figura 7. Consumo de água do pasteurizador de alcoólicos.



Fonte: autor, 2024.

### 4.3 ETAPA 3 – ENTENDIMENTO DO PRINCÍPIO FUNDAMENTAL DE FUNCIONAMENTO

Após a identificação do pasteurizador como maior consumidor de água seguiu-se para o entendimento do princípio fundamental de funcionamento, o modo que o equipamento deveria operar segundo as recomendações do fornecedor e padrão de fábrica.

O equipamento pasteurizador possui 9 tanques de água que tem sua temperatura controlada de acordo com a troca térmica com seus respectivos trocadores de calor a fim de atender o gradiente de temperatura necessário para realizar a pasteurização da cerveja. Todos os tanques possuem linhas de água para abastecimento e descarga da água para os casos de esvaziamento para limpeza ou controle de temperatura. Os tanques são posicionados no mesmo nível e são vasos comunicantes em pares, com exceção do central – este não é vaso comunicante com nenhum outro tanque. A comunicação entre os tanques tem o objetivo de realizar a troca de água com diferentes cargas térmicas, dessa forma é possível evitar um consumo de água desnecessário e elevar a eficiência dos trocadores de calor.

Sensores de temperatura são responsáveis por indicar a temperatura em que cada tanque está operando, a troca de água entre os pares de tanque funcionam de forma automatizada e no caso em que a faixa de temperatura considerada como permissível para cada tanque é ultrapassada – possível visualizar as faixas de

trabalho na Tabela 1, a válvula que controla a linha de água externa é acionada para regularização das temperaturas, aumentando, assim, o consumo de água do equipamento.

Tabela 1. Temperaturas de trabalho tanques pasteurizador

| Tanque | Limite superior de temperatura permissível | Limite inferior de temperatura permissível |
|--------|--------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1      | 25°C                                       | 19°C                                       |
| 2      | 35°C                                       | 29°C                                       |
| 3      | 45°C                                       | 39°C                                       |
| 4      | 55°C                                       | 49°C                                       |
| 5      | 65°C                                       | 59°C                                       |
| 6      | 75°C                                       | 69°C                                       |
| 7      | 85°C                                       | 79°C                                       |
| 8      | 95°C                                       | 89°C                                       |
| 9      | 105°C                                      | 99°C                                       |

Fonte: Autor (2024)

Não foi encontrado referência que indicasse um número ideal ou faixa permissível para o acionamento da linha externa de água. Entretanto, para efeito de comparação foi solicitado para outra unidade do grupo que estava alcançando o seu objetivo de consumo de água medir o número de vezes que o sistema externo era acionado durante o período de uma semana. Os resultados podem ser visualizados na Tabela 2.

Tabela 2. Acionamento da linha externa de água.

| Dia | Nº de acionamentos |
|-----|--------------------|
| 1   | 1                  |
| 2   | 0                  |
| 3   | 0                  |
| 4   | 1                  |
| 5   | 2                  |
| 6   | 0                  |
| 7   | 1                  |

Fonte: Autor (2024)

#### 4.4 ETAPA 4 – APLICAÇÃO DA ANÁLISE DA CAUSA RAIZ

Durante a definição das causas raízes o time operacional foi envolvido, inspeções em campo foram realizadas, sensores de temperatura testados e foi quantificado o número de vezes que o sistema externo de água era acionado para

auxiliar na regulação da temperatura dos tanques do pasteurizados. O resultado do número de acionamentos da linha externa pode ser visto na Tabela 3.

Tabela 3. Acionamento da linha externa de água – unidade Igarassu.

| Dia | Nº de acionamentos |
|-----|--------------------|
| 1   | 4                  |
| 2   | 3                  |
| 3   | 3                  |
| 4   | 4                  |
| 5   | 5                  |
| 6   | 3                  |
| 7   | 4                  |

Fonte: Autor (2024)

Por fim, aplicou-se a metodologia dos 5 porquês e concomitantemente com as inspeções em campo junto ao time operacional, foi possível encontrar as causas raízes do problema, o processo foi descrito no Quadro 2.

Quadro 2. Cindo porquês?

| Questionamento | Resposta                                                                                                                                                                         |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Sintoma        | O consumo de água da linha de envase de alcoólicos está acima da meta de consumo de água nos meses de março de 2024 e abril de 2024                                              |
| Por que?       | Variação acima do padrão no consumo de água do equipamento pasteurizador                                                                                                         |
| Por que?       | Acionamento excessivo da linha de água externa para a regulação de temperatura dos tanques pares                                                                                 |
| Por que?       | Troca térmica dos tanques pares ineficiente, obrigando o sistema a acionar a linha de água externa para fazer a regulação da temperatura para a faixa de temperatura permissível |
| Por que?       | Os tanques 1 e 6 não estavam realizando a troca térmica assim como os demais;                                                                                                    |
| Por que?       | <b>A linha que permite a troca de água entre os tanques estava obstruída;</b>                                                                                                    |
|                | <b>O sensor de temperatura do tanque 6 estava descalibrado, apontando uma maior necessidade de acionamento de água da linha externa do que a real necessidade.</b>               |

Fonte: autor, 2025

Conforme descrito no Quadro 3, ficaram claro as duas causas raízes do problema, obstrução na linha de água que permite a troca térmica entre os tanques e falha no sensor de temperatura de um dos tanques.

#### 4.5 ETAPA 5 – DEFINIÇÃO E EXCEUÇÃO DAS MELHORIAS E ACOMPANHAMENTO DE RESULTADOS

Para as contramedidas, foi elaborado um plano de ações com as atividades necessárias, o responsável e as datas previstas de conclusão. Esse plano pode ser observado no Quadro 3 e foi detalhado através da metologia 5W1H.

Quadro 3. Contramedidas aplicadas.

| O que?                                                        | Porque?                                                                        | Onde?         | Quem?                                             | Quando?  | Como?                                                                      |
|---------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|---------------|---------------------------------------------------|----------|----------------------------------------------------------------------------|
| Inspeção de todas as linhas de água.                          | Verificar quais linhas estão obstruídas.                                       | Pasteurizador | Técnico mecânico                                  | 02/05/24 | Inspeção em campo                                                          |
| Inspeção de todos os sensores de temperatura                  | Verificar quais sensores apresentam falha.                                     | Pasteurizador | Técnico eletricista                               | 03/05/24 | Inspeção em campo                                                          |
| Desobstrução da linha de água obstruída                       | Garantir a troca de água entre os tanques pares                                | Pasteurizador | Técnico mecânico                                  | 12/05/24 | Limpeza mecânica                                                           |
| Troca de sensor apresentando falha                            | Correta leitura de temperatura do tanque                                       | Pasteurizador | Técnico eletricista                               | 12/05/24 | Substituição de sensores                                                   |
| Garantir parada planejada de 48h para execução das atividades | Permitir a troca dos sensores com equipamento parado                           | Pasteurizador | Analista de planejamento e controle de produção   | 12/05/24 | Em alinhamento com o time de demanda                                       |
| Implementar melhoria de automação – criação de nova variável. | Acumular o número de vezes que o sistema externo de água precisou ser acionado | Pasteurizador | Técnico de automação                              | 22/05/24 | Utilizando o programa grafana de visualização em tempo real                |
| Criação de plano de manutenção                                | Garantir inspeção de sensores de temperatura e das linhas de água              | Pasteurizador | Analista de planejamento e controle de manutenção | 26/05/24 | Seguindo os padrões operacionais e imputando os dados no sistema de gestão |

Fonte: autor, 2025

Durante o processo foram inspecionadas todas as linhas de água para troca térmica entre os pares de tanque e os sensores de temperatura. Durante as inspeções certificou-se falha nos sensores de temperatura dos tanques 6 e 7, além da obstrução parcial ou completa de todas as linhas de interligação dos tanques pares.

Foi necessária uma parada planejada junto ao time do envase e manutenção, com 48 horas de atividade desde o esvaziamento total dos tanques até a liberação do equipamento. Nessa parada foi realizada a desobstrução das linhas que ligam os tanques pares e realizada a troca do sensor de temperatura do tanque 6 e 7.

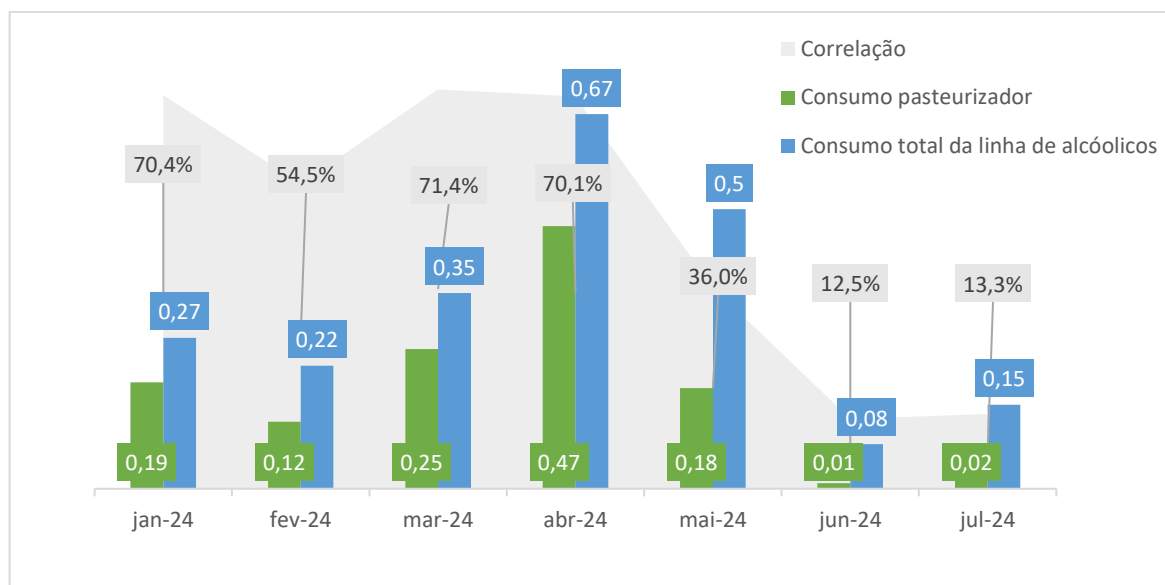
Ao verificar as automações com o time responsável foi constatado que já havia sinal de alerta no IHM da máquina para o caso dos tanques operando fora da faixa de temperatura admitida e consequentemente o acionamento automático da linha de água externa para regulação da temperatura dos tanques. Porém nenhum controle era realizado para relacionar a frequência desse acionamento. Esta melhoria foi realizada e implementada durante a parada já mencionada, onde uma variável criada acumula a contagem a cada necessidade de uso da linha de água externa para a regulação da temperatura dos tanques e são visualizados através do IHM do pasteurizador e acompanhamento online através do Grafana. Para o caso de reincidência o operador foi orientado a gerar um pedido de inspeção para o time de manutenção.

Para efeito de padronização das ações, foi adicionado ao plano de manutenção da máquina inspeções com periodicidade anual de todas as linhas de ligação entre os tanques pares e análise dos sensores de temperatura de todos os tanques. Por fim, através dos fóruns entre as unidades, foi compartilhado as boas práticas aplicadas para as demais unidades que operam com equipamentos similares, contribuindo assim para a gestão e construção de conhecimento.

#### 4.6 ETAPA 6 – ACOMPANHAMENTO DOS RESULTADOS

Após a finalização das contramedidas, finalizadas durante o mês de maio de 2024, o consumo de água foi medido em junho e julho para a realização do acompanhamento. Na Figura 8 é possível observar a eficiência das contramedidas aplicadas na redução do consumo de água no pasteurizador da linha de envase de alcoólicos.

Figura 8. Resultado das contramedidas no consumo de água.



Fonte: autor, 2024.

Com os dados coletados, ficou evidenciado a melhora no consumo de água a partir da finalização das contramedidas aplicadas. Como era esperado, a influência do consumo de água no equipamento pasteurizador no resultado global do consumo de água da linha de envase de alcóolicos estava tendo grande influência e correlação, ao tornar o equipamento mais eficiente no consumo de água o resultado da linha seguiu o mesmo comportamento e voltou a ter um consumo eficiente quando comparado ao benchmarking disponível.

Ao fim, foi obtida uma queda de aproximadamente 88% no consumo em hectolitros de água por hectolitros de cerveja envasada e a influência do consumo de água do equipamento no consumo total da linha caiu 57,6%. Esses dados foram comparados utilizando o mês de março de 2024 e junho de 2024, já que o mês de maio de 2024 foi a transição entre a aplicação definitiva de contramedidas.

#### 4.7 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Além dos resultados evidenciados, outros aspectos positivos foram observados para a equipe responsável e a empresa, tais como:

- **Desenvolvimento de novas habilidades:** ao estudar a lógica e o funcionamento dos equipamentos, assim como todos os processos de automação envolvidos e os impactos existentes no processo, foi possível

desenvolver habilidades como análise de dados e resolução de problemas. Além disso, como o trabalho foi executado em paralelo com as atividades rotineiras da equipe, a gestão de tempo foi uma habilidade desenvolvida.

- **Trabalho em equipe e colaboração:** ao trabalhar com uma equipe multifuncional, foi possível entender a importância de todos para o desenvolvimento do trabalho e que a colaboração é a chave para entregas relevantes.
- **Benefícios econômicos:** a redução do consumo de água teve um impacto positivo financeiro para a companhia, que por motivos de objetivos para o presente trabalho não chegou a ser quantificado.

## 5 CONCLUSÃO

O presente trabalho apresentou um problema real de consumo de água em uma cervejaria industrial do estado de Pernambuco. Comparou dados com equipamentos que operavam de forma similar e evidenciou que o maior impacto para o problema era o equipamento conhecido como pasteurizador.

Após a constatação do sintoma, foram aplicadas as ferramentas da metodologia TPM para a estratificação de dados, entendimento da falha, descoberta da causa raiz e aplicação de contramedidas. Durante esse processo foram aplicadas as metodologias de entendimento do princípio fundamental de funcionamento, 5 porquês, e 5W1H.

Ao fim do trabalho foi possível observar uma significativa melhoria nos padrões de consumo de água da linha de envase de alcóolicos. Queda de 88% no consumo em hectolitros de água por hectolitros de cerveja envasada e diminuição de 57% na influência do consumo de água do equipamento pasteurizador sobre o consumo total de água da linha de envase de alcóolicos.

O trabalho além de resultados econômicos, foi um avanço na direção da 12º objetivo de desenvolvimento sustentável da organização das nações unidas, priorizando um consumo e produção responsáveis.

### 5.1 CONTRIBUIÇÕES

O trabalho apresenta uma valiosa abordagem sobre como enfrentar os desperdícios, desafios ambientais e transformá-los em oportunidades econômicas no contexto de uma cervejaria industrial. Suas contribuições acadêmicas, gerenciais e sociais podem tornar-se inspiração, abaixo segue o detalhamento para cada uma delas.

O emprego de método pode ser considerada uma contribuição acadêmica, a metodologia científica foi aplicada no desenvolvimento do trabalho, além disso utilizou-se as ferramentas da metodologia TPM para alcançar os objetivos propostos. Essa abordagem pode ser aplicada em qualquer contexto, inclusive fora no industrial, sendo assim possível sua extrapolação na busca de soluções para estratégias sustentáveis em vários contextos.

Já no âmbito gerencial, a eficiência hídrica alcançada após a aplicação das contramedidas (88% no consumo em hectolitros de água por hectolitros de cerveja envasada e queda de 57,6% na influência do consumo do equipamento pasteurizador sobre o consumo total da linha) é uma conquista para a gestão atual e um triunfo a ser compartilhado. Além disso, para a estratégia de custo, a redução no consumo é um enorme aliado, melhorando assim de forma direta a competitividade da empresa no mercado.

Outro importante ponto é a forma de se posicionar para o mercado, os ganhos obtidos são estratégias que facilitam o posicionamento da companhia perante o mercado como uma defensora da sustentabilidade e práticas que reduzem o impacto gerado pela produção no meio ambiente e recursos finitos.

Por fim, a conscientização e responsabilidade social desenvolvido pela equipe que atuou no projeto é um grande ganho, a partir disso, o senso crítico para evitar desperdícios foi afluído e a educação ambiental da importância do consumo responsável foi disseminado. Com mais pessoas possuindo essa educação ambiental, ganhos podem ser observados além da companhia, como em seus núcleos familiares, bairros e outros meios sociais que façam parte, tornando-se assim agentes transformadores.

## 5.2 LIMITAÇÕES E FUTUROS TRABALHOS

O presente trabalho obteve êxito no reestabelecimento do consumo de água eficiente na linha de envase de alcóolicos, entretanto, existem limitações a serem consideradas e oportunidades para expansão de ações sustentáveis no setor.

Durante a estratificação dos dados no consumo de água na linha de envase de alcóolicos, o projeto concentrou-se no maior impacto dos meses que obtiveram dispersão da meta, mas também seria interessante aprofundar o estudo de dados e comparações nos demais equipamentos, iniciando pela lavadora, segundo maior consumidor de água. Na outra face, também não foi estudado nenhum tipo de desperdício para outras matérias prima e insumo, como vapor, energia elétrica, embalagens, lubrificantes e outros químicos para a linha de envase de alcóolicos, podendo ser um objetivo de futuros estudos.

Além disso, não foram procurados dados de empresas concorrentes, fornecedores ou congressos de inovação do setor. Logo, existe espaço para aplicação

de inovações e melhorias que possam ter sido lançadas recentemente no mercado relacionados ao consumo hídrico responsável.

Por fim, um estudo mais detalhado sobre a viabilidade econômica das medidas implementadas também não foi realizado, tornando-se uma oportunidade para os futuros trabalhos, podendo ser utilizado para demonstrar aos gestores o impacto gerado e garantir apoio para as iniciativas voltadas para o consumo responsável dos recursos hídricos.

## REFERÊNCIAS

ALVES, Fábio. Manutenção Produtiva Total: entenda os 8 pilares do TPM. Kimia, 2023. Disponível em: <https://www.kimia.com.br/manutencao-produtiva-total-saiba-mais-sobre-os-pilares-do-tpm/>. Acesso em: 17 ago. 2024.

AMBEV; INSTITUTO AKATU; FUNDAÇÃO HEINRICH BÖLL. Manual de melhores práticas ambientais na indústria cervejeira. São Paulo: Ambev, 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DA INDÚSTRIA DA CERVEJA. CervBrasil lança primeiro anuário do Setor Cervejeiro. Disponível em: [http://www.cervbrasil.org.br/novo\\_site/](http://www.cervbrasil.org.br/novo_site/). Acesso em: 28 jul. 2024.

BORGES, Diego Marques. Aplicações das ferramentas básicas da qualidade: revisão narrativa da literatura. Ouro Preto: Instituto Federal de Minas Gerais – Campus Ouro Preto, 2024. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Tecnologia da Gestão da Qualidade). Disponível em: <https://repositorio.ifmg.edu.br/bitstreams/7ec43cf7-49ff-483f-9c59-475619d9784e/download>. Acesso em: 10 maio 2025.

BREARS, R. C. Why Sustainable Water Management is Critical for Industrial Success. Mitidaption, 21 out. 2024. Disponível em: <https://medium.com/mitidaption/why-sustainable-water-management-is-critical-for-industrial-success-a5d832157c22>. Acesso em: 07 jun. 2025.

BREWERS ASSOCIATION. Craft Brewer Definition. Boulder, CO: Brewers Association, 2024. Disponível em: <https://www.brewersassociation.org/statistics-and-data/craft-brewer-definition>. Acesso em: 07 jun. 2025.

BRUNI, José Carlos. A água e a vida. Tempo Social, v. 5, n. 1-2, p. 53-65, 1993.  
COMAC ITALIA. Como funciona uma envasadora. 2021. Disponível em: <https://www.comacitalia.pt/como-funciona-uma-enzasadora/>. Acesso em: 10 maio 2025.

CROPLEY, David H. Promoting Creativity and Innovation in Engineering Education. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, v. 9, n. 2, p. 161–171, abr. 2015. DOI:10.1037/aca0000008.

DENNIS, Pascal. *Produção Lean Simplificada: um guia para entender o sistema de produção mais poderoso do mundo*. Tradução: Rosalia Angelita Neumann Garcia. Porto Alegre: Bookman, 2008.

EGISA BREWERY SYSTEMS. Flash pasteurizador até 10.000L. Disponível em: <https://cervejarias.egisa.com.br/>. Acesso em: 04 ago. 2024.

FONTANA, D. H. G. *Elaboração de um modelo para o controle do processo de pasteurização em cerveja envasada (in-package)*. 2009. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

IBGE. A cada R\$ 1 de valor adicionado bruto gerado em 2020, foram consumidos 6,2 litros de água. *Economia – UOL Notícias*, 2 jun. 2023. Disponível em: <https://economia.uol.com.br/noticias/estadao-conteudo/2023/06/02/ibge-a-cada-r-1-de-valor-adicionado-bruto-gerado-em-2020-foram-consumidos-62-litros-de-agua.htm>. Acesso em: 7 jun. 2025.

KRONES AG. *Manual de Treinamento: Controlador de Válvula de Enchimento KFS-3*. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/709387883/11-E-000-051>. Acesso em: 10 maio 2025.

LOFTING, E. Everard; DAVIS, H. Craig; BOWER, D. *Methods for Estimating and Projecting Water Demands for Water Resources Planning*. In: National Academies Press, 1976. Capítulo 3 – “Industrial Water Demands”.

MAIA, Ana Sofia Pico. *Pasteurização*. 2012. Tese (Doutorado) – Instituto Politécnico de Tomar, 2012.

MACHADO, Jean; MAFRA, Mirela Ribeiro; RODRIGUES, Paula Vitória. Análise do controle de qualidade na indústria cervejeira. Vitória: Faculdade Multivix, 2021. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2022/03/analise-do-controle-de-qualidade-na-industria-cervejeira.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.

MEDEIROS, C. K.; RUFINO, I. A. A.; ARAGÃO, R. Consumo de água e crescimento urbano: análises espaciais e relações possíveis. Urbe – Revista Brasileira de Gestão Urbana, 16, e20230039, 2024. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/hCKRTrCgjjh4Q57W775Kcyx/>

MIERZWA, José Carlos; ESPÍNDOLA, Jonathan; HESPANHOL, Ivanildo. Água na indústria: uso racional e reúso. São Paulo: Oficina de Textos, 2021.

NAKAJIMA, Seiichi. Introduction to TPM: Total Productive Maintenance. 1. ed. Cambridge: Productivity Press, 1988.

NOVOVIC, G. A agenda 2030 pode trazer “localização”? Limitações políticas da agenda 2030 no sistema de governança global mais amplo. Development Policy Review, v. 40, p. e12587, 2022.

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). Disponível em: <https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em: 05 out. 2024.

PALADINI, Edson Pacheco. Gestão da Qualidade: Teoria e Prática. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2012.

PANORAMA global da distribuição e uso de água doce. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336787351\\_Panorama\\_global\\_da\\_distribui\\_cao\\_e\\_uso\\_de\\_agua\\_doce](https://www.researchgate.net/publication/336787351_Panorama_global_da_distribui_cao_e_uso_de_agua_doce). Acesso em: 7 jun. 2025.

PROWM. Current Challenges in Tunnel Pasteurizer Efficiency. 2024. Disponível em: <https://www.prowm.com>. Acesso em: 11 jun. 2025.

REBELLO, Flávia De Floriani Pozza. Produção de cerveja. Revista Agrogeoambiental, p. 11-11, 2009.

RIBÉREAU-GAYON, J. Tratado de enologia: ciências e técnicas do vinho. Buenos Aires: Hemisferio Sur, 1998. v. 4.

RIZZON, Luiz A.; MENEGUZZO, J. Suco de uva. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2007.

ROSA, Francisco Reginaldo da; ALVES, Hélio Divino; CARVALHO, Mayara Jennifer. Melhoria contínua no processo produtivo através da metodologia TPM. In: ANAIS DO III & IV CONGRESSO CIENTÍFICO DA PRODUÇÃO DA UNIVERSIDADE DO VALE DO SAPUCAÍ 2014/2015. p. 206.

ROMPELMAN, Otto; DE VRIES, Jan. Practical training and internships in engineering education: Educational goals and assessment. Delft University of Technology, 2002. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/233376011\\_Practical\\_training\\_and\\_internships\\_in\\_engineering\\_education\\_Educational\\_goals\\_and\\_assessment](https://www.researchgate.net/publication/233376011_Practical_training_and_internships_in_engineering_education_Educational_goals_and_assessment). Acesso em: 7 jun. 2025.

SANTANA, Thais Silva. Controle de qualidade nas cervejarias do Brasil. [S. l.]: Cruzeiro do Sul Educacional, 2022. Disponível em: [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/30515/1/THAIS\\_SILVA\\_SANTANA\\_ATIVIDADE3.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/30515/1/THAIS_SILVA_SANTANA_ATIVIDADE3.pdf). Acesso em: 10 maio 2025.

SANTOS, S. P. Os primórdios da cerveja no Brasil. 1. ed. Cotia: Ateliê Editorial, 2003. SILVA, Hiury Araújo; LEITE, Maria Alvim; PAULA, A. R. V. de. Cerveja e sociedade. Contextos da Alimentação – Revista de Comportamento, Cultura e Sociedade, v. 4, n. 2, p. 7, 2016.

SILVA, Samara. Análise do gerenciamento da informação ao longo do ciclo de vida do produto: estudo de caso em uma empresa do setor metalúrgico. Ouro Preto: Universidade Federal de Ouro Preto, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção). Disponível em:

[https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2480/1/MONOGRAFIA\\_An%C3%A1liseGerenciamentoInforma%C3%A7%C3%A3o.pdf](https://monografias.ufop.br/bitstream/35400000/2480/1/MONOGRAFIA_An%C3%A1liseGerenciamentoInforma%C3%A7%C3%A3o.pdf). Acesso em: 10 maio 2025.

SINDICATO NACIONAL DA INDÚSTRIA DA CERVEJA – SINDICERV. Mercado. Disponível em: <http://www.sindicerv.com.br>. Acesso em: 30 ago. 2009.

SOLENIS (mantida por Diversey). Tratamento da água do túnel pasteurizador. [S.l.]: Solenis/Diversey, 2024. Disponível em: <consultado em 11 jun. 2025>.

SOURCELINE MACHINERY. Used Krones 120 Valve Sensomatic Triblock Filler. Disponível em: <https://sourcelinemachinery.com/listings/used-krones-120-valve-sensomatic-triblock-filler/>. Acesso em: 26 abr. 2025.

SOUZA, Bárbara Müller de. Tecnologias emergentes no processo de pasteurização da cerveja: uma revisão. 2021.

SOUZA, Ernandes Oliveira de; RODRIGUES, Stéfanny Guimarães. Princípios de funcionamento de motores e geradores de energia. Universidade de Rio Verde, 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Mecânica). Disponível em: <https://www.unirv.edu.br/conteudos/fckfiles/files/TCC%20ERNANDES.pdf>. Acesso em: 10 maio 2025.