



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LICENCIATURA EM QUÍMICA AMBIENTAL

ESTÁGIO LABORAL

## **Possibilidade de Reutilização de Efluentes Industriais: Caso de Empresa Refrigerantes Spar, LDA**

**AUTOR:** Hermenegildo Mário Tinga

Maputo, 2024



FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LICENCIATURA EM QUÍMICA AMBIENTAL

ESTÁGIO LABORAL

## **Possibilidade de Reutilização de Efluentes Industriais: Caso de Empresa Refrigerantes Spar, LDA**

**SUPERVISORA:** Mestre Noor Jehan Gulamussen

**CO-SUPERVISOR:** Eng Tomé Feliciano Maneno

## DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho à minha família, especialmente aos meus pais Mário Tinga e Isabel Wachisso, a todos os meus irmãos e namorada, pela educação, apoio, motivação, companheirismo e amizade.

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pela oportunidade de existir e por permitir que eu realizasse um dos meus sonhos.

À minha Supervisora Mestre Noor Jehan Gulamussen e ao meu Co-Supervisor Eng Tomé Feliciano Maneno, expresso minha gratidão pela atenção, orientação e paciência ao longo do processo de elaboração deste trabalho.

O meu agradecimento estende-se aos demais professores do Departamento de Química, pelas suas aulas e inspiração.

A todos os colaboradores da Refrigerantes Spar, especialmente a Eng Edna e Eng Tomé pelo espaço concedido para o meu estágio, e a toda a equipa do laboratório (Mário, Elisabeth, Cuna, Gélsio, Dário, Tilda e Balane).

Aos meus pais Mário Tinga e Isabel Wachisso pelo apoio moral e financeiro.

Agradeço aos meus irmãos (Marcela, Luísa e Osvaldo) e à minha querida namorada Nurcha por estarem sempre ao meu lado, proporcionando alegria e energia positiva para alcançar o sucesso.

Aos meus amigos Benilde e Boane, o meu sincero agradecimento por permanecerem ao meu lado em todos os momentos.

Muito obrigado!

### **DECLARAÇÃO DE HONRA**

Declaro pela minha honra que este trabalho de finalização do Curso de Licenciatura em Química Ambiental, com o tema “Possibilidade de reutilização de efluentes industriais: Caso de empresa refrigerantes Spar, LDA”, é da minha autoria e foi elaborado com base nos recursos que ao longo do texto se faz referência.

Maputo, Julho de 2024

O Autor

---

(Hermenegildo Mário Tinga)

## RESUMO

Este trabalho resulta de um estágio realizado na indústria de produção de refrigerantes (Refrigerantes Spar, Lda) com o objectivo de estudar a possibilidade de reutilização do efluente resultante da lavagem das garrafas PET de 18,9 L para alimentação da torre de arrefecimento e caldeira. Para avaliação da qualidade do efluente para a reutilização, foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos, usando os métodos: condutimétrico, potenciométrico, espectrofotometria de absorção molecular e método de Mohr, de modo a avaliar a possibilidade de reutilização desta água na alimentação de torres de arrefecimento e caldeira.

Foram determinados os seguintes parâmetros que apresentam os resultados: pH ( $8.8 \pm 0.3$ ); TDS ( $120 \pm 9$  ppm); condutividade ( $181.5 \pm 12.3$   $\mu\text{S/cm}$ ); alcalinidade ( $48 \pm 7$  ppm); dureza total ( $14 \pm 3$  ppm); cloretos ( $32.9 \pm 3.5$  ppm) e ferro total ( $0.02 \pm 0.01$  ppm).

Os resultados foram comparados com os padrões de qualidade de água estabelecidos pela Agência de Protecção Ambiental (EPA) e Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos (ASME) para alimentação de torres de arrefecimento e da caldeira respectivamente. O efluente resultante da lavagem das garrafas está fora dos parâmetros de água para alimentação da caldeira e torre de arrefecimento conforme as normas da ASME e EPA respectivamente.

O volume total do efluente gerado no processo de lavagem das garrafas PET é de  $4,13 \text{ m}^3/\text{dia}$  que podem ser destinados à alimentação da caldeira.

Palavras-chave: Reuso de efluente. Qualidade de água. Caldeira. Torre de arrefecimento

## **LISTA DE ABREVIATURAS**

A1 - Água bruta

A2 - Água tratada

A3 - Efluente de lavagem das garrafas

1A, 1B, 2A e 2B – Composição dos concentrados

ANA - Agência Nacional de Água

ASME - Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos

cm<sup>3</sup> - Centímetro cúbico

D1 - Primeiro dia de Análise

D2 - Segundo dia de Análise

D3 - Terceiro dia de Análise

D4 - Quarto dia de Análise

D5 - Quinto dia de Análise

EPA - Agência de Protecção Ambiental

FIPAG - Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água

IC - Intervalo de Confiança

L - Litro

pH - Potencial de Hidrogénio

Psi – Libra-força por polegada quadrado

ppm- parte por milhão

RS – Refrigerantes Spar

TDS - Sólidos Totais Dissolvidos

UV – Radiação ultravioleta

UEM – Universidade Eduardo Mondlane

## ÍNDICE GERAL

|                                                                                      |     |
|--------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| DEDICATÓRIA .....                                                                    | i   |
| AGRADECIMENTOS.....                                                                  | ii  |
| DECLARAÇÃO DE HONRA.....                                                             | iii |
| RESUMO .....                                                                         | iii |
| LISTA DE ABREVIATURAS .....                                                          | v   |
| ÍNDICE GERAL .....                                                                   | vii |
| ÍNDICE DE TABELAS DO ANEXOS .....                                                    | xi  |
| 1. INTRODUÇÃO .....                                                                  | 1   |
| 1.1. Objectivos .....                                                                | 2   |
| 1.1.1. Objectivo geral .....                                                         | 2   |
| 1.1.2. Objectivos específicos.....                                                   | 2   |
| 1.2. Pergunta de pesquisa .....                                                      | 3   |
| 1.3. Justificativa.....                                                              | 3   |
| 1.4. Metodologia do trabalho .....                                                   | 3   |
| 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....                                                       | 5   |
| 2.1. O tratamento da água para torres de arrefecimento.....                          | 5   |
| 2.1.1. A corrosão .....                                                              | 5   |
| 2.1.2. Desenvolvimento microbiano .....                                              | 6   |
| 2.1.3. Depósito e incrustação .....                                                  | 7   |
| 2.1.4. Padrões de qualidade da água para alimentação da torre de arrefecimento ..... | 7   |
| 2.2. Tratamento das águas para alimentação de caldeiras .....                        | 8   |
| 2.2.1. Padrões de qualidade da água para alimentação de caldeiras .....              | 10  |
| 2.3. Fábrica Refrigerantes Spar .....                                                | 10  |
| 2.3.1. Tratamento e distribuição de água na Refrigerantes Spar.....                  | 10  |
| 2.3.2. Processo de enchimento de garrafas 18,9 litros .....                          | 12  |
| 3. PARTE EXPERIMENTAL .....                                                          | 14  |

|        |                                                                                                                           |    |
|--------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 3.1.   | Descrição do local do estágio .....                                                                                       | 14 |
| 3.2.   | Materiais, reagentes e equipamentos .....                                                                                 | 14 |
| 3.2.1. | Materiais.....                                                                                                            | 14 |
| 3.2.2. | Reagentes .....                                                                                                           | 15 |
| 3.2.3. | Equipamentos.....                                                                                                         | 15 |
| 3.3.   | Procedimentos de quantificação do efluente .....                                                                          | 15 |
| 3.4.   | Pontos de colectas das amostras .....                                                                                     | 15 |
| 3.5.   | Comparação da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas PET<br>18,9L .....                              | 16 |
| 3.6.   | Procedimento de análises químicas .....                                                                                   | 17 |
| 3.6.1. | Determinação de cloretos .....                                                                                            | 17 |
| 3.6.2. | Determinação do pH .....                                                                                                  | 18 |
| 3.6.3. | Determinação da condutividade eléctrica e TDS .....                                                                       | 18 |
| 3.6.4. | Determinação de ferro total, alcalinidade e dureza total.....                                                             | 18 |
| 4.     | RESULTADOS E DISCUSSÃO.....                                                                                               | 19 |
| 4.1.   | Resultados e discussão das análises físico-químicas.....                                                                  | 19 |
| 4.1.1. | Cloretos .....                                                                                                            | 19 |
| 4.1.2. | pH.....                                                                                                                   | 20 |
| 4.1.3. | Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) .....                                                                                  | 21 |
| 4.1.4. | Ferro .....                                                                                                               | 22 |
| 4.1.5. | Condutividade .....                                                                                                       | 23 |
| 4.1.6. | Alcalinidade .....                                                                                                        | 24 |
| 4.1.7. | Dureza Total.....                                                                                                         | 25 |
| 4.2.   | Resultados da quantificação do efluente .....                                                                             | 26 |
| 4.3.   | Avaliação quantitativa de água para o reuso .....                                                                         | 27 |
| 4.4.   | Comparação dos resultados das análises físico-químicas dos efluentes de lavagem<br>das latas e lavagem das garrafas ..... | 28 |

|                                                          |    |
|----------------------------------------------------------|----|
| 4.5. Proposta de reutilização de água na indústria ..... | 29 |
| 5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....                      | 31 |
| 5.1. Conclusões.....                                     | 31 |
| 5.2. Recomendações .....                                 | 31 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....                         | 32 |
| ANEXOS .....                                             | A  |

## ÍNDICE DE TABELAS

|                                                                                                                                                                                                                                   |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabela 1: Qualidade da água recomendada para torres de arrefecimento com recirculação.....                                                                                                                                        | 8  |
| Tabela 2: Resumo de parâmetros, respectivas interferências nas caldeiras e meios de tratamento.....                                                                                                                               | 9  |
| Tabela 3: Parâmetros químicos e limites aceitáveis da qualidade da água para alimentação da caldeira.....                                                                                                                         | 10 |
| Tabela 4: Parâmetros e métodos usados .....                                                                                                                                                                                       | 17 |
| Tabela 5: Comparação de resultados de análises físico-químicas do efluente de lavagem das garrafas e efluente de lavagem das latas com os padrões de qualidade de água para alimentação da torre de arrefecimento e caldeira..... | 28 |

## ÍNDICE DE FIGURAS

|                                                                                                                          |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1: Diagrama de representação dos tipos de tratamento de água para alimentação da caldeira.....                    | 8  |
| Figura 2: Tratamento da água usada pela indústria de refrigerantes .....                                                 | 11 |
| Figura 3: Lavadora de garrafas .....                                                                                     | 12 |
| Figura 4: Enchedora de água.....                                                                                         | 13 |
| Figura 5: Fluxograma que ilustra o local de amostragem da água .....                                                     | 16 |
| Figura 6: Diferenças entre as amostras de água bruta (A1), água tratada (A2) e efluente de lavagem das garrafas(A3)..... | 16 |
| Figura 7: Resultados de análise de cloretos de A1, A2 e A3 .....                                                         | 19 |
| Figura 8: Resultados de análise de pH de A1, A2 e A3 .....                                                               | 20 |
| Figura 9: Resultados de análise de total de sólidos dissolvidos de A1, A2 e A3 .....                                     | 21 |
| Figura 10: Resultados de análise de ferro total de A1, A2 e A3 .....                                                     | 22 |
| Figura 11: Resultados de análise da condutividade de A1, A2 e A3 .....                                                   | 23 |
| Figura 12: Resultados de análise de alcalinidade de A1, A2 e A3 .....                                                    | 24 |
| Figura 13: Resultados de análise de dureza total de A1, A2 e A3 .....                                                    | 25 |
| Figura 14: Gráfico de quantificação do efluente .....                                                                    | 26 |
| Figura 15: Proposta da reutilização da água da lavagem das garrafas PET.....                                             | 30 |

## **ÍNDICE DE TABELAS DO ANEXOS**

### **Anexo 1**

#### **Tabelas:**

|                                                                                           |   |
|-------------------------------------------------------------------------------------------|---|
| A1.1: Dias, horas de produção e volume de efluente gerado.....                            | A |
| 1.2: Parâmetros físico-químicos de água tratada segundo padrões da Coca-Cola Company..... | A |

### **Anexo 2**

|                                                                                   |   |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---|
| A1.3: Resultados das análises de água bruta, tratada e efluente das garrafas..... | B |
|-----------------------------------------------------------------------------------|---|

### **Anexo 3**

#### **Figuras:**

|                                                                         |   |
|-------------------------------------------------------------------------|---|
| A1.1: Amostra de água (A1) e efluente de lavagem das garrafas (A3)..... | C |
| A1.2: Amostra de água tratada.....                                      | C |
| A1.3. Espectrofotômetro de absorção molecular.....                      | C |

## 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso essencial à existência da vida no planeta e indispensável para o desenvolvimento das diversas actividades realizadas pelo ser humano, apresentando por esta razão, valores económico, social e cultural (Beekman, 1998). Segundo Braga *et al.* (2005), a água encontra-se disponível sob várias formas e é uma das substâncias mais comuns existentes na natureza, cobrindo cerca de 70% da superfície do planeta.

A quantidade de água disponível no mundo permanece constante pois é continuamente renovada através do ciclo hidrológico. No entanto, devido ao uso excessivo, a disponibilidade da água potável está diminuindo. A maior parte da água no planeta, aproximadamente 97,5% é salgada e está nos oceanos, e apenas 2,5% é doce. Deste total de 2,5%, 2% está armazenada em glaciares, deixando apenas 0,3% disponível em rios e lagos na superfície terrestre e 0,2% no subsolo (Pena, 2014).

Nas indústrias, a água desempenha diversas funções, podendo ser utilizada como matéria-prima, sendo incorporada ao produto final, ou recurso auxiliar em diferentes etapas do processo industrial, como preparação de matérias-primas, fluído de transporte, fluído de aquecimento, refrigeração e limpeza de equipamentos. O consumo de água na indústria varia conforme o sector de actuação, a disponibilidade de água para o uso, os locais e idade das instalações (Mierzwa & Hespanhol, 2005).

As indústrias de refrigerantes, de maneira geral, requerem grandes quantidades de água potável, o que gera grandes quantidades de águas residuais durante os diferentes processos (Cunha, 2019). A composição básica do refrigerante é de 88% do volume final de água, 8 a 12% do volume final de açúcar e 1-2% do volume final de outros ingredientes e aditivos (Patrícia, 2019).

O crescimento acelerado da população, o processo da urbanização, o desenvolvimento industrial e tecnológico e expansão da agricultura para produção de alimentos, são alguns factores que contribuem para a situação crítica dos recursos hídricos. No entanto, a influência destes factores varia significativamente de região para região, dependendo de características locais como o clima, a disponibilidade natural de água e o grau de desenvolvimento económico. Os cientistas têm alertado a população sobre a possibilidade de uma crise no

abastecimento de água, destacando uma significativa redução na disponibilidade de água potável em todo o mundo, podendo até mesmo levar a escassez total (Machado, 2004).

A escassez e a crescente demanda de água para satisfazer o consumo doméstico e industrial, acabam estimulando diversas formas de reutilização de efluentes, fazendo com que as indústrias utilizem cada vez mais novas tecnologias de tratamento, buscando benefícios ambientais a fim de diminuir a descarga de poluentes (Marcucci e Tognotti, 2002 citado por Galvão, 2010).

O reuso da água contribui para a diminuição da pressão sobre os recursos hídricos, permitindo a substituição de água de alta qualidade por água de qualidade inferior, desde que seja adequada para o uso específico desejado. Este processo conhecido como substituição de fonte permite que grandes quantidades de água potável sejam preservadas, utilizando-se água proveniente de efluentes tratados para demandas que não exigem água potável. Essa prática não apenas conserva água, mas também gera vantagens económicas significativas ao reduzir os custos associados ao tratamento e distribuição da água potável (Maron Júnior, 2006).

Este trabalho tem como propósito o estudo da possibilidade de reutilização de efluentes industriais com vista á redução de desperdícios de água e geração de efluente.

## **1.1.Objectivos**

### **1.1.1. Objectivo geral**

- ❖ Avaliar a possibilidade de reutilização de efluente resultante da lavagem das garrafas PET de 18,9 L para alimentação da caldeira e torre de arrefecimento na indústria de refrigerantes Spar.

### **1.1.2. Objectivos específicos**

- ❖ Determinar parâmetros de qualidade do efluente resultante da lavagem das garrafas PET de 18,9 L;
- ❖ Comparar os resultados obtidos com as normas de especificações de água para alimentação de caldeira e torre de arrefecimento;
- ❖ Avaliar a qualidade do efluente e a possibilidade de reutilização para a alimentação da caldeira e da torre de arrefecimento;
- ❖ Quantificar o efluente gerado no processo de lavagem das garrafas.

## 1.2.Pergunta de pesquisa

Como otimizar o uso da água dentro de uma indústria de produção de refrigerantes?

## 1.3.Justificativa

A optimização do uso de água na indústria de refrigerante é essencial para reduzir custos, minimizar desperdícios e promover a sustentabilidade ambiental. O estudo da reutilização de água na indústria de refrigerantes é justificado por diversos motivos. A conservação dos recursos hídricos é crucial em face da crescente escassez de água em muitas regiões do mundo. A escassez de água em Maputo tem sido um problema crónico, agravado por uma combinação de factores climáticos, infraestrutura inadequada e crescimento urbano acelerado. Além disso, a redução do consumo da água fresca contribui para a sustentabilidade ambiental e na minimização do impacto da indústria sobre os ecossistemas aquáticos. Economicamente, o reaproveitamento da água pode gerar economia de custos significativa, seja através da redução do fornecimento da água da rede pública, da redução da captação de água do furo, como do tratamento de efluentes.

## 1.4.Metodologia do trabalho

O presente trabalho obedeceu aos seguintes passos para a sua elaboração:

**Revisão bibliográfica:** consistiu na consulta de diversos livros, artigos científicos, dissertações, teses de doutoramento, trabalhos de licenciatura e fontes da internet de informações sobre reutilização da água na indústria, e qualidade da água para alimentação de caldeira e torres de arrefecimento.

**Parte experimental** consistiu em:

- ❖ Selecção dos pontos de amostragem;

### **Critérios de selecção dos pontos de amostragem**

A selecção dos pontos de amostragens foi feita em função de:

**Pontos com variações da qualidade de água ao longo do processo:** Escolha dos pontos onde possam ocorrer alterações na qualidade da água, antes e depois do tratamento assim como após a operação da lavagem das garrafas.

**Pontos relevantes para o processo:** escolha dos pontos que representam etapas críticas do processo, estrada da água bruta (usada para a alimentação da caldeira e torre de arrefecimento), água tratada (utilizada para a lavagem das garrafas) e efluente gerado após a lavagem das garrafas.

- ❖ Quantificação do efluente gerado;
- ❖ Análise da qualidade da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas.

**Tratamento estatístico:** O tratamento estatístico foi realizado com base no Excel onde se calculou as médias, desvio padrão e intervalo de confiança.

**Análise e discussão dos resultados:** Os resultados obtidos nas análises laboratoriais foram apresentados em gráficos de barras, tabelas e foram comparados com os padrões da qualidade da água para alimentação de caldeira e torres de arrefecimento.

**Elaboração do relatório final:** com base nas informações colhidas da revisão bibliográfica, parte experimental, tratamento de dados e respectiva interpretação foi elaborado o relatório final respeitando o regulamento para apresentação de relatório de estágio laboral vigente na Faculdade de Ciências da UEM.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Este capítulo apresenta uma revisão sobre a descrição dos processos de tratamento de água para torre de arrefecimento e caldeira bem como a descrição dos processos de tratamento de água realizados na empresa refrigerantes Spar.

### 2.1.O tratamento da água para torres de arrefecimento

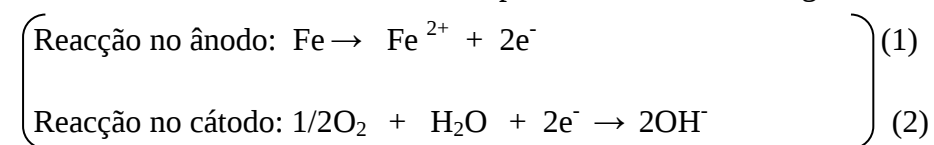
Os principais problemas que afectam os sistemas de arrefecimento são os processos corrosivos, a formação de depósitos e o desenvolvimento de microrganismos. Estes problemas são capazes de gerar perda de eficiência operacional e até mesmo a paralisação do sistema ou da unidade que dele depende (Pereira, 2007).

#### 2.1.1. A corrosão

A corrosão é um processo que consiste na deterioração de material geralmente metálico por acção química ou electroquímica do meio ambiente (Gentil, 2017).

Os problemas relacionados com a corrosão em meio aquoso dependem de alguns factores tais como o pH, sólidos dissolvidos e suspensos, sais dissolvidos, gases dissolvidos, crescimento microbiológico e temperatura da água. As causas mais comuns da corrosão pela água é a presença de oxigénio dissolvido e outros gases como dióxido de carbono e de enxofre que formam ácidos quando dissolvidos em água (Drew, 1988 citado por Pollo, 2004).

O exemplo mais comum da corrosão de ferro em meio aquoso que acontece frequentemente em sistema de torre de arrefecimento, pode ser descrito nas seguintes semi-equações:



A solução para os problemas de corrosão em sistema de arrefecimento envolve a aplicação de produtos químicos denominados inibidores, que são substâncias ou misturas que, quando presentes em concentrações adequadas no meio corrosivo, reduzem ou eliminam a corrosão. Podem ser classificados em anódicos, catódicos e de adsorção (Gentil, 2017).

#### Inibidores anódicos

Estes inibidores actuam especialmente nas áreas anódicas do metal, onde há transferência de electrões e formação de iões com estados de oxidação superiores. Algumas substâncias como hidróxidos, carbonatos, silicatos, boratos e fosfatos terciários de metais alcalinos são

inibidores anódicos porque reagem com os iões metálicos produzidos no ânodo, formando produtos insolúveis que têm acção protectora (Mello, 2008).

### **Inibidores catódicos**

O mecanismo de acção também se baseia na formação de barreiras e filmes protectores, que restringem o fluxo de iões hidrogénio, hidróxidos e oxigénio para as superfícies catódicas que completam as reacções de corrosão. Os sais de zinco, de magnésio e de níquel são usados como inibidores catódicos, pois esses iões formam com o  $\text{OH}^-$  na área catódica os respectivos hidróxidos insolúveis, cessando o processo corrosivo. Os inibidores catódicos são considerados mais seguros que os anódicos, mesmo em concentrações menores, porque actuam fazendo uma polarização catódica, e como o metal no cátodo não entra em solução mesmo não estando totalmente coberto, não haverá corrosão localizada acentuada nestas áreas (Mello, 2008).

### **Inibidores de adsorção**

Estes tipos de inibidores actuam nas áreas catódicas e anódicas. Os inibidores mistos incluem substâncias orgânicas polares que criam uma camada aderente ao metal que minimiza a acção do meio corrosivo. As substâncias orgânicas que actuam como inibidores mistos necessitam de conter grande quantidade de heteroátomos tais como oxigénio, nitrogénio e enxofre por serem polares e capazes de produzir uma película que será adsorvida na superfície do metal. As películas formadas são afectadas por diversos factores, tais como, velocidade do fluído, volume e concentração do inibidor, temperatura do sistema, tempo de contacto entre o inibidor e a superfície metálica e a composição do fluído do sistema (Gentil, 2017)

#### **2.1.2. Desenvolvimento microbiano**

O crescimento exagerado de algas, bactérias e fungos em sistemas de arrefecimento pode causar formação de depósitos chamados de biofilme e estes podem interferir no fluxo de água através dos trocadores de calor e das tubulações, inibindo a transferência de calor e contribuindo para a corrosão de todo o sistema de arrefecimento. Alguns factores como oxigénio dissolvido, pH, luz solar e nutrientes abundantes influenciam no crescimento dos microrganismos (Souza, 2007).

O combate ao desenvolvimento microbiano pode ser feito pelo uso de biocidas oxidantes (que possuem acção satisfatória no combate ao desenvolvimento de algas e bactérias aeróbias), biodispersantes (possuem uma melhor acção sobre bactérias formadoras de limo e bactérias anaeróbias) e biocidas não-oxidantes (que têm boa acção sobre fungos, algas e bactérias) (Pereira, 2007).

**Biocidas oxidantes:** oxidam importantes componentes celulares dos micro-organismos, resultando na morte destes. Os biocidas oxidantes mais usados são: cloro gasoso e hipoclorito de sódio (Nalco, 2009).

**Biocidas não-oxidantes:** são compostos orgânicos que reagem com componentes específicos das células dos microrganismos, causando o envenenamento enzimático destes e destruindo-os. Os biocidas não-oxidantes mais usados são: sais quaternários de amónio e agentes organossulfurosos (Nalco, 2009).

**Biodispersantes:** não matam os microrganismos, causam o amolecimento dos biofilmes, desprendendo estes das superfícies metálicas e assim removendo-os através das purgas no sistema. A adição, também previne a formação dos biofilmes, os biodispersantes mais usados são: etilenoglicol e amidas gordas (Nalco, 2009).

### **2.1.3. Depósito e incrustação**

As incrustações são definidas como acúmulo de material inorgânico, duro e aderente, e os depósitos como material fracamente aderido à superfície metálica. A presença de depósitos e incrustações reduzem a área transversal de fluxo do sistema de distribuição de água e age como isolante térmico nas superfícies de troca de calor diminuindo a troca térmica (Martins, 2009). As incrustações e depósitos são favorecidos por alguns factores tais como a temperatura, alcalinidade, pH, concentração de iões e pressão de escoamento, geralmente os principais responsáveis pela formação de incrustações são os sais de cálcio e magnésio, sílica e silicato, e óxido de ferro (Seneviratne, 2007 citado por Bento, 2021).

Para prevenir a precipitação das impurezas, são empregadas substâncias designados de dispersantes (co-polímeros acrílicos, policrilatos e fosfanatos), que são adsorvidos pelas partículas em suspensão. O produto adsorvido sobre a partícula confere-lhe cargas eléctricas, fazendo com que as mesmas exerçam forças de repulsão entre elas e assim, permaneçam dispersas, ou seja o dispersante actua de modo oposto à coagulação (Trovati, 2004).

### **2.1.4. Padrões de qualidade da água para alimentação da torre de arrefecimento**

A qualidade da água que alimenta os sistemas de arrefecimento deve atender a alguns parâmetros definidos pela (EPA, 1992) como mostra a Tabela 1. Muitos desses contaminantes podem ser controlados com a adição de inibidores de incrustações e de corrosão.

Tabela 1: Qualidade da água recomendada para torres de arrefecimento com recirculação

| Parâmetros                   | Limites admissíveis |
|------------------------------|---------------------|
| pH                           | 6.9-9.0             |
| Alcalinidade                 | 350 ppm             |
| Dureza total                 | 650 ppm             |
| Cloretos                     | 500 ppm             |
| Ferro total                  | 0.5 ppm             |
| Total de Sólidos Dissolvidos | 500 ppm             |

Fonte: EPA (1992)

## 2.2.Tratamento das águas para alimentação de caldeiras

A eficiência de uma caldeira é extremamente dependente da qualidade da água disponível para a sua alimentação. A água tem uma tendência a dissolver uma série de substâncias, tais como sais, óxidos, hidróxidos, diversos materiais e alguns gases, motivo pelo qual nunca é encontrada pura na natureza. Estas impurezas causam problemas nas caldeiras podendo formar incrustações ou acelerar os processos corrosivos. Existem diversos métodos de tratamentos que podem ser agrupados em dois grupos: tratamento interno e externo como ilustra a imagem 1 (Trovati, 2009).

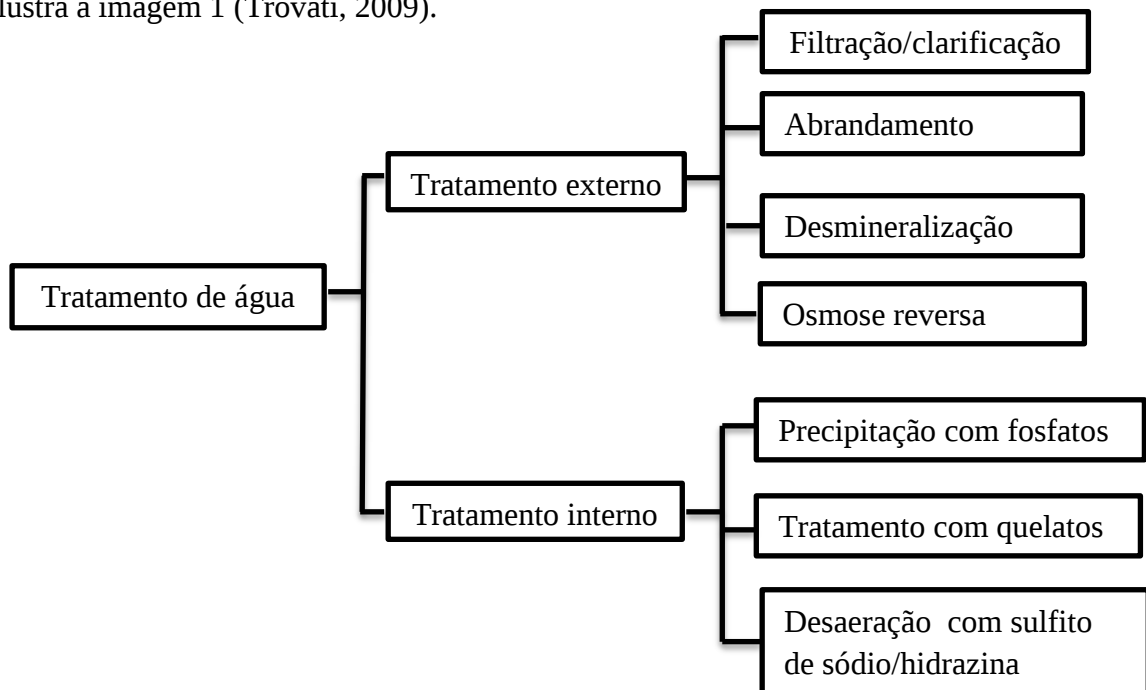


Figura 1: Diagrama de representação dos tipos de tratamento de água para alimentação da caldeira

Os dois tipos de tratamento usados para o tratamento de água para caldeira são usados em simultâneo. O tratamento externo reduz a carga de contaminantes na água antes que ela entre na caldeira e o tratamento interno actua para neutralizar ou controlar as impurezas restantes, assegurando a operação segura e eficiente do sistema. A combinação desses dois tipos de tratamento é essencial para prolongar a vida útil da caldeira, minimizar custos e manutenção.

Na tabela 2 são apresentados os parâmetros de qualidade da água, os problemas que podem ser causados na presença destes e os métodos de tratamento.

Tabela 2: Resumo de parâmetros, respectivas interferências nas caldeiras e meios de tratamento

| Parâmetros    | Problemas                                                                                                                                                                                                                                                    | Métodos de tratamento                                                                           |
|---------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| pH            | Os valores de pH ácido e alcalino influenciam na corrosão da caldeira. A maioria das águas naturais possuem um pH de 6.0-8.0                                                                                                                                 | O pH pode ser ajustado usando uma base ou um ácido                                              |
| Dureza total  | Presença de sais de cálcio e magnésio. Maior fonte de incrustações em equipamento de troca térmica, caldeiras e linhas de tubos.                                                                                                                             | Abrandamento, troca iónica e tratamento interno para caldeiras.                                 |
| Ferro         | Mancha a água de precipitação; fonte de depósitos nas linhas de água, caldeira.                                                                                                                                                                              | Aeração, coagulação e filtração, troca catiónica e desmineralização                             |
| Alcalinidade  | Bicarbonatos ( $\text{HCO}_3^-$ ), carbonatos ( $\text{CO}_3^{2-}$ ) e hidróxidos ( $\text{OH}^-$ ). Cria espuma e arraste com vapor; fragilização do aço da caldeira; bicarbonatos e carbonatos produzem $\text{CO}_2$ no vapor que influencia na corrosão. | Abrandamento com cal e soda cáustica, tratamento com ácido e desmineralização por troca iónica. |
| Condutividade | Causa problemas de arraste, contaminação das resinas, entupimento nas tubulações e                                                                                                                                                                           | Abrandamento com cal e troca catiónica, desmineralização, osmose reversa, electrodialise e      |

|                                    |                                                                                 |                                                                                                       |
|------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
|                                    | precipitação na caldeira                                                        | evaporação                                                                                            |
| Total de Sólidos Dissolvidos (TDS) | Grande concentração pode interferir no processo e causa de espuma em caldeiras. | Abrandamento com cal e troca catiónica, desmineralização, osmose reversa, electrodialise e evaporação |

Fonte: (Zarpelon, 2015) citado por (Duvane, 2017)

### 2.2.1. Padrões de qualidade da água para alimentação de caldeiras

Os valores padrões da qualidade da água para alimentação da caldeira variam de acordo com a pressão do trabalho da caldeira. A unidade da pressão de trabalho de uma caldeira pode ser expressa em psi (*pound force per square inch*). A caldeira usada na indústria em caso de estudo possui uma pressão de 10 bar que corresponde a 145 psi, que se encontra no intervalo de 0-300 psi.

A tabela 3 apresenta os padrões e os parâmetros da qualidade da água aceitáveis para alimentação da caldeira segundo ASME (2000).

Tabela 3: Parâmetros químicos e limites aceitáveis da qualidade da água para alimentação da caldeira na indústria de bebidas.

| Pressão (psi) | pH       | TDS (ppm) | Ferro (ppm) | Dureza Total (ppm CaCO <sub>3</sub> ) | Alcalinidade (ppm CaCO <sub>3</sub> ) | Condutividade (µS/cm) |
|---------------|----------|-----------|-------------|---------------------------------------|---------------------------------------|-----------------------|
| 0-300         | 8.3-10   | 3500      | 0.100       | 0.300                                 | 700                                   | 7000                  |
| 301-450       | 8.3-10.0 | 3000      | 0.050       | 0.300                                 | 600                                   | 6000                  |
| 451-600       | 8.3-10.0 | 2500      | 0.030       | 0.200                                 | 500                                   | 5000                  |
| 601-750       | 8.3-10.0 | 2000      | 0.025       | 0.200                                 | 400                                   | 4000                  |
| 751-900       | 8.3-10.0 | 1500      | 0.020       | 0.100                                 | 300                                   | 3000                  |
| 901-1000      | 8.8-9.6  | 1000      | 0.020       | 0.050                                 | 200                                   | 2000                  |
| 1001-1500     | 8.8-9.6  | 1000      | 0.010       | 0.0                                   | 0.0                                   | 150                   |
| 1501-2000     | 8.8-9.6  | 750       | 0.010       | 0.0                                   | 0.0                                   | 100                   |

Fonte: ASME (2000)

## 2.3.Fábrica Refrigerantes Spar

### 2.3.1. Tratamento e distribuição de água na Refrigerantes Spar

A água usada na Refrigerantes Spar é fornecida pela rede de abastecimento pública (FIPAG) e outra parte captada no furo subterrâneo onde é armazenada no depósito geral (Tanque de

água bruta). Após o armazenamento, passa por vários processos de tratamento de modo que os padrões estabelecidos pela Coca-Cola Company sejam alcançados.

O processo de tratamento inicia com a adição de hipoclorito de sódio. Logo de seguida, a água passa por um filtro de areia para remoção de material suspenso na água e pelo filtro de carvão, cuja função é remover o cloro residual e compostos como ferro e sulfatos.

A água é depois bombeada para o sistema de osmose reversa para remoção de sais inorgânicos dissolvidos e contaminantes biológicos. De seguida a água passa por uma filtração de polimento em cartuchos de polipropileno (filtros de polimento) para remoção de partículas muito finas que possam alterar a aparência do produto final e a água é armazenada nos tanques de água tratada. Antes do seu uso na produção passa por desinfecção por radiação ultravioleta para eliminação de microrganismos que ainda possam estar presentes na água.

Após o término de todo o processo de tratamento são realizados testes tais como: pH, alcalinidade, turbidez, cloretos, dureza total, ferro, cloro, total de sólidos dissolvidos, cor, odor, aparência e análises microbiológicas. A água tratada é utilizada na sala de xarope, linhas refrigerantes, cozinha e laboratório de controlo de qualidade. A figura 2, mostra os processos envolvidos no tratamento de água na indústria de refrigerantes.

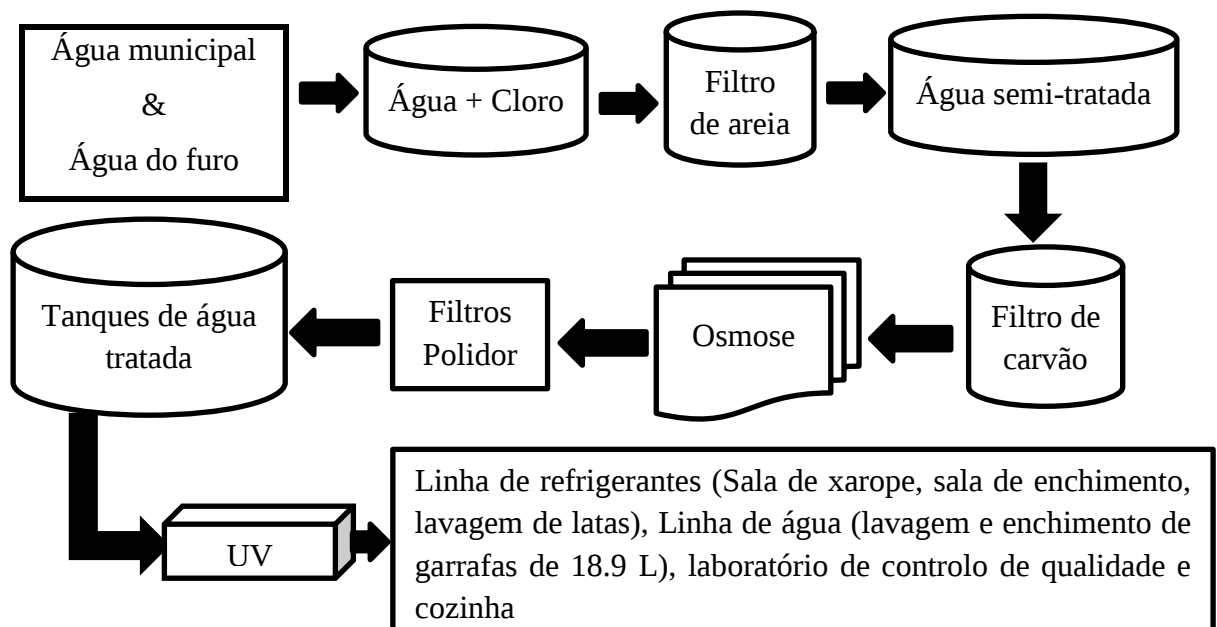


Figura 2: Tratamento da água usada pela indústria de refrigerantes.

### 2.3.2. Processo de enchimento de garrafas 18,9 litros

O processo de enchimento de garrafas pet de 18,9 litros inclui a lavagem das garrafas, enchimento e paletização.

#### Lavagem das garrafas

O processo da lavagem das garrafas é realizado em um equipamento denominado lavadora de garrafas conforme mostra a figura 3. A lavagem das garrafas é feita em três estágios de lavagem. No primeiro estágio, as garrafas são lavadas com uma solução de hidróxido de sódio a uma concentração de 0,3-0,9%, a uma temperatura e tempo padrão. No segundo estágio as garrafas são lavadas com água tratada a uma temperatura de 60-65°C que visa a eliminação da solução de hidróxido de sódio e eliminação de quaisquer impurezas ou bactérias e por fim são lavadas com água usada para o enchimento das garrafas.

Após a lavagem é feito o teste para a verificação da presença de hidróxido de sódio usando uma solução de fenolftaleína, onde a mudança da cor da água para a cor rosa indica a presença de hidróxido de sódio.



Figura 3: Lavadora de garrafas

#### Enchimento

Após o enchimento, as garrafas recebem as tampas na capsuladora automática como ilustra a figura 4 e por último, as garrafas passam por uma inspeção visual onde aquelas que

apresentam sujidade ou defeito são retiradas manualmente da linha. À saída da enchedora as garrafas são rotuladas e embaladas.

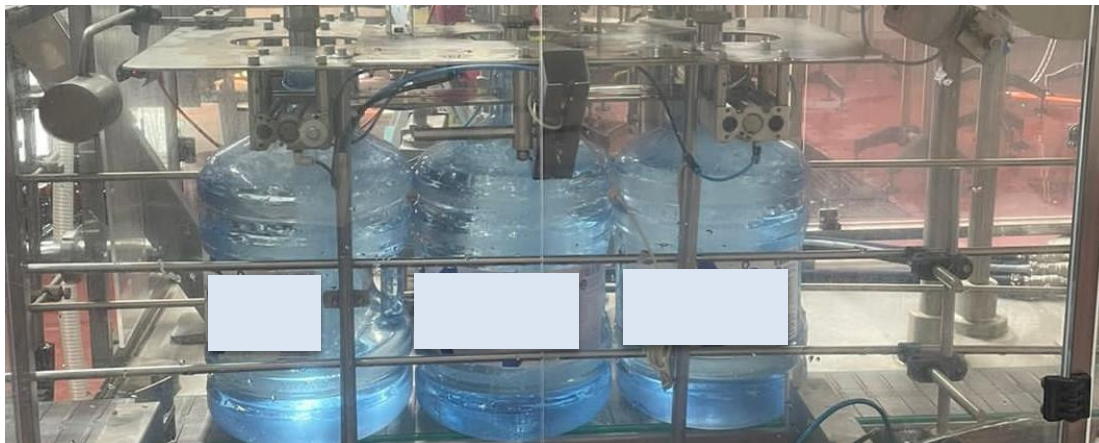


Figura 4: Enchedora de água

### **3. PARTE EXPERIMENTAL**

Neste capítulo, faz-se a descrição do local do estágio e os procedimentos usados para a quantificação do efluente gerado, são também apresentados os processos de colecta de amostras, os métodos usados e os procedimentos de análises químicas das amostras.

#### **3.1.Descrição do local do estágio**

O estágio para a elaboração do presente trabalho foi realizado na Refrigerantes Spar, Lda, que teve a duração de 3 meses, que teve início no dia 22 de Agosto até dia 22 de Novembro de 2023. A Refrigerantes Spar, Lda (RS) fundada em 1999, é uma organização de médio porte na indústria de bebidas não alcoólicas, localizada em Maputo no bairro Chamanculo C, na Avenida do Trabalho nº1958. Nessa altura da sua fundação, a indústria era chamada “Fábrica de Refrigerante de Chamanculo”, e produzia somente produtos da Schweppes. Actualmente passou a prestar serviços à Coca-Cola Company produzindo todos os produtos da Coca-Cola a lata de 330 mL tais como: Coca-Cola, Coca-Zero, Fanta Laranja, Fanta Uva, Fanta Ananás, Sprite, Sparletta Morango, Cream Soda, Lemon Twist, Água Tónica, Soda Water, Dry Lemon e Ginger Ale. Actualmente faz também o enchimento de garrafas de água da marca “Pura” de 6 e 18.9 litros.

#### **3.2.Materiais, reagentes e equipamentos**

A seguir são descritos os materiais, reagentes e equipamentos utilizados para a realização da análise químicas das amostras no laboratório de Refrigerantes Spar.

##### **3.2.1. Materiais**

- ❖ Copos de Becker de 50 e 250 mL
- ❖ Balões graduados de 1000mL
- ❖ Vidro de relógio
- ❖ Conta-gotas
- ❖ Proveta de 10, 100 e 1000mL
- ❖ Erlenmeyer de 250 mL
- ❖ Vareta de vidro
- ❖ Bureta de 50mL
- ❖ Esguicho
- ❖ Triturador

- ❖ Rolo de papel

### **3.2.2. Reagentes**

- ❖ Kit de reagente para análise de ferro (Iron IR) (0,02-3,0 mg/L)
- ❖ Nitrato de prata ( $\text{AgNO}_3$ ) a 0.014N
- ❖ Cromato de potássio ( $\text{K}_2\text{CrO}_4$ ) 5%
- ❖ Kit de reagente para análise da alcalinidade (Alka-m-photometer) (5-200 mg/L)
- ❖ Kit de reagente para análise da dureza total (Hardcheck) (2-50 mg/L)
- ❖ Água destilada

### **3.2.3. Equipamentos**

- ❖ pH-metro (Marca: Aqualytic)
- ❖ Balança analítica (marca: Adam-PW184)
- ❖ Condutímetro (Marca: PC8)
- ❖ Espectrofotómetro de absorção molecular (Marca: Al450-MultiDirect)

### **3.3.Procedimentos de quantificação do efluente**

Para a quantificação do efluente seguiu-se os seguintes passos:

1. Colocou-se um recipiente por baixo do local da saída do efluente e accionou-se o cronómetro durante 1min
2. Após atingido o tempo de 1min, parou-se com a contagem do tempo
3. Mediu-se o efluente contido no recipiente com ajuda de uma proveta de 1litro.
4. Registou-se o volume e repetiu-se o procedimento por 3 vezes;

A partir do volume de efluente medido durante 1min, foi possível medir a quantidade do efluente gerado por horas de produção durante 10 dias.

### **3.4.Pontos de colectas das amostras**

As amostras foram colectadas usando um copo de becker na indústria refrigerantes Spar em três pontos, água bruta, água tratada e efluente da lavagem das garrafas durante 10 dias. A figura 5 indica os pontos da amostragem da água bruta, água tratada e efluente da lavagem das garrafas. A colecta das amostras seguiu os seguintes passos:

1. Abriu-se a torneira e deixou-se a água escorrer durante 2 minutos;
2. Enxaguou-se o copo de becker três vezes com amostra a ser colectada;
3. Colectou-se a amostra no copo e levou-se ao laboratório para análises.

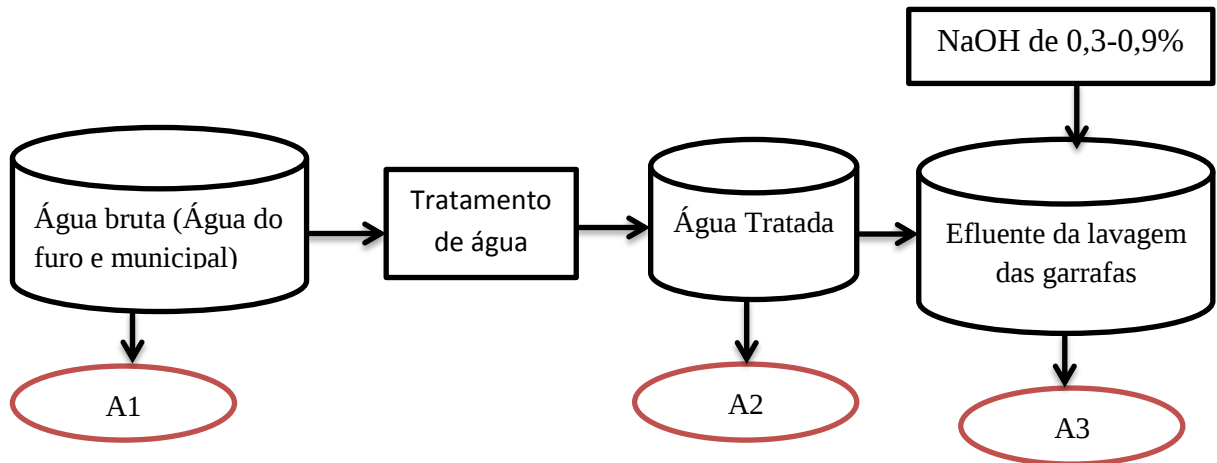


Figura 5: Fluxograma que ilustra os pontos de amostragem da água

### 3.5.Comparação da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas PET 18,9L

A figura 6 ilustra a comparação da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas em função dos parâmetros analisados.

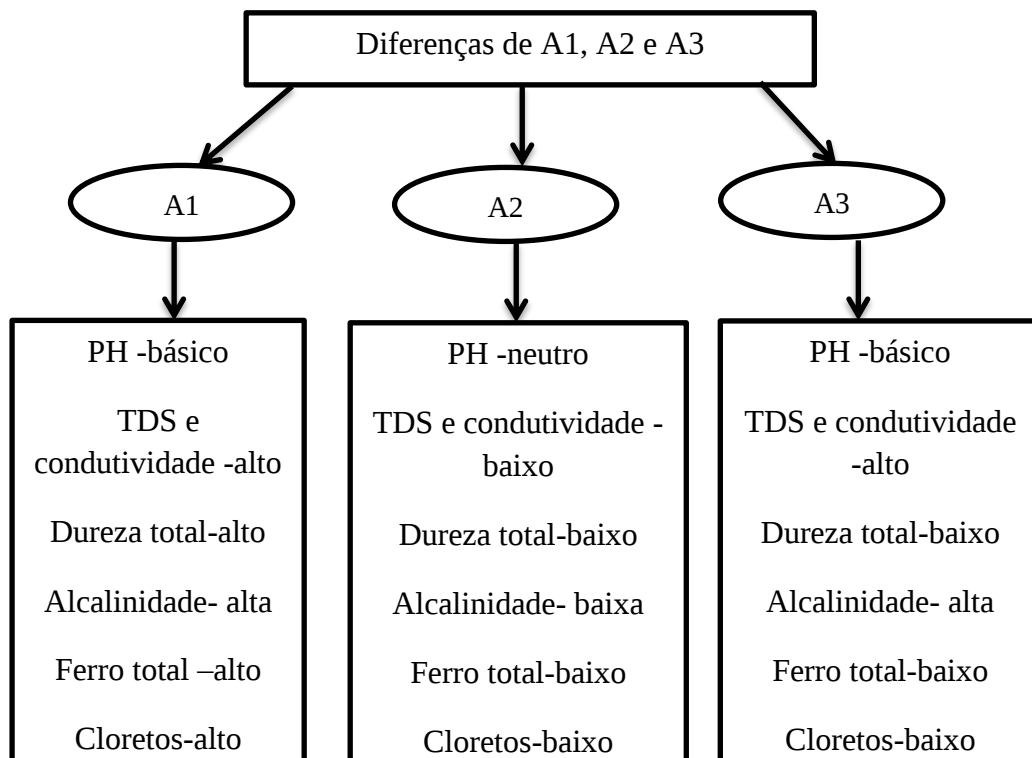


Figura 6: Diferenças entre as amostras de água bruta (A1), água tratada (A2) e efluente de lavagem das garrafas(A3)

### 3.6.Procedimento de análises químicas

As análises foram realizadas no laboratório de controlo de qualidade da indústria refrigerantes Spar, onde foram determinados os seguintes parâmetros: pH, TDS, condutividade, ferro total, dureza total, cloretos e alcalinidade. Os parâmetros e os métodos utilizados estão apresentados na tabela 4.

Tabela 4: Parâmetros e métodos usados

| Parâmetros    | Métodos                                  | Referências                     |
|---------------|------------------------------------------|---------------------------------|
| pH            | Potenciométrico                          | Parron, 2011                    |
| TDS           | Condutimétrico                           | Parron, 2011                    |
| Condutividade | Condutimétrico                           | Parron, 2011                    |
| Cloretos      | Método de Mohr                           | Funasa, 2013                    |
| Ferro         | Espectrofotometria de absorção molecular | PT Instruções de Serviços, 2022 |
| Dureza Total  | Espectrofotometria de absorção molecular | PT Instruções de Serviços, 2022 |
| Alcalinidade  | Espectrofotometria de absorção molecular | PT Instruções de Serviços, 2022 |

#### 3.6.1. Determinação de cloretos

##### Preparação de solução de $\text{AgNO}_3$ 0,014N

Pesou-se 2.4 g de  $\text{AgNO}_3$ , transferiu-se para copo de beaker de 100 mL e dissolveu-se com 80 mL de água destilada. De seguida transferiu-se para um balão volumétrico de 1000 mL e perfez-se com água destilada.

##### Procedimentos de análises

Mediu-se 100 mL de amostra na proveta e transferiu-se para erlenmeyer de 250 mL. Adicionou-se 1 mL da solução indicadora de cromato de potássio 5%.

Encheu-se uma bureta de 50 mL com solução de  $\text{AgNO}_3$  0,014N e titulou-se a amostra até à viragem do amarelo para o vermelho-tijolo que é o ponto final da titulação.

### **3.6.2. Determinação do pH**

Colocou-se cerca de 150 mL de amostra num copo de 250 mL de seguida introduziu-se o eléctrodo de pH-metro, esperou-se durante 2 minutos e leu-se o resultado.

### **3.6.3. Determinação da condutividade eléctrica e TDS**

Os dois parâmetros foram determinados usando um condutímetro de bancada multifuncional. Colocou-se cerca de 150 mL da amostra no copo de becker de 250 mL, após seleccionar o parâmetro que se pretendia ler. Introduziu-se o eléctrodo e fez-se a leitura.

### **3.6.4. Determinação de ferro total, alcalinidade e dureza total**

Para a determinação da dureza total da amostra da água bruta foi feita uma diluição da amostra numa proporção de 1:10.

Estes parâmetros foram determinados por espectrofotometria de absorção molecular seguindo os seguintes passos:

1. Encheu-se a cuvete com 5 mL de amostra e fechou-se bem com a tampa da cubeta;
2. Colocou-se a cubeta no orifício de medição do instrumento;
3. Premiu-se o botão zero para ler o branco;
4. Adicionou-se o reagente (que varia de acordo com o parâmetro a ser analisado) directamente na cubeta contendo amostra e agitou-se;
5. Colocou-se a cubeta no orifício de medição do instrumento;
6. Premiu-se o botão TEST. Aguardou-se durante alguns minutos de tempo de reacção e leu-se o valor.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados os resultados e discussões das análises físico-químicas da água bruta, água tratada e efluente gerado na lavagem das garrafas 18.9 L, juntamente com considerações sobre a qualidade da água destinada à alimentação da caldeira e torres de arrefecimento. De seguida são apresentados os resultados sobre a quantificação do efluente gerado no processo de lavagem de garrafas e avaliação quantitativa de água para o reuso.

### 4.1. Resultados e discussão das análises físico-químicas

Os parâmetros analisados de água bruta, água tratada e efluente foram comparados com os padrões estabelecidos pela EPA e ASME para água de alimentação de caldeira e torre de arrefecimento respectivamente bem como a comparação das amostras de água bruta, tratada e efluente ao longo dos cinco dias de análises.

#### 4.1.1. Cloretos

Na figura 7, são apresentados os resultados da análise de cloretos de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação de torre de arrefecimento.

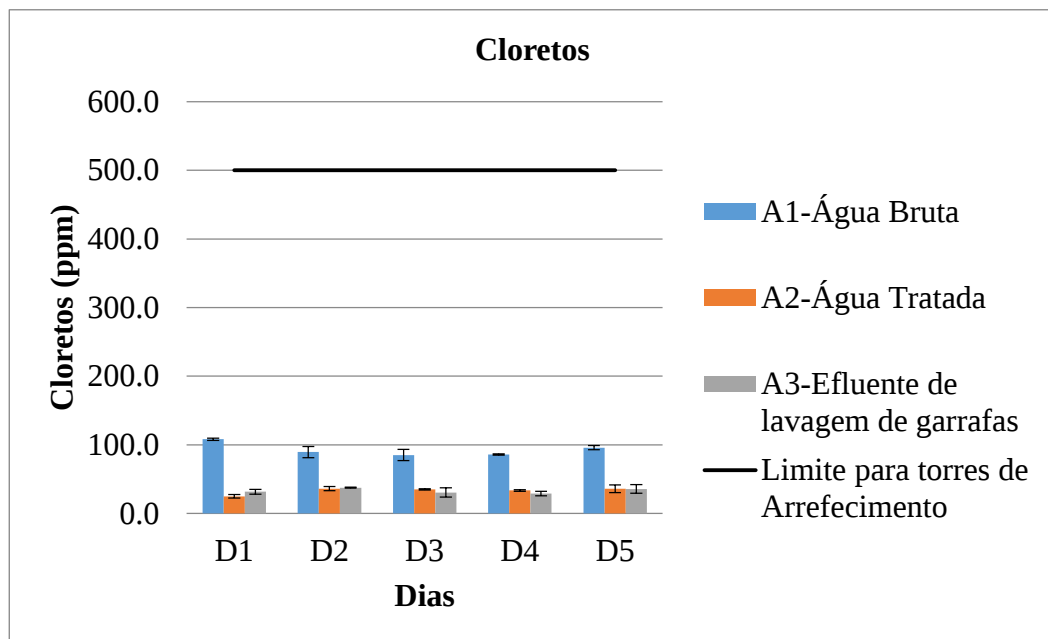


Figura 7: Resultados de análise de cloretos de A1, A2 e A3

As amostras correspondentes a água bruta, tratada e efluente de lavagem das garrafas, apresentam diferenças significativas ao longo dos 5 dias. De acordo com as especificações de qualidade de água para alimentação de torre de arrefecimento, os valores de concentração de cloretos nas amostras de água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas, apresentam-se dentro das especificações.

#### 4.1.2. pH

Na figura 8, são apresentados os resultados de pH de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação de torre de arrefecimento e caldeira.

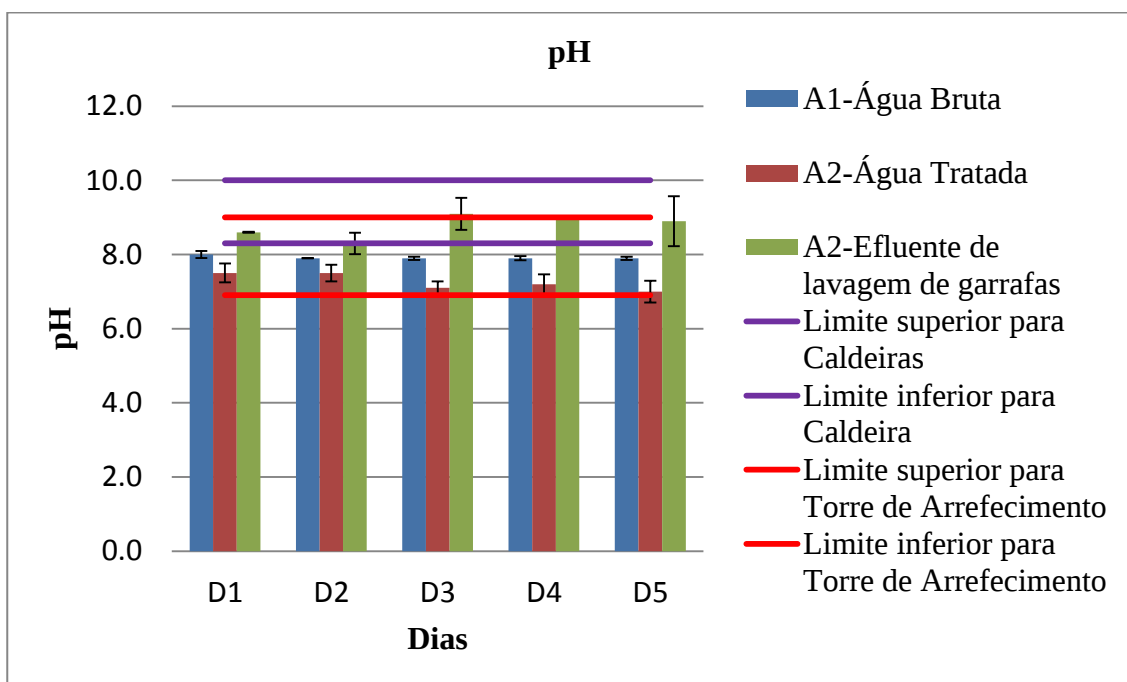


Figura 8: Resultados de análise de pH de A1, A2 e A3

Os resultados de pH das amostras de A1, A2 e A3, apresentam uma diferença significativa ao longo dos cinco dias de análises.

O pH da água bruta e água tratada está dentro dos parâmetros de água para alimentação da torre de arrefecimento. No entanto o pH do efluente de lavagem das garrafas está ligeiramente acima do limite superior de água para alimentação da torre de arrefecimento cujos padrões estão em torno 6,9-9,0 e que pode causar problemas de corrosão na parte metálica da torre de arrefecimento.

De acordo com Trovati (2004), quando o pH da água usada na alimentação da torre de arrefecimento fica abaixo de 6,9, isso tende a aumentar a corrosão. Por outro lado, se o pH ultrapassar 9,0, pode ocorrer a precipitação de sais, o que prejudica a eficácia dos biocidas utilizados.

De acordo com os padrões de qualidade de água para alimentação da caldeira, o pH do efluente da lavagem das garrafas encontra-se dentro dos padrões estabelecidos que é de 8,3-10, podendo ser usado para a alimentação da caldeira sem necessidade de ajuste de pH. Por outro lado, a água bruta e tratada apresentam valores abaixo dos limites recomendados para o uso na caldeira.

#### 4.1.3. Total de Sólidos Dissolvidos (TDS)

Na figura 9, são apresentados os resultados de sólidos totais dissolvidos de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação de torre de arrefecimento e caldeira.

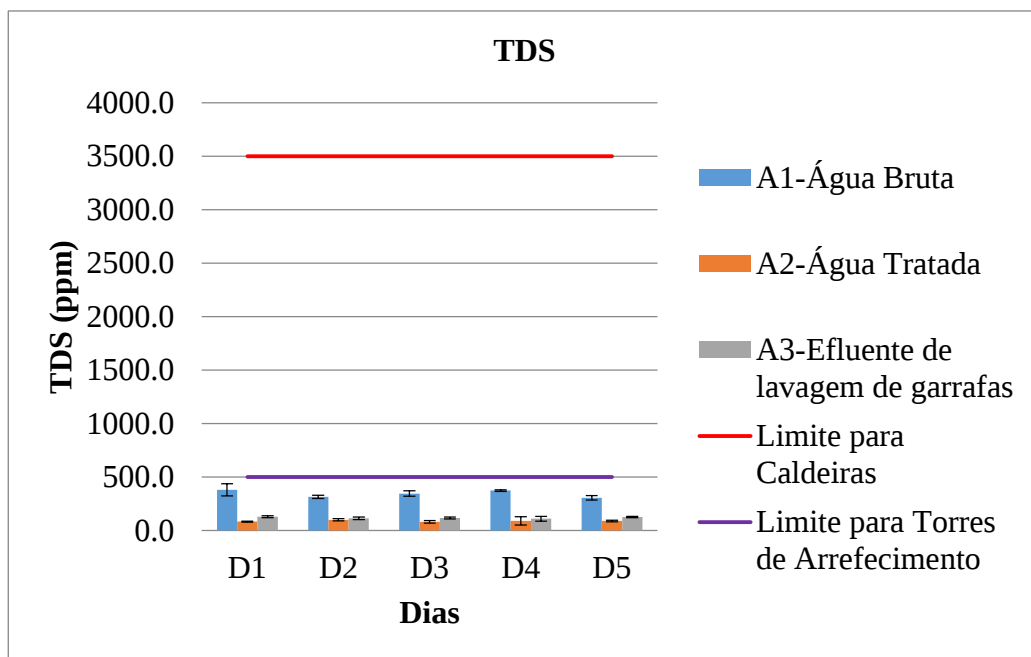


Figura 9: Resultados de análise de totais sólidos dissolvidos de A1, A2 e A3

Há uma diferença significativa ao longo dos 5 dias de análises entre a água bruta, tratada e efluente.

Os valores de TDS, de água bruta, água tratada e de efluente da lavagem das garrafas estão dentro dos padrões estabelecidos pelas normas de água para alimentação da caldeira, que deve ser igual ou inferior a 3500ppm, assim como para a alimentação da torre de arrefecimento, cujo limite é de 500ppm.

Consoante este parâmetro o efluente de lavagem das garrafas pode ser usado para alimentação da caldeira e torre de arrefecimento sem um tratamento adicional para a remoção de sólidos dissolvidos.

#### 4.1.4. Ferro

Na figura 10, são apresentados os resultados de Ferro de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação da torre de arrefecimento e caldeira.

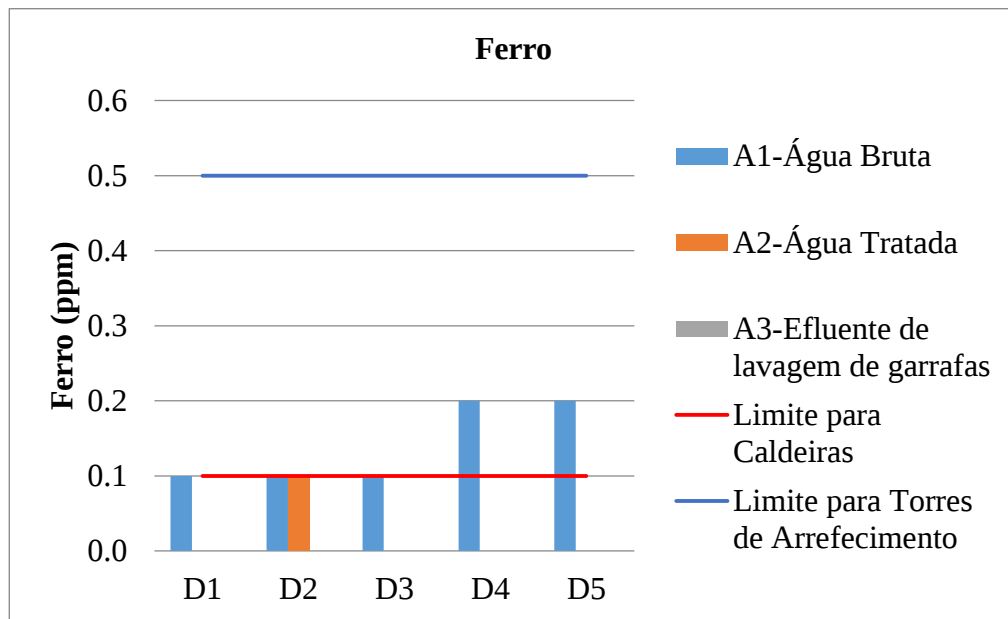


Gráfico 10: Resultados de análise de ferro de A1, A2 e A3

Existe uma diferença significativa dos valores de ferro ao longo dos 5 dias de análises entre a água bruta, tratada e efluente.

De acordo com os padrões da ASME de água para alimentação da caldeira, os valores de efluente de lavagem das garrafas estão dentro dos parâmetros de água para alimentação de caldeira cujo limite é de 0,1ppm. Apesar de a água bruta possuir valores altos de ferro não constitui problema pois o ferro é removido durante o tratamento.

A presença de ferro na água de alimentação da caldeira pode ocasionar muitos problemas de depósitos nas caldeiras e nas tubulações de distribuição de vapor, durante a operação da caldeira, o ferro pode oxidar e precipitar como hidróxidos, óxidos, carbonatos ou fosfato de

ferro. Esses compostos insolúveis acumulam-se nas superfícies da caldeira e nas tubulações (Garcia, 2009).

Os valores de ferro obtidos da água bruta e efluente de lavagem das garrafas, estão dentro dos padrões de qualidade de água para alimentação da torre de arrefecimento que não devem ultrapassar os 0,5 ppm, podendo ser utilizada sem nenhum tipo de tratamento adicional.

#### 4.1.5. Condutividade

Na figura 11, são apresentados os resultados da condutividade de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação da caldeira.

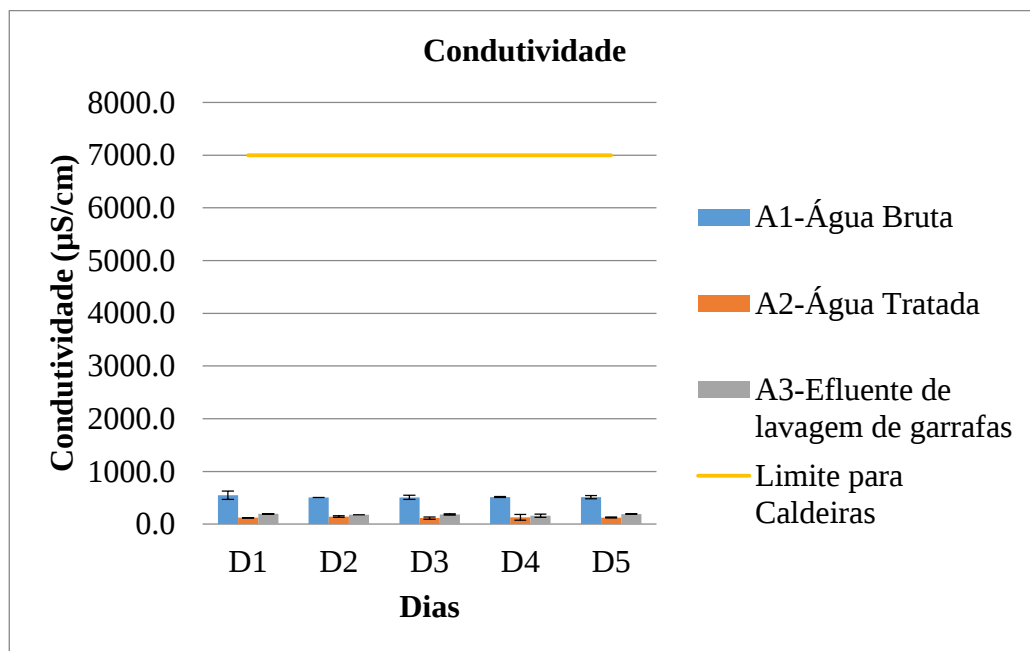


Figura 11: Resultados de análise da condutividade de A1, A2 e A3

Os resultados da condutividade eléctrica das amostras de água bruta, água tratada e o efluente apresentam uma diferença significativa ao longo dos cinco dias de análises.

Segundo as especificações de água para alimentação da caldeira, os valores da condutividade de água bruta, água tratada e de efluente de lavagem das garrafas, estão dentro das especificações, cujo valor não pode ultrapassar 7000  $\mu\text{S/cm}$ . A água bruta apresenta uma condutividade elevada comparativamente a condutividade da água tratada e efluente de lavagem das garrafas, isso porque com o tratamento há uma redução de condutividade em

cerca de 75,41% da água bruta para água tratada, mas que por causa da lavagem das garrafas há uma subida de 29,64% de água tratada para o efluente de lavagem das garrafas.

#### 4.1.6. Alcalinidade

Na figura 12, são apresentados os resultados da alcalinidade de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação da torre de arrefecimento e caldeira.

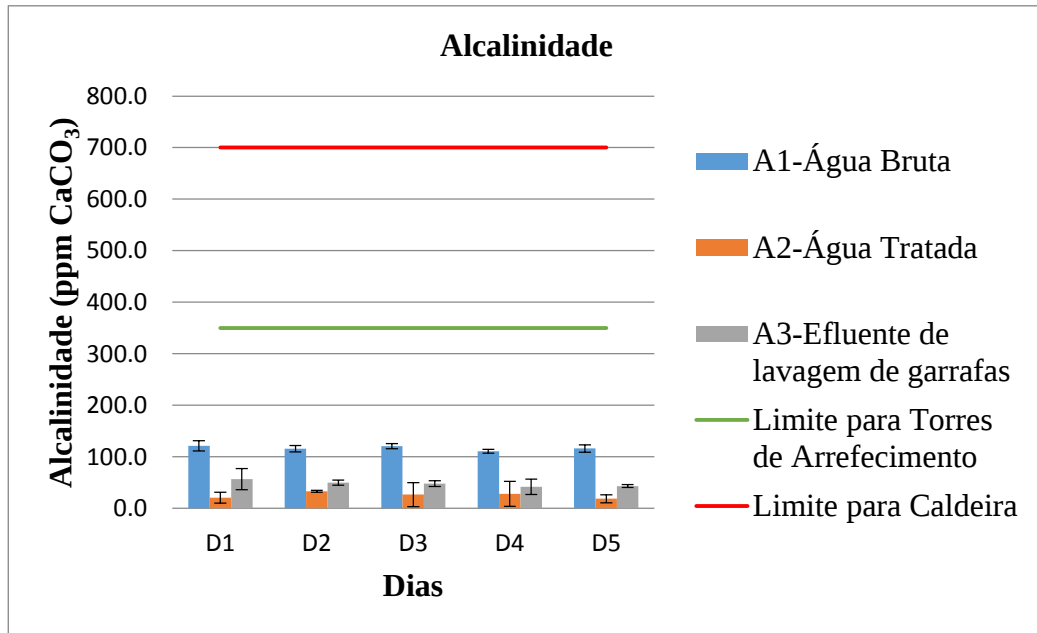


Figura 12: Resultados de análise de alcalinidade de A1, A2 e A3

Os resultados da alcalinidade das amostras de água bruta, água tratada e o efluente apresentam uma diferença significativa ao longo dos cinco dias de análises.

De acordo com as especificações da água para alimentação da caldeira, os resultados da alcalinidade da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas estão abaixo dos limites, que é de 700 ppm.

Comparando os resultados obtidos com os requisitos de qualidade de água para torres de arrefecimento, observa-se que a concentração da alcalinidade da água bruta, água tratada e efluente da lavagem das garrafas está abaixo do limite estabelecido, que não deve ser superior a 350 ppm.

Para este parâmetro, tanto água bruta quanto efluente pode ser usada para alimentação da caldeira e da torre de arrefecimento. Apesar de que com o tratamento há uma redução da alcalinidade de 78,35% da água bruta para água tratada e com o processo da lavagem das

garrafas houve um acréscimo de 47,02% de água tratada para o efluente de lavagem das garrafas.

#### 4.1.7. Dureza Total

Na figura 13, são apresentados os resultados da dureza total de água bruta, água tratada, efluente de lavagem das garrafas e os limites admissíveis para alimentação da torre de arrefecimento e caldeira.

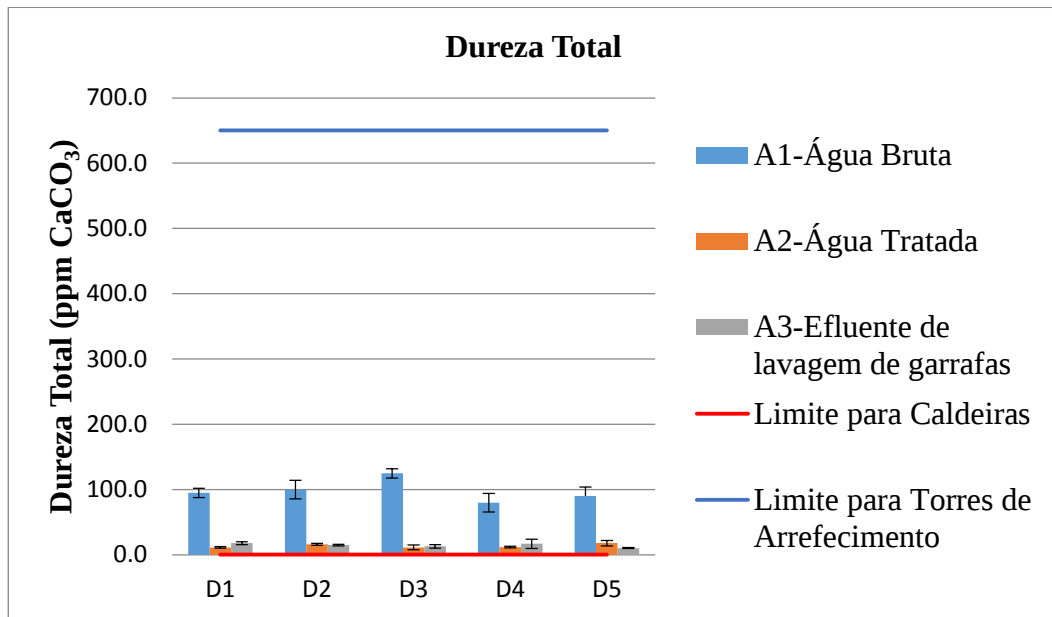


Figura 13: Resultados de análise de dureza total de A1, A2 e A3

Os resultados da dureza total das amostras de A1, A2 e A3, apresentam uma diferença significativa ao longo dos cinco dias de análises.

De acordo com as directrizes da ASME, os valores da dureza total nas amostras de água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas excedem o limite recomendado para alimentação das caldeiras, 0,300 ppm, podendo ocasionar problemas como incrustações e corrosão em alguns componentes no interior da caldeira. Embora seja difícil alcançar a dureza total de 0,300 ppm, é possível tratar esse parâmetro usando o processo de abrandamento, que consiste basicamente na retirada dos iões cálcio e magnésio presentes na água usando o processo de troca iónica.

A formação de depósitos em caldeiras é principalmente causada pela dureza da água, pois a capacidade de dissolução dos sais (solubilidade) de cálcio e magnésio diminui à medida que a temperatura aumenta (Gondim, 2014)

Conforme as especificações para água destinada à alimentação da torre de arrefecimento, a dureza total da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas está dentro dos padrões para torres de arrefecimento cujo limite é de 650 ppm

No entanto, tanto a caldeira quanto a torre de arrefecimento é abastecida com água da rede. Apesar de não ser adequado para a caldeira, o efluente da lavagem das garrafas apresenta uma dureza total comparativamente baixa em relação à água bruta normalmente utilizada pela empresa para alimentação da caldeira.

#### 4.2.Resultados da quantificação do efluente

A figura 14 apresenta o volume do efluente gerado no processo de lavagem das garrafas de 18.9 L, que varia em função dos dias e horas de produção, uma vez que a produção não é contínua. O volume do efluente foi calculado em função dos dias em que foram feitas as análises químicas (10 dias), tomando como base o volume encontrado em 1 min, que é de 12 L.

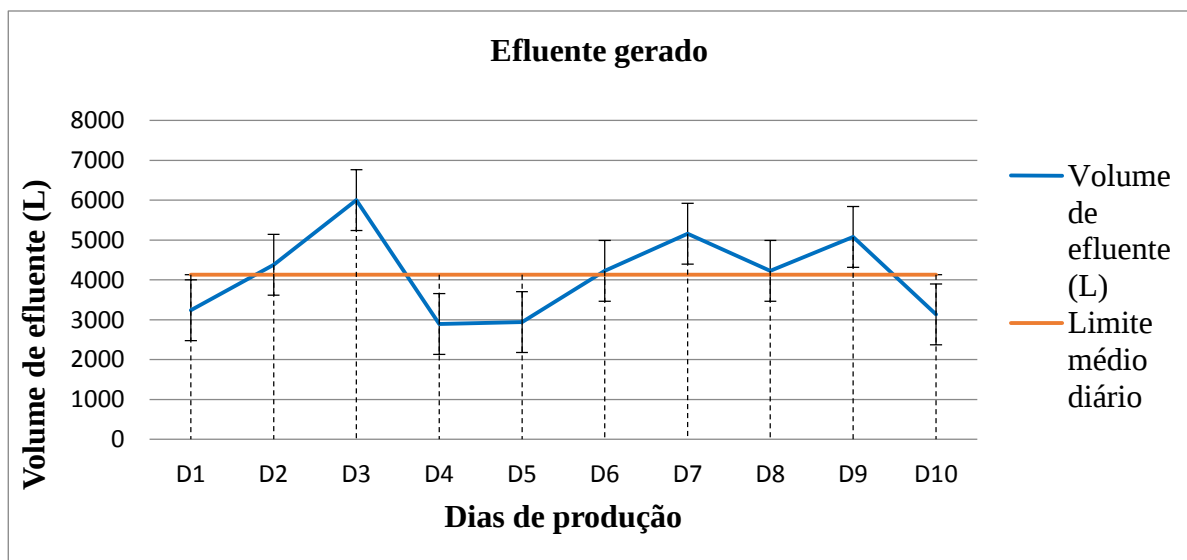


Figura 14: Gráfico de quantificação do efluente

Durante os 10 dias de medição, o volume do efluente gerado no processo de lavagem das garrafas varia de 2892 a 6000 L, com uma média diária de 4126,8 L.

#### **4.3.Avaliação quantitativa de água para o reuso**

A identificação dos pontos de aplicação de reutilização é crucial na indústria. Isso envolve determinar onde a água reutilizada pode ser mais eficazmente empregada, levando em consideração as características específicas da operação industrial. No processo de lavagem das garrafas foi gerado um total de 4,13 m<sup>3</sup>/dia que pode ser tratada e reutilizado pelo facto de o efluente de lavagem das garrafas possuir uma melhor qualidade pois antes da sua utilização na lavagem das garrafas passa por um tratamento avançado (osmose reversa) e a água bruta que é normalmente utilizada para alimentação da caldeira apenas recebe o tratamento interno, e também pelo facto da caldeira estar próxima do local onde é gerado o efluente. A água para alimentação da torre de arrefecimento exige uma qualidade menos rigorosa, podendo caso a indústria achar melhor, também usar este efluente da lavagem das garrafas na alimentação das torres de arrefecimento.

#### 4.4.Comparação dos resultados das análises físico-químicas dos efluentes de lavagem das latas e lavagem das garrafas

O estudo realizado pelo estudante do departamento de química, Duvane ( 2017), mostrou que o efluente proveniente da lavagem das latas pode ser reutilizado para alimentação da caldeira, onde são reutilizados 11,65 m<sup>3</sup>/dia. A tabela 5 mostra a comparação do efluente de lavagem da garrafas e latas com os padrões de água para alimentação da caldeira e torres de arrefecimento.

Tabela 5: Comparação de resultados de análises físico-químicas do efluente de lavagem das garrafas e efluente de lavagem das latas com os padrões de qualidade de água para alimententção da torre de arrefecimento e caldeira.

| Parâmetros                  | Coca-cola company | Duvane (2017)   | Torre de Arrefecimento (EPA, 1992) | Caldeira (ASME, 2000) | Resultados de análises físico-químicas |                                |                             |
|-----------------------------|-------------------|-----------------|------------------------------------|-----------------------|----------------------------------------|--------------------------------|-----------------------------|
|                             |                   |                 |                                    |                       | Teor de A1<br>$\bar{X} \pm IC$         | Teor de A2<br>$\bar{X} \pm IC$ | Teor A3<br>$\bar{X} \pm IC$ |
| pH                          | >4,9              | 6.8 $\pm$ 0.9   | 6.9 – 9.0                          | 8.3 - 10              | 7.9 $\pm$ 0.1                          | 7.3 $\pm$ 0.2                  | 8.8 $\pm$ 0.3               |
| Alcalinidade (mg/L)         | <85               | 54 $\pm$ 14.6   | 350                                | 700                   | 117 $\pm$ 5                            | 25 $\pm$ 9                     | 48 $\pm$ 7                  |
| Dureza total (mg/L)         | -----             | 68 $\pm$ 15.60  | 650                                | 0.300                 | 99 $\pm$ 13                            | 16 $\pm$ 2                     | 14 $\pm$ 3                  |
| Cloretos (mg/L)             | $\leq$ 250        | 127 $\pm$ 14.22 | 500                                | -----                 | 92.9 $\pm$ 7.0                         | 33.2 $\pm$ 3.6                 | 32.9 $\pm$ 3.5              |
| Ferro total (mg/L)          | $\leq$ 0.1        | 0.3 $\pm$ 0.1   | 0.5                                | 0.100                 | 0.14 $\pm$ 0.1                         | 0.02 $\pm$ 0.03                | 0.02 $\pm$ 0.01             |
| TDS (mg/L)                  | $\leq$ 500        | 527 $\pm$ 40.3  | 500                                | 3500                  | 347 $\pm$ 22                           | 88.3 $\pm$ 11.4                | 120 $\pm$ 9                 |
| Condutividade ( $\mu$ S/cm) | -----             | 823 $\pm$ 46.74 | -----                              | 7000                  | 519.2 $\pm$ 25.1                       | 127.7 $\pm$ 16.1               | 181.5 $\pm$ 12.3            |

De um modo geral o efluente resultante da lavagem das latas apresenta valores elevados em todos os parâmetros analisados em comparação com o efluente de lavagem das garrafas excepto o pH, isso deve-se ao facto de a osmose reversa, o método usado actualmente ser um método de tratamento mais eficaz na remoção de uma variedade de contaminantes em comparação com o tratamento por troca iónica anteriormente usado nesta indústria.

O valor médio de pH do efluente de lavagem das latas está fora dos padrões para torre de arrefecimento e caldeira, por outro lado o pH médio do efluente de lavagem das garrafas está dentro dos limites de água para alimentação da torre de arrefecimento e para caldeira. No entanto, a faixa de variação do pH do efluente de lavagem das garrafas (8,5-9,1) ultrapassa ligeiramente o limite superior de 9,0 para torre de arrefecimento e o efluente de lavagem das latas apresenta a faixa de variação do pH (5,9-7,7) que está abaixo dos limites exigidos para ambas as aplicações.

Os valores de dureza total e de ferro do efluente de lavagem das latas estão fora dos padrões recomendados para água de alimentação de caldeira. Além disso a dureza do efluente de lavagem das garrafas excede os limites recomendados pela ASME (2000). O efluente de lavagem das latas apresenta valor de sólidos totais dissolvidos fora das recomendações de água para alimentação da torre de arrefecimento de acordo com EPA (1992). Destas análises conclui-se que o efluente de lavagem das garrafas apresenta neste momento melhor qualidade que o efluente de lavagem das latas.

#### **4.5.Proposta de reutilização de água na indústria**

A figura 18 mostra a proposta de reutilização do efluente de lavagem das garrafas PET 18,9 L que será misturado com a água bruta que é normalmente usada para a alimentação da caldeira e torre de arrefecimento. Por esta possuir uma dureza elevada que pode causar incrustações, passará por um processo de abrandamento, que consiste na passagem de água a ser tratada por um leito de resina catiónica (leito catiónico), onde ocorre a troca iónica do cálcio e magnésio pelo sódio, removendo assim a dureza na água e de seguida será usada na caldeira.

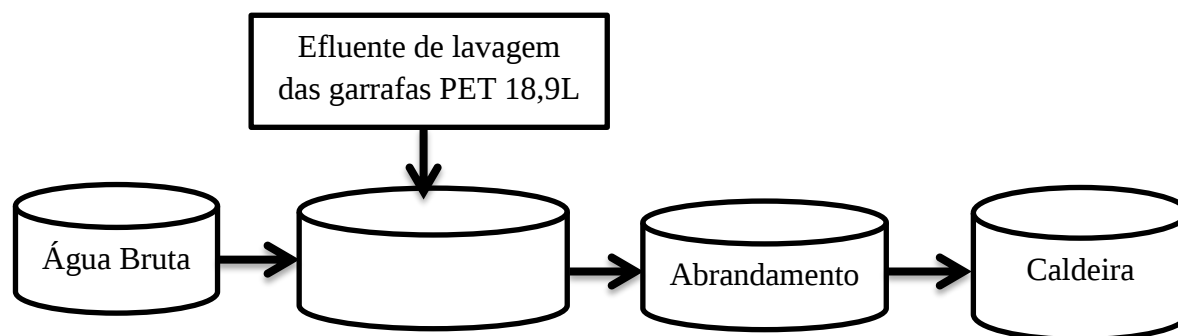


Figura 15: Proposta da reutilização da água da lavagem das garrafas PET

## **5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES**

### **5.1. Conclusões**

- ❖ De acordo com os resultados das análises dos parâmetros de qualidade do efluente da lavagem das garrafas, a qualidade do efluente está fora dos padrões recomendados para água de alimentação da caldeira.
- ❖ O efluente resultante do processo da lavagem das garrafas PET 18,9L está fora dos dos padrões estabelecidos para água destinada para alimentação de torres de arrefecimento.
- ❖ Em resumo, o efluente resultante da lavagem das garrafas pode ser utilizado para alimentar tanto a caldeira, como a torre de arrefecimento, contudo é essencial ajustar a dureza total para otimizar a sua adequação para o caso da caldeira e também o ajuste do pH para o caso da torre de arrefecimento.
- ❖ O volume total do efluente gerado no processo de lavagem das garrafas PET 18,9 L foi de 4,13m<sup>3</sup>/dia.

### **5.2. Recomendações**

- ❖ Recomenda-se a reutilização do efluente do processo da lavagem das garrafas para alimentação da caldeira e torres de arrefecimento.
- ❖ Recomenda-se a instalação de uma estação de tratamento de águas residuais (ETAR) dentro da empresa para reutilização do efluente proveniente do processo da sanitização da linha de refrigerantes, tanques da sala de xarope e tanques do sistema de tratamento de água assim como o efluente resultante da retrolavagem dos filtros de areia e carvão para caldeiras, torre de arrefecimento e sanitários

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASME. (2000). The following are specified limit for hight pressure boiler from different organization. *ASME guidelines for water quality in modern industrial water tube boil for reliable continous operation*. USA. Obtido de : file:///C:/Users/wolf/Downloads/boiler-water-treatment-guideline%20(2).pdf
- Beekman, B. G. (1998). water Conservatin Reuse, Recyclin and Reuse. *Internatinal Journal of water Resources Development*. Brasilia. doi:DOI: 10.1080/07900629849268
- Bento, G. d. (2021). *Influência das Variáveis de Operação em Torre de Resfriamento:Uma revisão Bibliográfica*. Monografia, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Francisco Beltrão.
- Braga, B., Hespanhol, I., Conejo, J. G., Mierzwa, J. C., Barros, M. T., Spencer, M., . . . Eiger, S. (2005). *Introdução à engenharia ambiental* (2 ed.). São Paulo: Pearson Hall.
- Cunha, B. C. (2019). *Análise de viabilidade técnica da conservação de água no ciclo produtivo de indústria de refrigerante*. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal do Pará, Belém.
- Duvane, J. G. (2017). *Optimização do uso da água na indústria de produção de refrigerante: Caso Refrigerantes Spar, LDA*. Universidade Eduardo Mondlane, Departamento de Ciências, Maputo.
- EPA. (1992). *Guidelines for water reuse*. Washington.
- Funasa. (2013). *Manual prático de análise de água/Fundação Nacional de Saúde* (4 ed.). Brasília.
- Galvão, M. R. (2010). *Estudo do reúso não potável de água de processo e efluente tratado*. Dissertação (mestrado)– Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial, Universidade Federal de Paraná, Sector de Tecnologia, Curitiba.
- Garcia, M. S. (2009). *Influência da qualidade da água de alimentação na planta de vapor. Arsenal de Marinha do Rio de Janeiro, seção de reparo de caldeiras*. Rio de Janeiro. Obtido em 14 de Abril de 2024, de <http://www.scribd.com/doc/286349372/QualidadeAguaCald-pdf#scribd>

Gentil, V. (2017). *Corrosão* (6 ed.). Rio de Janeiro: LTC.

Gondim, N. d. (2014). *Alternativas para redução do consumo de água e energia em sistemas de água de resfriamento e geração de vapor em refinarias de petróleo do Brasil*. Dissertação (Mestrado) em Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica & Escola de Química, Rio de Janeiro.

Machado, B. J. (2005). Reuso de efluente em torres de resfriamento-estudo de caso: Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro. *Acta Sientiarum-Technology*. Rio de Janeiro.

Maron Júnior, R. (2006). *Reuso de água em indústria metalúrgica rolamenteira-estudo de caso da SKF do Brasil LTDA*. Dissertação (Mestrado), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo.

Martins, A. B. (2009). *Avaliação da utilização de ligas de cobre-zinco (Latão) em permutadores de calor que trabalham com água de resfriamento na UN-RECAP/PETROBRAS*. Dissertação para obtenção do título de mestre em Engenharia especialidade engenharia de inspeção de equipamento, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Escola de engenharia, Porto Alegre.

Mello, A. B. (2008). *Influência da deformação plástica na corrosão de aço carbono, aço inoxidável e cobre em sistemas de resfriamento*. Dissertação (Mestrado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola de Química, Rio de Janeiro.

Mierzwa, J. C. & Hespanhol, I. (2005). *Água na indústria: uso racional e reúso*. São Paulo: Oficina de Textos.

Nalco, C. (2009). *The Nalco Water Handbook*. New York: McGraw-Hill.

Parron, L. M. (2011). *Manual de procedimentos de amostragem e análise físico-química de água*. Colombo: Embrapa Floresta.

Patrícia, A. D. (2019). *Adequação às Boas práticas de fabricação de uma indústria de refrigerantes de pequeno porte*. Dissertação (Mestrado)-Programa de pós-graduação em ciências de tecnologia de alimentos, Universidade Federal de Pelotas, Departamento de Ciência e Tecnologia Agroindustrial, Pelotas.

Pena, R. A. (2014). *Distribuição da água no mundo*. Brasil Escola. Obtido em 15 de Fevereiro de 2024, de <https://brasilestola.uol.com.br/geografia/distribuicao-agua-no-mundo.htm>

Pereira, C. A. (2007). *Tecnologia mais limpa aplicada ao tratamento de água em sistemas de resfriamento abertos com recirculação*. Dissertação (mestrado), Instituto de Química, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

Pollo, L. D. (2004). *Reaproveitamento de água efluentes inorgânicos de uma indústria petroquímica*. Dissertação (mestrado)-programa pós-graduação em engenharia química, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Departamento de engenharia química, Porto Alegre.

PT Instruções de Serviços. (2022). *Sistema de fotômetro MultiDirect*. Obtido em 2 de Fevereiro de 2024, de [https://www.lovibond.com/nl/file-download/f4149\\_nl](https://www.lovibond.com/nl/file-download/f4149_nl)

Souza, E. A. (2007). *Avaliação de inibidores de corrosão para sistemas de resfriamento industrial operando com ciclo elevado de concentração*. Tese (Mestrado)- Programa de pós-graduação de Engenharia, Universidade Federal do rio de janeiro, Rio de Janeiro.

Trovati, J. (2004). Tratamento de água de resfriamento. *Curso on-line*. Brasil. Obtido em 19 de Agosto de 2024, de <https://pt.scribd.com/document/296752781/Apostila-Tratamento-de-Agua-de-Resfriamento>

Trovati, J. (2009). Tratamento de água para geração de vapor: Caldeiras. *Curso on-line*. Brasil. Obtido em 24 de Fevereiro de 2024, de <https://pt.scribd.com/presentation/347757504/Tratamento-de-Agua-Para-Geracao-de-Vapor>

## ANEXOS

Tabela A1.1: Dias, horas de produção e volume de efluente gerado

| Dias de produção | Horas de produção | Volume de efluente (L) |
|------------------|-------------------|------------------------|
| D1               | 4:30              | 3240                   |
| D2               | 6:05              | 4380                   |
| D3               | 8:20              | 6000                   |
| D4               | 4:01              | 2892                   |
| D5               | 4:05              | 2940                   |
| D6               | 5:52              | 4224                   |
| D7               | 7:10              | 5160                   |
| D8               | 5:52              | 4224                   |
| D9               | 7:03              | 5076                   |
| D10              | 7:21              | 3132                   |
| Volume Total     |                   | 4126,8                 |

Tabela A1.2: Parâmetros físico-químicos de água tratada segundo padrões da Coca-Cola Company

| Parâmetros   | Limites admissíveis |
|--------------|---------------------|
| pH           | >4,9                |
| STD          | $\leq 500$ mg/L     |
| Turbidez     | $\leq 0,3$ NTU      |
| Cloro total  | <0,0 mg/L           |
| Cloretos     | $\leq 250$ mg/L     |
| Ferro        | $\leq 0,1$ mg/L     |
| Alcalinidade | <85 mg/L            |

Tabela A1.3: Resultados das análises de água bruta, tratada e efluente das garrafas

| Dia das Análises             | D1                               | D2    | D3    | D4    | D5    | D1    | D2    | D3    | D4    | D5    | Média | D padrão | $\bar{X} \pm IC$ |
|------------------------------|----------------------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|----------|------------------|
| Parâmetros                   | Água Bruta                       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       |          |                  |
| pH                           | 8.1                              | 7.9   | 7.9   | 7.9   | 7.9   | 8.0   | 7.9   | 7.9   | 7.9   | 7.8   | 7.9   | 0.07     | $7.9 \pm 0.1$    |
| TDS                          | 420                              | 305   | 327   | 339   | 336   | 340   | 325   | 364   | 349   | 365   | 347   | 31.32    | $347 \pm 22$     |
| Condutividade ( $\mu S/cm$ ) | 605.0                            | 507.0 | 481.0 | 510.0 | 492.0 | 495.0 | 509.0 | 537.0 | 520.0 | 536.0 | 519.2 | 35.09    | $519.2 \pm 25.1$ |
| Dureza total (mg/l)          | 100                              | 90    | 120   | 90    | 80    | 90    | 110   | 130   | 70    | 110   | 99    | 18.53    | $99 \pm 13$      |
| Alcalinidade (mg/l)          | 128                              | 111   | 117   | 108   | 111   | 114   | 120   | 124   | 113   | 121   | 117   | 6.43     | $117 \pm 5$      |
| Cloretos (mg/l)              | 109.1                            | 83.8  | 79.5  | 85.2  | 98.0  | 107.0 | 95.3  | 90.9  | 86.6  | 93.7  | 92.9  | 9.77     | $92.9 \pm 7.0$   |
| Ferro total (mg/l)           | 0.15                             | 0.26  | 0.18  | 0.31  | 0.32  | 0.11  | 0.03  | 0.00  | 0.02  | 0.01  | 0.14  | 0.13     | $0.14 \pm 0.1$   |
|                              | Água Tratada                     |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | #DIV/0!  |                  |
| pH                           | 7.3                              | 7.4   | 7.2   | 7.4   | 6.8   | 7.7   | 7.7   | 6.9   | 7.0   | 7.2   | 7.3   | 0.29     | $7.3 \pm 0.2$    |
| TDS                          | 80.1                             | 92.1  | 88.9  | 117   | 83.1  | 86.3  | 107   | 72.0  | 61.6  | 94.6  | 88.3  | 16.00    | $88.3 \pm 11.4$  |
| Condutividade ( $\mu S/cm$ ) | 118.7                            | 134.0 | 129.0 | 169.0 | 120.4 | 125.0 | 154.0 | 102.0 | 91.8  | 133.0 | 127.7 | 22.50    | $127.7 \pm 16.1$ |
| Dureza total (mg/l)          | 19                               | 17    | 14    | 19    | 21    | 17    | 15    | 9     | 17    | 15    | 16    | 3.33     | $16 \pm 2$       |
| Alcalinidade (mg/l)          | 28                               | 34    | 43    | 45    | 24    | 13    | 32    | 10    | 11    | 13    | 25    | 13.22    | $25 \pm 9$       |
| Cloretos (mg/l)              | 26.7                             | 34.1  | 34.5  | 32.8  | 32.1  | 23.2  | 38.2  | 35.6  | 34.4  | 40.0  | 33.2  | 4.99     | $33.2 \pm 3.6$   |
| Ferro total (mg/l)           | 0.00                             | 0.01  | 0.00  | 0.00  | 0.02  | 0.02  | 0.09  | 0.02  | 0.09  | 0.00  | 0.03  | 0.04     | $0.02 \pm 0.03$  |
|                              | Efluente de lavagem das garrafas |       |       |       |       |       |       |       |       |       |       | #DIV/0!  |                  |
| pH                           | 8.6                              | 8.1   | 8.8   | 9.0   | 9.3   | 8.6   | 8.5   | 9.4   | 8.9   | 8.4   | 8.8   | 0.43     | $8.8 \pm 0.3$    |
| TDS                          | 135                              | 122   | 111   | 127   | 122   | 124   | 106   | 124   | 95    | 130   | 120   | 12.02    | $120 \pm 9$      |
| Condutividade ( $\mu S/cm$ ) | 197.0                            | 177.0 | 191.0 | 183.0 | 193.8 | 191.0 | 177.0 | 175.0 | 138.0 | 192.0 | 181.5 | 17.19    | $181.5 \pm 12.3$ |
| Dureza total (mg/l)          | 13                               | 17    | 15    | 22    | 10    | 10    | 15    | 11    | 12    | 11    | 14    | 3.78     | $14 \pm 3$       |
| Alcalinidade (mg/l)          | 71                               | 53    | 52    | 52    | 45    | 42    | 46    | 44    | 31    | 41    | 48    | 10.48    | $48 \pm 7$       |
| Cloretos (mg/l)              | 34.1                             | 37.2  | 35.5  | 31.3  | 31.3  | 29.2  | 38.0  | 25.7  | 26.5  | 40.0  | 32.9  | 4.89     | $32.9 \pm 3.5$   |
| Ferro total (mg/l)           | 0.03                             | 0.00  | 0.04  | 0.02  | 0.03  | 0.01  | 0.02  | 0.05  | 0.03  | 0.00  | 0.02  | 0.02     | $0.02 \pm 0.01$  |

A seguir são apresentadas imagens das amostras da água bruta, água tratada e efluente de lavagem das garrafas.

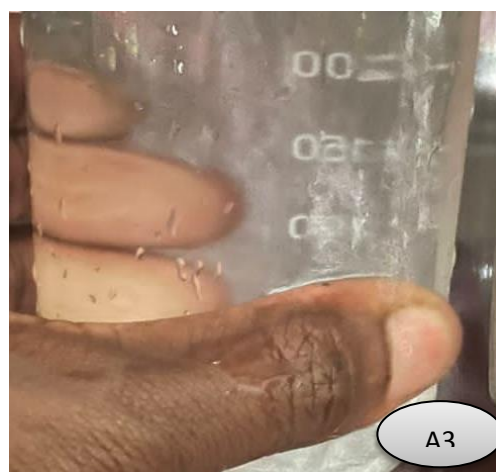


Figura A1.1: Amostra de água (A1) e efluente de lavagem das garrafas (A3)



Figura A1.2: Amostra de água tratada



Figura A1.3. Espectrofotômetro de absorção molecular