



FACULDADE DE CIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
LICENCIATURA EM QUÍMICA AMBIENTAL

TRABALHO DE LICENCIATURA

Avaliação da eficiência do sistema de tratamento da água e estudo da possibilidade de reaproveitamento de águas residuais na fábrica de Coca-Cola Beverages África na Matola-Gare (Maputo)



Autor: Nelson Azarias Senda

Maputo, Abril de 2024



UNIVERSIDADE
E D U A R D O
MONDLANE

FACULDADE DE CIÊNCIAS

DEPARTAMENTO DE QUÍMICA

LICENCIATURA EM QUÍMICA AMBIENTAL

TRABALHO DE LICENCIATURA

**Avaliação da eficiência do sistema de tratamento da água e
estudo da possibilidade de reaproveitamento de águas
residuais na fábrica de Coca-Cola Beverages África na
Matola-Gare (Maputo)**

Autor: Nelson Azarias Senda

Supervisora: Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova (UEM)

Co-Supervisor: Eng.^o Armando José Cumbula
(Coca-Cola Beverages África)

Maputo, Abril de 2024

DECLARAÇÃO DE HONRA

Declaro por minha honra que o trabalho aqui apresentado é da minha autoria, nunca foi apresentado para obtenção de qualquer grau académico ou na sua essência para quaisquer fins e resulta da minha investigação, tendo as fontes bibliográficas consultadas sido devidamente identificadas ao longo do trabalho e nas experiências realizadas.

Maputo, _____ de _____ de 2024

O Autor

(Nelson Azarias Senda)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho a uma pessoa que foi muito especial na minha vida, **Alberto Samuel Massingue** que Deus o tenha em seu leito. Aos meus pais Azarias Senda e Teresa Albino Macucule e ao meu tio André Machavele que sempre fizeram de tudo e deram o pouco que tinham para que o seu filho pudesse ir adiante com os seus estudos. Á minha querida esposa Percina Ernesto Nhaca pela paciência, amor carinho e atenção acima de tudo um toque de realidade sempre que fosse necessário e aos meus filhos Veron e Wilma, dedico-lhes este trabalho para que sirva de inspiração para o seu percurso académico, aos meus irmãos Titos Azarias Senda (em memória), Verónica Senda, Alberto Senda e Lurdes Senda pela motivação e força que sempre me deram para continuar a estudar de forma incondicional.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar agradeço a Deus pela saúde e vida.

À Universidade Eduardo Mondlane em particular a Faculdade de Ciências pela oportunidade de realização do curso de Licenciatura em Química Industrial.

Agradeço igualmente à Coca-Cola Beverages Africa Matola-Gare por me conceder a oportunidade de realizar o meu trabalho de fim de curso.

À minha Supervisora Prof.^a Doutora Tatiana Kuleshova, pela sua disposição, incentivos, ensinamentos e acompanhamento incondicional desde a identificação e escolha do tema até à elaboração do relatório final, e ao meu co-Supervisor Eng.^o Armando José Cumbula (*Quality Assurance Technologist*) na empresa Coca-Cola Beverage Africa Matola-Gare pelo apoio e por tornar este trabalho uma realidade. A todos os docentes de departamento de Química pelos conhecimentos transmitidos durante a minha formação.

A todos os colegas do departamento de Qualidade no laboratório de Controlo de Qualidade e aos colegas da empresa SENTRATEK empresa prestadora de serviços à Coca-Cola que é responsável pelo tratamento de água, pelo apoio na realização das análises laboratoriais.

Aos meus colegas, Eduarda Raquel Safrão, Jaime Alfredo Cossa, Estêvão Macie, Lic. Caren Gilmara, Lic. Cristóvão Tapa, João Changule, Célia Titos, Lic. Hamina Amade, Lic. Edilson Julião, Lic. Amade Sambo e aos demais colegas e funcionários do Departamento de Química; Lic. Paulo Mugadua, Mestre Lucas Tamele Jr., Arlindo Nguenha e Eng.^o João Macuáqua.

À minha querida esposa Percina Ernesto Nhaca, por demonstrar compreensão, apoio e motivação durante todo o percurso da minha formação.

À toda a minha família, pelos ensinamentos, cuidados e encorajamento para seguir com a academia;

O meu muito **OBRIGADO!**

GLOSSÁRIO

AB – Água Bruta

ANOVA – Análise de Variância

AROR – Água Rejeitada na Osmose Reversa

AST – Água Semi-tratada

ATNF – Água Tratada por Nanofiltros

ATOR – Água Tratada por Osmose Reversa

BHA – butil-hidroxianisol;

BHT – butil-hidroxitolueno;

CA – Carvão Activado;

CBA – Análise de Custos e Benefícios;

CE – Condutividade Eléctrica;

DPD – Dietil-p-fenilenodiamina;

E_{Global} – Eficiência Global

E_{NF} – Eficiência dos Nanofiltros;

E_{OR} – Eficiência da Osmose Reversa

ETA – Estação de Tratamento de Água;

ETAR – Estação de Tratamento de Águas Residuais;

FIPAG – Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água;

GL – Graus de Liberdade;

LCA – Avaliação do Ciclo de Vida;

MF – Microfiltração;

NF – Nanofiltração;

NTU – Unidade Nefelométrica de Turvação;

PAC – Cloreto de Polialumínio;

PET – Polietileno Tereftalato;

QM (Aj.) – Quadrado Médio Ajustado;

OR – *Reverse Osmosis* “Osmose Reversa”;

SAC – *Strong Acid Cation* “Catião de Ácido Forte”;

SBA – *Strong Basic Anion* “Anião Básico Forte”;

SQ (Aj.) – Soma de Quadrados Ajustado

TCCC–The Coca-Cola Company;

TDS – Sólidos Totais dissolvidos;

THM – Trihalometanos;

UF – Ultrafiltração;

UFC – Unidade Formada de Colónias;

WHO – *World Health Organization* “Organização Mundial da Saúde”;

RESUMO

Na indústria de refrigerantes, a água é a principal matéria-prima, constituindo cerca de 85 a 95% do produto final e exerce a função de meio de transporte para os outros ingredientes. A água utilizada na produção de refrigerantes deve ser tratada para não comprometer a saúde dos consumidores. Na Coca-Cola, concretamente na Matola Gare, a água usada no processo provém da rede municipal fornecida pelo FIPAG e é tratada em sistema altamente tecnológico composto pelas seguintes etapas: equalização de pH, coagulação/floculação, filtração com areia, cloração, filtração com carvão activado granular, filtração com membranas de nanofiltração, osmose reversa (OR) e desinfecção com UV. Entretanto, a eficiência de cada etapa deste sistema não foi anteriormente testada, pelo que o presente estudo visa avaliar a eficiência das etapas e do processo como um todo. Adicionalmente, foi avaliada a possibilidade de reaproveitamento da água que é rejeitada na etapa de tratamento com membranas de OR. Para o efeito, foram realizadas análises de parâmetros físico-químicos e microbiológicos nos seguintes pontos do processo: tanque de água bruta – AB; tanque da água semi-tratada – AST; água nos nanofiltros – ATNF; água após o processo de osmose reversa (água tratada) – ATOR; e água rejeitada pelas membranas de OR (água rejeitada) – AROR. Para o estudo foram colectadas 60 amostras em um período de 3 meses (de Setembro a Novembro de 2022). Os resultados obtidos mostram que a estação de tratamento de água (ETA) na Coca-Cola de Matola-Gare possui, em geral, uma eficiência de redução muito elevada para alcalinidade total (100%), turvação (100%), dureza total (98,7%), sólidos totais dissolvidos (99%), iões SO_4^{2-} e Cl^- (100% e 95%, respectivamente). Individualmente as etapas de filtração com nanofiltros e membranas de OR também apresentaram elevada eficiência de redução dos parâmetros mencionados. A análise estatística (teste de ANOVA bimodal) aplicada mostrou que a eficiência do tratamento não varia com o tempo, mostrando que as condições de tratamento são mantidas constantes ao longo do período avaliado. A análise da água rejeitada nas membranas de OR apresentou em média um pH de 8,25, alcalinidade de 141,25 mg/L, TDS de 218,96 mg/L, dureza total de 195,50 mg/L. Essas características permitem seu reaproveitamento na etapa de lavagem de garrafa. A análise de viabilidade mostra que a reutilização dos 4230 m³/mês da água rejeitada pode-se reduzir o consumo de água em cerca de 16% e, conseqüentemente, diminuir o rácio de uso da água de 2,30 para 1,92 m³ de água por m³ de refrigerante produzido.

Palavras-chave: Indústria de refrigerantes; Coca-Cola Matola-Gare; Qualidade da água; Reuso; Eficiência.

ÍNDICE

DECLARAÇÃO DE HONRA.....	i
DEDICATÓRIA	ii
AGRADECIMENTOS	iii
GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS E SIGLAS	iv
RESUMO.....	vi
ÍNDICE DE TABELAS.....	x
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xi
1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objectivos.....	3
1.1.1. Geral	3
1.1.2. Específicos.....	3
1.2. Perguntas de pesquisa.....	3
1.3. Justificativa da escolha do tema.....	4
1.4. Metodologia	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	6
2.1. A indústria dos refrigerantes	6
2.1.1. Processo industrial de produção de refrigerantes carbonatados	7
2.2. Consumo de água na indústria de refrigerantes	9
2.3. Tratamento de água na indústria de refrigerantes	10
2.3.1. Coagulação e Floculação	11
2.3.2. Sedimentação e flotação	12
2.3.3. Abrandamento	12
2.3.4. Processo de adsorção em carvão activado.....	13
2.3.5. Filtração	14
2.3.6. Processos de separação com membranas.....	15
2.3.7. Osmose reversa.....	16
2.3.8. Desinfecção ou oxidação	17

2.4. Parâmetros de controlo da qualidade de água	18
2.4.1. Parâmetros físico-químicos	18
2.4.2. Parâmetros microbiológicos	20
3. DESCRIÇÃO DA FÁBRICA DE COCA-COLA BEVERAGES.....	21
3.1. Localização e caracterização da fábrica	21
3.2. Linhas de produção e Matérias-primas	22
3.3. Tratamento de água	22
4. MATERIAL E MÉTODOS	25
4.1. Equipamentos e materiais	25
4.2. Reagentes	25
4.3. Amostragem	26
4.4. Procedimentos experimentais.....	27
4.4.1. Determinação de pH	27
4.4.2. Determinação da turvação	28
4.4.3. Determinação da CE e TDS.....	28
4.4.4. Determinação da alcalinidade total, dureza total, cloro, cloretos e sulfatos.....	29
4.4.5. Parâmetros microbiológicos	31
4.5. Determinação da eficiência de tratamento	31
4.6. Tratamento Estatístico dos dados	32
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	33
5.1. Apresentação dos resultados	33
5.2. Discussão dos resultados	38
5.2.1. pH	38
5.2.2. Turvação	40
5.2.3. Alcalinidade total.....	40
5.2.4. Sólidos totais dissolvidos.....	42
5.2.5. Dureza total.....	43
5.2.6. Sulfatos	44
5.2.7. Cloretos.....	45

5.2.8. Desempenho do sistema de desinfecção.....	47
5.2.9. Reaproveitamento da água rejeitada.....	49
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	52
6.1. Conclusões	52
6.2. Recomendações	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	54
ANEXOS	A

ÍNDICE DE TABELAS

Tabela 1. Principais tipos de refrigerantes.	6
Tabela 2. Tipos de impurezas na água e respectivos tratamentos	10
Tabela 3. Comparação de diferentes agentes de desinfecção.	18
Tabela 4. Matérias-primas e seus fornecedores.....	22
Tabela 5. Resultados das análises físico-químicas e biológicas da água bruta (AB).....	33
Tabela 6. Resultados das análises de cloro na água semi-tratada (AST).....	34
Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas da água tratada por nanofiltração (ATNF)...	34
Tabela 8. Resultados das análises físico-químicas da água tratada por osmose reversa (ATOR)	35
Tabela 9. Resultados dos ensaios para água rejeitada no tratamento por osmose reversa (AROR)	35
Tabela 10. Resultados do cálculo da eficiência de redução da Alcalinidade, TDS e turvação	36
Tabela 11. Resultados do cálculo da eficiência de redução de sulfatos, cloretos e dureza total ..	36
Tabela 12. Resultados do teste de ANOVA a dois factores.....	37
Tabela 13. Balanço hídrico mensal e simulação para efeito do reuso da água rejeitada nas membranas OR.....	51
Tabela A-1. Resultados das análises físico-químicas da AB.....	A
Tabela A-2. Resultados das análises físico-químicas da ATNF	B
Tabela A-3. Resultados das análises físico-químicas da ATOR.....	C
Tabela A-4. Resultados das análises físico-químicas da AROR	D
Tabela B-1. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água para consumo humano.....	E
Tabela C-1. Fórmulas de cálculo dos parâmetros estatísticos.....	F

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de produção de refrigerantes desde a preparação do xarope simples até ao enchimento.	8
Figura 2. Mecanismo geral de coagulação/floculação para remover contaminantes.	12
Figura 3. Mecanismo geral de adsorção para remover contaminantes.	13
Figura 4. Representação esquemática do processo de separação com membrana.	15
Figura 5. Processo de osmose reversa.	16
Figura 6. Localização da fábrica de Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare obtida a partir do google earth.....	21
Figura 7. Diagrama do processo de tratamento de água na Coca-Cola Beverages Africa da Matola-Gare.....	24
Figura 8. Local de captacao de água pela FIPAG (f) e Pontos de amostragem: a) AB; b) AST; c) ATNF; d) ATOR; e) AROR.....	26
Figura 9. pHmetro HANNA Edge utilizado na determinação de pH das amostras.....	28
Figura 10. Turbidímetro EUTECH Instruments TN-100 utilizado para determinar a turvação..	28
Figura 11. Condutímetro Lovibond SensoDirect 150 utilizado para determinação de CE e TDS	29
Figura 12. Espectrofotómetro Lovibond MultDirect XD 7500 para análises de AT, DT, cloro, cloretos e sulfatos.....	29
Figura 13. Incubadora IncoTherm da LABOTEC utilizados durante determinação de parâmetros microrganismos.	31
Figura 14. Variação do pH ao longo do monitoramento da ETA.....	38
Figura 15. Variação turvação ao longo do monitoramento da ETA.....	40
Figura 16. Variação da alcalinidade total ao longo do monitoramento da ETA.	41
Figura 17. Variação de TDS ao longo do monitoramento da ETA.	42
Figura 18. Variação de DT ao longo do monitoramento da ETA.	44
Figura 19. Variação de sulfatos ao longo do monitoramento da ETA.	45
Figura 20. Variação de cloretos ao longo do monitoramento da ETA.	46
Figura 21. Variação da quantidade de bactérias ao longo do monitoramento da ETA.	47
Figura 22. Variação cloro livre ao longo do monitoramento da ETA.	48
Figura 23. Comparação da qualidade de água bruta e da água rejeitada	50

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a indústria de bebidas não alcoólicas tem apresentado um cenário de grande expansão sendo amplamente retratada como um dos maiores mercados do mundo (Tahmassebi & BaniHani, 2020). Em 2013, o mercado comercial deste sector gerou aproximadamente 531,3 bilhões de dólares em todo o mundo (Yohannes & Matsuda, 2015). Nesse contexto, o campo da produção de refrigerantes é identificado como um dos mais promissores com uma produção superior a 465 bilhões de litros (Williams, 2014).

Estima-se que, em 2020, a receita global do comércio de refrigerantes já tenha ultrapassado a marca de 667.384 milhões de dólares com previsão de crescimento de 6,5% nos próximos cinco anos (Junior *et al.*, 2021). Entretanto, esse cenário promissor tem apresentado sérias adversidades, principalmente relacionadas ao uso inadequado de recursos para os processos de produção e fabricação (Scarborough *et al.*, 2020).

Os refrigerantes contêm tipicamente água, edulcorante (7-12%, m/v), dióxido de carbono (0,3-0,6% m/v), acidulantes (0,05-0,30% m/v), aromatizantes (0,1-0,5% m/v), corantes (0-70 ppm), conservantes químicos, antioxidantes (<100 ppm) e/ou agentes espumantes (por exemplo, saponinas até 200 mg/mL) (Kregiel, 2015). A água é o principal componente de um refrigerante, representa geralmente entre 85 a 95% do produto e actua como um meio de transporte para os outros ingredientes (Haroon *et al.*, 2013; Jahagirdar *et al.*, 2015).

Enormes quantidades de água doce são necessárias para a indústria de bebidas (Abdel-Fatah *et al.*, 2017; Victoria-Salinas *et al.*, 2019). Estima-se que para a produção de 1 L de refrigerante são necessários cerca de 2-4 L de água doce (Darkwah *et al.*, 2020; Junior *et al.*, 2021). O consumo de água nas lavadoras de garrafas chega a 1000 L/h (Andres Junior, 2015). As águas para a produção de refrigerantes são provenientes do município ou de furos privados e, geralmente, apresentam características que podem afectar negativamente a qualidade da bebida, pelo que é essencial remover ou neutralizar o seu efeito (Ally, 2015; Kregiel, 2015).

A qualidade da água utilizada na produção de refrigerantes tem implicações directas na qualidade do produto final (Mittal & Chaudhary, 2018). A água destinada á produção de bebidas na indústria

de refrigerantes não deve apresentar cheiro e sabor, deve ser incolor, ter baixa alcalinidade e ser livre de matéria orgânica e microrganismos contaminantes (Jahagirdar *et al.*, 2015; Rodrigues *et al.*, 2011). Assim é necessário que a água passe por um sistema de tratamento adequado na própria planta industrial, com o intuito de assegurar a qualidade do produto final (Rodrigues *et al.*, 2011).

As principais etapas realizadas em uma ETA de uma indústria de refrigerantes incluem: coagulação-floculação e posterior separação das partículas por decantação ou flotação; filtração em areia; supercloração; filtração em carvão activado e polimento final (Rodrigues *et al.*, 2011).

Especificamente na Coca-Cola Beverages Africa na Matola-Gare, a água usada para a produção de refrigerantes é fornecida pelo Fundo de Investimento e Património do Abastecimento de Água (FIPAG), e deve obedecer aos requisitos estabelecidos pelo Ministério da Saúde no diploma ministerial n° 180/2004 de 15 de Setembro. Nesta fábrica, o processo de tratamento da água para a produção compreende etapas de correcção de pH, filtração com filtros de areia e de carvão activado, membranas de nano filtração e osmose inversa, redução de alcalinidade e dureza com vista a atingir as especificações exigidas pela The Coca-Cola Company (TCCC) para a produção dos seus produtos (Coca-Cola, 2021).

Durante a fase de comissionamento da fábrica da Coca-Cola Beverages Africa na Matola-Gare foi avaliada a eficiência global de tratamento da água, porém nesta fase, nenhum estudo foi realizado para verificar a eficiência etapa por etapa. Desta forma, o presente estudo visa avaliar a eficiência das etapas de tratamento e também eficiência global. Adicionalmente, o estudo também visa avaliar a possibilidade de reaproveitamento de águas residuais geradas durante o processo de tratamento. A realização de tal estudo pode trazer para a fábrica um entendimento mais abrangente do processo e também a possibilidade de reduzir custos operacionais através da diminuição de etapas de tratamento e do reaproveitamento de águas que eram perdidas no processo.

1.1. Objectivos

1.1.1. Geral

Avaliar a eficiência do sistema de tratamento de água na fábrica de Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare e investigar a viabilidade do reaproveitamento de águas rejeitadas no processo.

1.1.2. Específicos

- Determinar os parâmetros físico-químicos e microbiológicos em cinco pontos de amostragem (tanque de água bruta, tanque da água semi-tratada, água nos nanofiltros; água após o processo de osmose reversa, água rejeitada pelas membranas de OR);
- Calcular as eficiências de tratamento da água nas diferentes etapas que compõem o sistema de tratamento de água na fábrica da Coca-Cola Matola-Gare;
- Analisar as variações na eficiência do tratamento ao longo do período de monitoramento através da comparação da qualidade da água tratada em diferentes dias;
- Analisar a possibilidade de reutilização da água rejeitada do sistema de osmose reversa dentro da fábrica da Coca-Cola Matola-Gare.

1.2. Perguntas de pesquisa

- [1] Quão eficazes são as etapas de tratamento da água utilizadas na fábrica da Coca-Cola Matola-Gare na remoção de contaminantes físico-químicos e microbiológicos?
- [2] Como varia a eficiência de tratamento de água destinada à produção de refrigerantes ao longo do tempo na fábrica da Coca-Cola Matola-Gare?
- [3] Será que existem variações significativas na eficiência das etapas de tratamento em diferentes períodos?
- [4] Será que a água rejeitada nas membranas (água residual) possui qualidade suficiente para ser reutilizada nos processos da fábrica da Coca-Cola Matola-Gare?

1.3. Justificativa da escolha do tema

A contaminação da água, especialmente água superficial de rios e lagos, deve-se principalmente à urbanização, à agricultura e às descargas industriais. Pesquisas realizadas na região Sul de Moçambique apontam para uma redução significativa da qualidade dos principais rios utilizados para o abastecimento de água nas cidades de Maputo e Matola (Mutatisse *et al.*, 2022). O grau de poluição das fontes de água nestas cidades acarreta um aumento nos custos de tratamento de água.

A água usada pela indústria provém da rede de abastecimento municipal e olhando para o cenário de poluição das principais fontes de abastecimento de água é necessário tratar a água antes do seu uso no processo de produção. Atendendo que a água não pode conter substâncias que possam alterar a aparência, a estabilidade ou o sabor dos produtos finais, a água bruta é tratada através de um processo composto pelas seguintes etapas: correcção de pH, filtração, polimento com membranas de nano filtração e osmose reversa (OR).

A eficiência das diversas etapas de tratamento de água na Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare ainda não foi estudada. Desta forma, o presente estudo objectivou avaliar a eficiência de tratamento da água nas etapas e de todo o sistema de tratamento de água para a produção de refrigerantes, sumos e água mineral em geral. Ao analisar a qualidade da água bruta, a eficiência das etapas de tratamento e a variação da qualidade da água tratada em diferentes dias, a empresa poderá implementar medidas correctivas e aprimorar o seu sistema de tratamento de água.

Observações feitas pelos operadores da ETA mostram que durante o tratamento com osmose reversa uma elevada quantidade da água é rejeitada chegando a cerca de 50% da quantidade de água de alimentação das membranas de OR. Na Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare a água rejeitada pelas membranas de OR é considerada como água residual e encaminhada para a estação de tratamento de águas residuais (ETAR). Portanto, a reutilização desta água vai acarretar em uma maior eficiência operacional, redução de custos e melhores práticas de produção. O estudo também poderá identificar oportunidades de optimização do processo, reduzindo o consumo de água e minimizando o impacto ambiental associado à produção de bebidas. Isso contribui para a sustentabilidade ambiental da empresa e para a conservação dos recursos hídricos locais.

1.4. Metodologia

A metodologia usada para a realização do presente estudo consistiu na pesquisa bibliográfica, realização do trabalho de campo, análises laboratoriais, análise e discussão de resultados e a elaboração do relatório final. A pesquisa bibliográfica foi feita em manuais, artigos de revistas científicas, trabalhos de licenciatura, mestrado e doutoramento e buscas na internet livros e artigos científicos, em formato físico e digital.

O trabalho de campo consistiu na realização de observações da área de estudo, concretamente o sistema de tratamento de água. O trabalho de campo culminou com a colecta de água de amostras nas etapas do tratamento na fábrica e da água rejeitada das membranas de OR.

As análises laboratoriais das amostras foram conduzidas no laboratório do departamento de controlo de qualidade na própria fábrica da Coca-Cola Matola-Gare, de acordo com procedimentos descritos no manual (Coca-Cola, 2021). Na análise das amostras foram determinados os seguintes parâmetros: pH (método potenciométrico), turvação (método nefelométrico), TDS e condutividade (método condutimétrico), alcalinidade total, dureza total, cloro, cloretos e sulfatos (método de espectroscopia de absorção na região do UV-Vis), coliformes e bactérias (método de membranas filtrantes).

Os resultados compilados foram apresentados sob a forma de gráficos e analisados com base no Software Minitab 19 que aplica vários testes estatísticos para análise de dados. Os testes estatísticos empregues baseiam-se na comparação das médias dos dados colhidos durante os diferentes dias de medição.

O relatório final engloba toda a informação relevante ao estudo, desde o problema de estudo, justificativa da escolha do tema, revisão bibliográfica, procedimentos seguidos na execução da parte experimental, apresentação e discussão dos resultados em respeito ao regulamento de elaboração do Trabalho de Licenciatura em vigor no Departamento de Química da Faculdade de Ciências, Universidade Eduardo Mondlane.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. A indústria dos refrigerantes

O sector dos refrigerantes é constituído por empresas que produzem, embalam, vendem e entregam bebidas aos seus clientes. Os refrigerantes são populares em muitos mercados e a procura tem vindo a aumentar devido ao baixo custo dos refrigerantes, que se tornaram artigos de compra repetida (Ferreira *et al.*, 2009). Os refrigerantes modernos constituem um grupo diversificado de produtos. Podem ser classificados de várias formas, por exemplo, com base no seu teor de açúcar e sumo de fruta, aromatizantes, nível de carbonatação, principais ingredientes não aquosos e funcionalidade (Boguniewicz-Zabłocka *et al.*, 2017).

Segundo Kregiel (2015) para além da água potável engarrafada, os tipos mais populares de refrigerantes são os seguintes: bebidas prontas a beber com sabor a essência, bebidas prontas a beber contendo fruta ou sumo de fruta; bebidas prontas a beber após diluição (Tabela 1).

Tabela 1. Principais tipos de refrigerantes.

Tipo de refrigerante	Descrição do produto
Água engarrafada	Água potável: (i) sem gás – água não gaseificada, mineral, de nascente; (ii) Água gaseificada – água mineral, de nascente gaseificada naturalmente ou por injeção de CO ₂ ; (iii) Água aromatizada – água mineral com essências e/ou substâncias aromáticas
Carbonatados	Bebidas adocicadas, com CO ₂ , xaropes para diluição caseira e refrigerantes gaseificados
Sumos	Bebida á base de fruta ou de legumes 100% puro sem ingredientes, excepto minerais e vitaminas permitidos, com agentes edulcorantes (menos de 2%)
Néctares	Sumo e polpa de fruta/vegetais diluídos, com agentes edulcorantes, minerais e vitaminas
Bebidas não gaseificadas	Bebidas aromatizadas prontas a beber, não gaseificadas, com aromas ou sumos de frutos ou não frutos (até 25%)
Chá/café gelado	Bebidas à base de chá ou de café e concentrados líquidos e em pó não prontos a beber
Bebidas desportivas	Produtos descritos como "isotónicos", "hipertónicos" ou "hipotónicos", gaseificados ou não, em pó e concentrados prontos a beber ou não prontos a beber
Bebidas energéticas	Bebidas energéticas, principalmente gaseificadas e contendo taurina, guaraná, glucose, cafeína, ervas e substâncias exóticas, minerais e vitaminas.

Fonte: Kregiel (2015)

O sector de refrigerantes é subdividido em 3 subsegmentos: (1) refrigerantes gaseificados designam todas as bebidas não alcoólicas gaseificadas e adoçadas artificialmente; (2) refrigerantes não carbonatados contêm bebidas refrescantes líquidas não alcoólicas que não são carbonatadas artificialmente; (3) bebidas energéticas e desportivas que proporcionam benefícios funcionais, como a estimulação mental e física (Statista, 2023).

De acordo com Statista (2023) actualmente a indústria de refrigerantes mantém uma tendência de crescimento dos últimos 20 anos. As receitas do segmento dos refrigerantes ascendem a 1 bilião de dólares em 2023. Espera-se que o mercado cresça anualmente 4,15% até 2027. O maior mercado é os Estados Unidos com mais de 328 bilhões de dólares em 2023. No segmento dos refrigerantes, prevê-se que o volume atinja 348,2 mil milhões de litros em 2027. Prevê-se ainda que este sector registre um crescimento de volume de 2,0% em 2024. O volume médio de consumo per capita de refrigerantes deverá ascender a 42,91 litros em 2023.

O mercado de refrigerantes carbonatados em Moçambique em 2014 gerou uma receita de 41,00 milhões de dólares. Estima-se que até 2024 o mercado de bebidas em Moçambique atinja 247,16 milhões de dólares, denotando-se assim crescimento de 14,42% ao ano para o período 2019-2024. Contudo, trata-se de um decréscimo, comparativamente ao crescimento de cerca de 26,80% ao ano, registado no período 2014-2018 (WMStrategy, 2022).

O consumo médio per capita em termos de valor atingiu 1,51 dólares per capita em 2014. Nos cinco anos seguintes, cresceu cerca de 23,21% ao ano. A médio prazo (até 2024), prevê-se que o indicador abrande o seu crescimento e aumente a uma tendência de 11,27% por ano (WMStrategy, 2022).

2.1.1. Processo industrial de produção de refrigerantes carbonatados

O fabrico de refrigerantes inclui o tratamento da água, a preparação de xaropes (simples e compostos), o fabrico da bebida (diluição do xarope e pasteurização), o enchimento e a embalagem do produto (Zewdu, 2013). A Figura 1 mostra um esquema das operações envolvidas na preparação de um refrigerante, com excepção do tratamento da água.

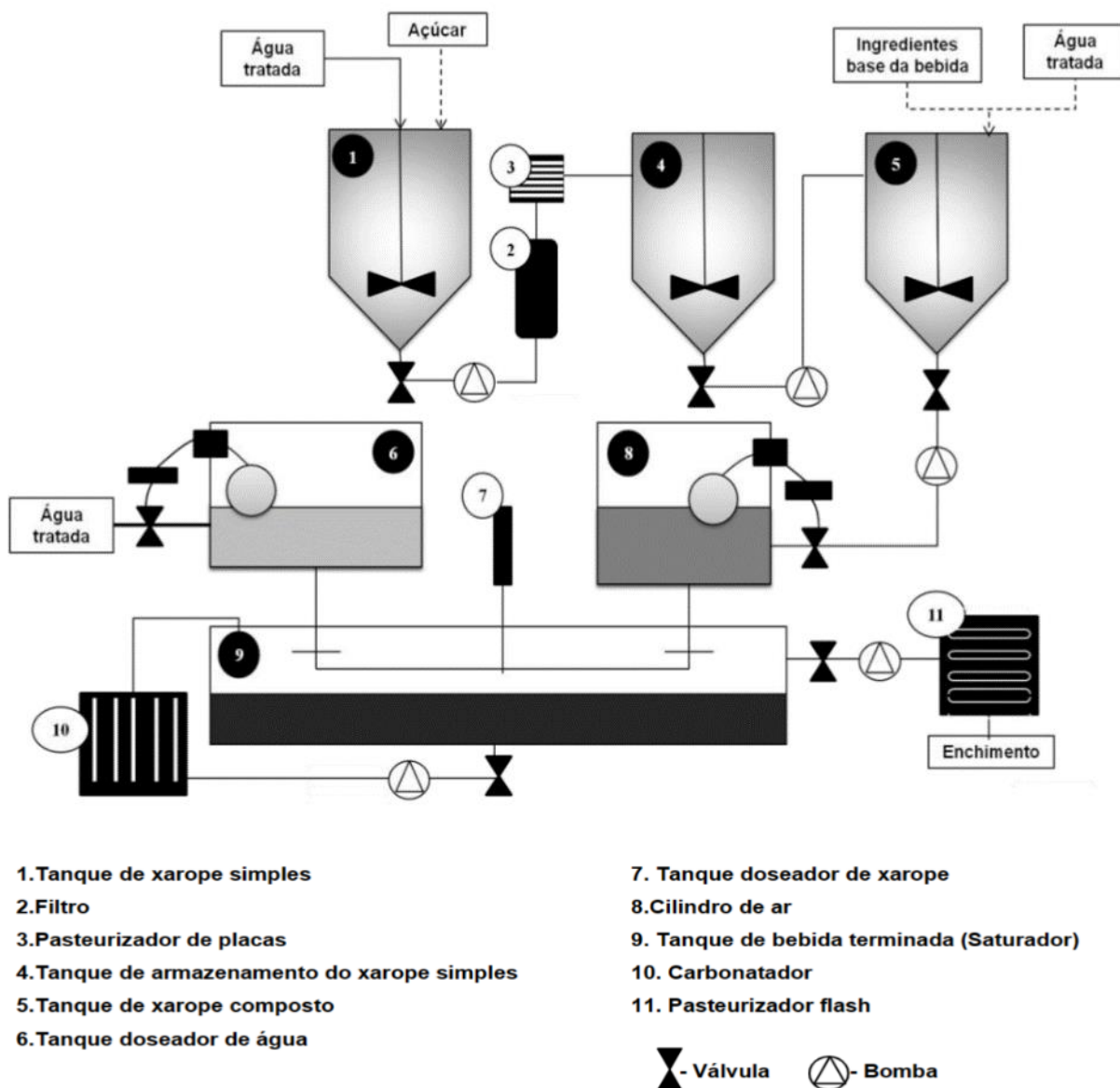


Figura 1. Esquema de produção de refrigerantes desde a preparação do xarope simples até ao enchimento. **Fonte:** Chaudhary (2018).

O processo de produção dos refrigerantes propriamente dito inicia-se com a preparação do xarope simples. O processo para a produção de xarope simples envolve diluir o açúcar em água e, em seguida, filtrar e pasteurizar o líquido utilizando um pasteurizador de placas. Já o xarope composto é obtido ao homogeneizar o xarope simples com outros ingredientes, tais como sumos de frutas, corantes, conservantes, água e antioxidantes (Chaudhary, 2018; Ribeiro, 2011).

Uma vez que o xarope composto é obtido, ele é diluído em uma proporção pré-determinada (geralmente de 1:2 a 1:6) em um tanque conhecido como tanque de bebida acabada, também chamado de saturador. Nesta etapa, a bebida pode ou não ser carbonatada posteriormente. Em seguida, a bebida é direcionada para o sistema de enchimento. No caso de bebidas não carbonatadas ou levemente carbonatadas, a embalagem deve ser pressurizada utilizando nitrogénio líquido para garantir a rigidez durante o transporte e armazenamento, além de evitar a entrada de oxigénio na embalagem (Chaudhary, 2018).

A eficiência da carbonatação é afectada por vários factores, como a temperatura, a concentração de substâncias dissolvidas, a pressão e os níveis de oxigénio dissolvido. A solubilidade do CO₂ diminui com o aumento da temperatura e da concentração de substâncias dissolvidas, enquanto aumenta com o aumento da pressão. Para uma carbonatação eficaz, é necessário manter níveis baixos de oxigénio dissolvido (Chaudhary, 2018).

2.2. Consumo de água na indústria de refrigerantes

A água é o principal ingrediente dos refrigerantes gaseificados. Os refrigerantes convencionais contêm cerca de 90% de água, ao passo que as bebidas carbonatadas dietéticas podem conter até 98% de água. A água actua também como solvente e veículo para outros ingredientes (Chaudhary, 2018). Aproximadamente 2 – 4 L de água doce são necessários para produzir 1 L de refrigerante, com uma média de 2,54 litros/litro de refrigerante (Darkwah *et al.*, 2020; Junior *et al.*, 2021).

A indústria de refrigerantes utiliza normalmente grandes quantidades de água. A fábrica de engarrafamento em um estudo realizado por Haroon *et al.* (2013) utiliza uma grande quantidade de água doce, o consumo de água varia de 15.000 a 22.000 m³ por mês. Num estudo realizado por Hsine *et al.* (2005), o consumo mensal de água foi situado entre 7.000 e 25.000 m³. Nesta fábrica, nos meses de alta produção, o consumo de água atinge, em média, 500 m³/dia, e as perdas de água sob a forma de rejeições nas redes variam entre 56 % e 73 % da água consumida. O rácio da fábrica (m³ de água por m³ de produto) varia entre 3,2 e 3,9, com um mínimo de 2,2.

Durante o processo de fabrico, cerca de um terço da água é utilizada para o arrefecimento, limpeza do chão e lavagem. A lavagem de garrafas de vidro também utiliza muita água Hsine *et al.* (2005). Segundo Alkaya & Demirer (2015) a fábrica de refrigerantes do seu estudo consumiu em média 70.959 m³/mês de água e as cinco áreas principais em que a água é utilizada extensivamente foram

também o arrefecimento, preparação/enchimento de garrafas, limpeza das instalações, operações de utilidade pública e lavagens de materiais.

2.3. Tratamento de água na indústria de refrigerantes

A água bruta é normalmente obtida a partir de duas fontes principais, nomeadamente o município ou o proprietário de um poço privado, que tornam a água potável e própria para consumo humano. Esta água pode, no entanto, ter componentes ou características que podem afectar negativamente a qualidade da bebida, pelo que é essencial remover ou neutralizar o seu efeito (Ally, 2015).

A qualidade da água utilizada na produção de refrigerantes tem implicações directas na qualidade do produto final (Tabela 2). A água normalmente contém uma série de minerais e iões que podem alterar o sabor da bebida. Por conseguinte, os fabricantes de bebidas gaseificadas suaves utilizam água tratada para evitar a alteração do sabor e do aroma (Chaudhary, 2018).

Tabela 2. Tipos de impurezas na água e respectivos tratamentos

Impurezas	Defeitos na bebida	Processo de remoção
Turvação	Deposição nas condutas ou no equipamento;	Filtração/Coagulação/Decantação/Filtração
Dureza	Incrustação nas condutas ou no equipamento; Gosto desagradável no produto;	Desmineralização/Abrandamento
Cloreto	Produção de sabores desagradáveis; Aumento do carácter corrosivo da água;	Desmineralização/Osmose reversa
Fluoretos	Danifica o esmalte dos dentes;	Desmineralização/Osmose reversa
Oxigénio dissolvido	Corrói as tubagens e os equipamentos da água;	Desaeração
Nitratos	Podem provocar a "síndrome do bebé azul" em crianças pequenas; Provocam perfurações nas latas de refrigerantes;	Desmineralização/Osmose reversa
Sólidos em suspensão	Deposição nas condutas ou no equipamento;	Filtração/Coagulação/Decantação/Filtração

Fonte: Adaptado de Chaudhary (2018).

A água utilizada na indústria de refrigerantes deve estar isenta de elevados níveis de sais e elementos minerais; deve ser incolor, inodora e isenta de impurezas em suspensão; não deve possuir matéria orgânica e deve também ser límpida; livre de oxigénio dissolvido e estéril (livre de microorganismos) (Chaudhary, 2018; Ribeiro, 2011).

As partículas em suspensão, como complexos de hidróxidos e silicatos inorgânicos, assim como detritos orgânicos, são consideradas impurezas que podem estar presentes na água e afectar directamente a qualidade e estabilidade das bebidas (Chaudhary, 2018; Ribeiro, 2011). Essas partículas têm o potencial de causar instabilidade, resultando na perda de carbonatação, espuma inconsistente e variações de volume durante o enchimento. Em bebidas não carbonatadas, podem ocorrer depósitos visíveis e, ocasionalmente, um anel de resíduo no produto final (Ribeiro, 2011).

Outras impurezas problemáticas incluem bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos de metais alcalino-terrosos e alcalinos, como cálcio, magnésio, sódio e potássio. Essas impurezas são responsáveis pela alta alcalinidade da água e podem causar um efeito de tamponamento da acidez, resultando em alterações do sabor. Portanto, tanto a filtração quanto o controlo da alcalinidade da água (idealmente com um valor de $[CaCO_3] < 50 \text{ mg/L}$) são processos essenciais na indústria de refrigerantes (Ribeiro, 2011).

Antes da aplicação no processo de produção a água deve passar por um processo de tratamento (Kregiel, 2015). Os principais processos de tratamento empregados na indústria de refrigerantes são: floculação, precipitação, abrandamento, adsorção em carvão activado; troca iónica; destilação, oxidação com ozono, dióxido de cloro e peróxido de hidrogénio e separação por membranas (microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração e osmose reversa) (da Cunha, 2019). Abdel-Fatah *et al.* (2017) destacam que a escolha de uma ou mais combinações entre duas ou mais técnicas de tratamento sempre dependerá do potencial de cada tecnologia envolvida na redução do contaminante de interesse e da qualidade da água bruta fornecida.

2.3.1. Coagulação e Floculação

Na etapa da coagulação o primeiro produto químico que entrará em contacto com a água é um coagulante, como o sulfato de alumínio ou o cloreto de polialumínio (PAC). Seu objectivo é aglomerar as partículas para que, aderindo umas às outras, formem flocos. Essa etapa ocorre no tanque de mistura rápida (Sánchez-Martín *et al.*, 2012).

Após a coagulação, a água é direccionada ao floculador, onde é adicionado o polímero, que é um auxiliar da floculação. É um composto químico de grande cadeia molecular que auxilia a aumentar o tamanho dos flocos que ganham peso no floculador. Dependendo da característica química da água, escolhe-se qual polímero será usado (catiónico, aniónico ou neutro). Para algumas águas não é necessário sua adição no floculador (Rashid *et al.*, 2021).

2.3.2. Sedimentação e flotação

A sedimentação é um processo dinâmico de separação de partículas sólidas suspensas (mais pesadas que o líquido) nas águas onde a gravidade faz com que os flocos se depositem no fundo dos tanques. Os objectivos e aplicações da sedimentação são a retirada de partículas como areia, sólidos suspensos totais e flocos formados por coagulação química de materiais e alguns microrganismos (Rashid *et al.*, 2021). A Figura 2 apresenta os processos de coagulação/floculação e posterior sedimentação.

Na flotação, por outro lado, os flóculos formados na etapa de coagulação/floculação são removidos por injeção de ar para promover a ascensão das mesmas à superfície. A fim de promover o rendimento do processo é efectuado um ajuste no pH, para quebrar emulsões (Samsami *et al.*, 2020).

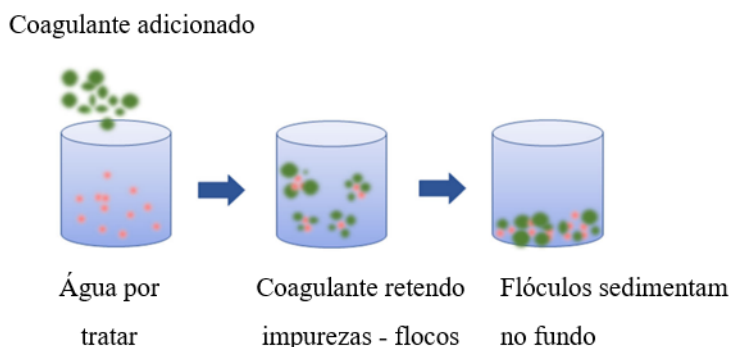
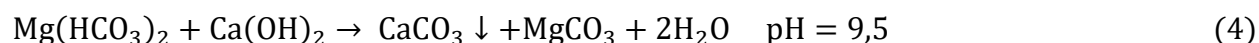


Figura 2. Mecanismo geral de coagulação/floculação para remover contaminantes. **Fonte:** Rashid *et al.* (2021).

2.3.3. Abrandamento

O processo de abrandamento com cal (CaO) ou hidratado [Ca(OH)₂] tem o objectivo de transformar as espécies solúveis de magnésio e cálcio em espécies insolúveis, ou seja, é uma

reação de precipitação. É um sistema bastante usado em sistemas de reaproveitamento de efluentes e geralmente requer uma etapa de separação de sólidos após a precipitação (Doosti *et al.*, 2012). As equações (1) a (4) representam as principais reacções envolvidas que são:



O efluente abrandado, além de passar por uma etapa de separação dos sólidos, deve passar por uma etapa de ajuste de pH, visto que após o tratamento o pH estará acima de 9 (Doosti *et al.*, 2012).

2.3.4. Processo de adsorção em carvão ativado

A adsorção é geralmente considerada um método económico e fiável para o tratamento de águas (Liu *et al.*, 2020). A adsorção é basicamente um processo de transferência de massa em que o soluto ou as espécies móveis são transportados de uma fase líquida para a superfície de uma fase sólida (Manchisi *et al.*, 2020). Através de interações físico-químicas, as espécies adsorvidas são ligadas à superfície sólida, como mostra a Figura 3 (Rashid *et al.*, 2021).

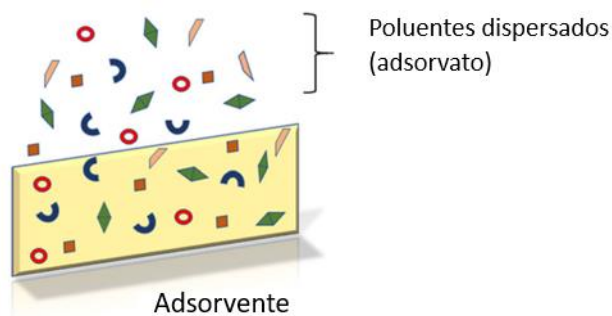


Figura 3.Esquema geral de adsorção para remover contaminantes. **Fonte:** Rashid *et al.* (2021).

Neste processo, geralmente, a migração do adsorvato ocorre em três etapas sequenciais: (1) migração do adsorvato para a camada limite do adsorvente, (2) difusão intrapartícula nos poros e (3) adsorção e dessorção do soluto. As características do adsorvato, do adsorvente e da matriz controlam a velocidade de todas estas etapas (Wong *et al.*, 2020). Os adsorventes convencionais

mais utilizados para a eliminação de poluentes e corantes são os bio-adsorventes, a sílica, a alumina, o carvão activado, a argila, os óxidos metálicos, o titânio, etc. (Prajapati & Mondal, 2019; Yang, J. *et al.*, 2019).

O carvão activado (CA) é considerado o material adsorvente mais eficiente para remover muitos tipos de poluentes das águas (Liu *et al.*, 2020; Rashid *et al.*, 2021). O CA é um material não tóxico e de baixo custo com elevada eficiência devido à sua estrutura porosa e grande área de superfície (Liu *et al.*, 2020). Na exploração de adsorventes práticos e económicos, os bio-adsorventes (baseados na agricultura) têm demonstrado uma competência significativa na remoção de corantes e outros resíduos. A eficiência de remoção da adsorção pode variar até 99,9% (Rashid *et al.*, 2021).

2.3.5. Filtração

É o processo de passagem de uma mistura sólido-líquido através de um meio poroso (filtro), que retém os sólidos em suspensão conforme a capacidade do filtro e permite a passagem da fase líquida (Rashid *et al.*, 2021). Este processo combina mecanismos físicos e químicos de remoção de sólidos, sendo por isso normalmente usado como uma etapa final, imediatamente antes da desinfecção (Andres Junior, 2015).

Segundo Mao (2016), a retenção de impurezas é considerada o resultado de dois mecanismos distintos, porém complementares: transporte e aderência. Em primeiro lugar, as partículas devem se aproximar das superfícies dos grãos e, posteriormente, permanecer aderidas a estes, de modo a resistir a forças de cisalhamento resultantes das características hidrodinâmicas do escoamento ao longo do meio filtrante.

O meio filtrante mais utilizado é areia; entretanto, ao se fazer lavagem em contracorrente em um filtro de areia, as partículas mais finas dessa areia migram para a superfície do leito, causando um “entupimento”, o que faz com que o meio filtrante perca uma parcela de sua acção de superfície. Com o objetivo de resolver esse problema, foram desenvolvidos os filtros de dupla e até de múltiplas camadas, onde as superiores são constituídas de materiais com granulometria grande, porém leves, enquanto as inferiores são constituídas de materiais de granulometria menor, porém mais pesados (Andres Junior, 2015).

2.3.6. Processos de separação com membranas

As membranas são meios de filtragem compostos principalmente por materiais poliméricos e possuem poros de diferentes tamanhos (Figura 4). Esses poros são responsáveis por conferir às membranas suas propriedades distintas, que as tornam úteis em diversas aplicações, seja para separar partículas ou para fraccionar moléculas com diferentes massas molares (Yang, C. *et al.*, 2020).

Os processos de separação com membranas utilizam uma combinação das propriedades selectivas das membranas poliméricas (porosidade, distribuição de poros, tipo de material) com a força motriz aplicada ao processo (temperatura, pressão, concentração, potencial químico) para efectuar a separação (Rashid *et al.*, 2021).

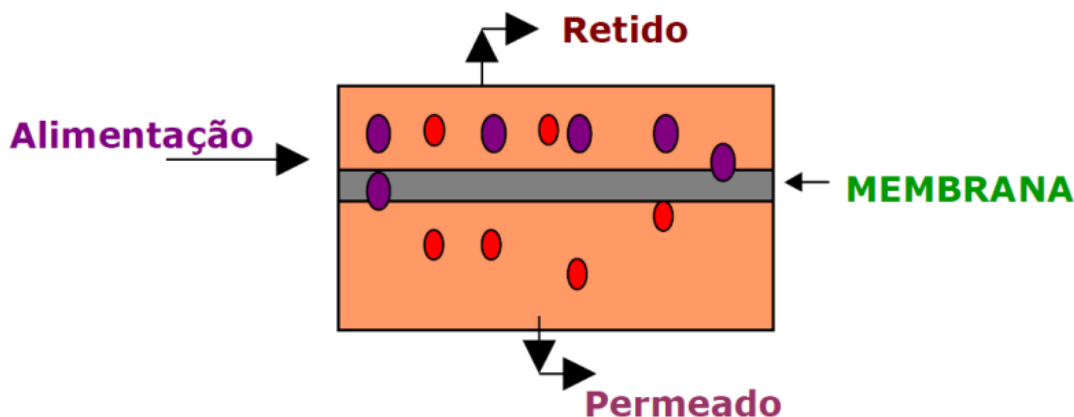


Figura 4. Representação esquemática do processo de separação com membrana. **Fonte:** Andres Junior, 2015.

Este tratamento é normalmente utilizado para remover turvação, sólidos dissolvidos, dureza, nitratos e radionuclídeos da água, assim como microrganismos patogénicos. São utilizados neste tratamento a microfiltração, ultrafiltração, nanofiltração, a osmose inversa e a electrodiálise, por vezes em conjunto com outros processos (Zhu *et al.*, 2020).

- a) **Microfiltração:** a microfiltração (MF) utiliza membranas com poros na faixa entre 0,1 e 1,0 μm , sendo indicada para a retenção de materiais em suspensão e emulsão, muitas vezes utilizada como pré-tratamento permeando todo o solvente e material solúvel. Utiliza pequenas pressões até 3 bar e maiores vazões, isto dado o tamanho relativamente grande dos poros (Andres Junior, 2015).

- b) **Ultrafiltração:** as membranas de ultrafiltração (UF) são utilizadas para a separação e concentração de macromoléculas e partículas coloidais, pois possuem poros na ordem de 1 a 100 nm. A pressão aplicada no processo de filtração fica entre 1 e 7 bar, a qual deve ser suficiente para vencer as perdas de carga e a resistência causada pela viscosidade do fluido de alimentação através da rede porosa da membrana (Yang, C. *et al.*, 2020).
- c) **Nanofiltração:** a nanofiltração (NF) apresenta tamanho de poro próximo a 1 nm, sendo mais utilizada para separação de menores partículas em comparação com a UF (Zhu *et al.*, 2020). Sua pressão empregada é de 10 a 25 bares, sendo necessário uma bomba maior. A sua eficiência depende do mecanismo de exclusão por tamanho de partícula (Andres Junior, 2015). As membranas de NF possuem características entre a ultrafiltração e a osmose inversa (Yang, C. *et al.*, 2020).

2.3.7. Osmose reversa

Os processos de osmose reversa (OR) têm como determinantes de sua selectividade as diferenças nos coeficientes de difusão dos componentes através da membrana e a afinidade destes em relação ao material da membrana, consistindo em um fator adicional para a separação (Andres Junior, 2015). As pressões exercidas sobre esta membrana são de 50 a 80 bares, sendo necessário um meio instrumental mais elaborado para este processo (Yang, C. *et al.*, 2020). A Figura 5 apresenta o esquema do processo de tratamento de água com membranas de OR.

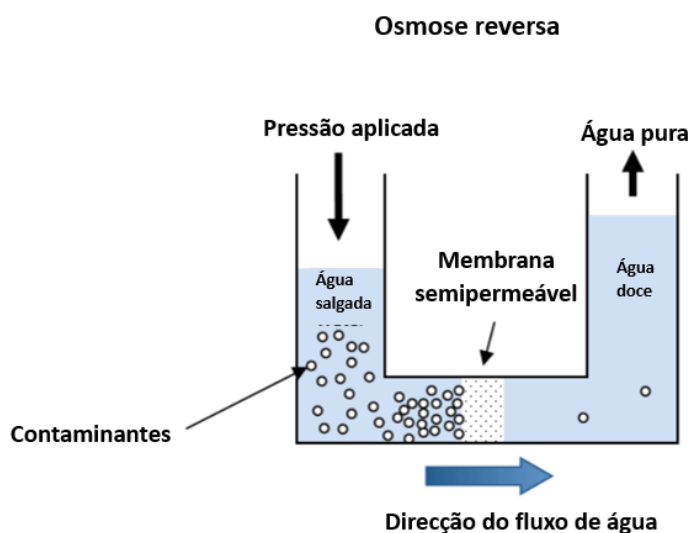


Figura 5. Esquema do processo de osmose reversa. Fonte: Yang, C. *et al.*, (2020)

A osmose reversa funciona utilizando uma bomba de alta pressão para aumentar a pressão no lado salino da OR e forçar a água através da membrana OR semipermeável, deixando quase todos (cerca de 95% a 99%) os sais dissolvidos para trás no fluxo de rejeição. A quantidade de pressão necessária depende da concentração de sal da água de alimentação (Zhu *et al.*, 2020). Quanto mais concentrada for a água de alimentação, mais pressão é necessária para superar a pressão osmótica.

2.3.8. Desinfecção ou oxidação

A desinfecção possibilita a eliminação de microorganismos patogénicos encontrados na água, como os vírus, bactérias, coliformes, fungos, etc. Geralmente, é utilizada para eliminação de organismos patogénicos, que conseguem atravessar o tratamento convencional (Cahoon, 2019). Existem vários agentes de desinfecção (Tabela 3) como: cloro gasoso (Cl_2), hipoclorito de sódio (NaOCl), hipoclorito de cálcio [$\text{Ca}(\text{OCl})_2$], dióxido de cloro (ClO_2); gás ozono (O_3) e a radiação ultravioleta (UV), sendo o mais comum o NaOCl . A desinfecção por UV e a ozonização são os menos utilizados devido ao elevado preço do tratamento (Seefelder & Stadler, 2018).

- a) **Desinfecção pelo cloro:** o cloro modifica a membrana celular das bactérias alterando a permeabilidade da mesma, inactivando os vírus presentes nas bactérias. O cloro e seus derivados apresentam alto poder oxidante e reagem com vários compostos presentes na água. Durante a mistura do cloro com a água, existe o consumo de cloro que é realizado por vários constituintes da água e por decomposição. O cloro reage com a amónia, para produzir uma série de compostos chamados cloroaminas. A desinfecção por cloro é realizada nas formas de hipoclorito de cálcio ou hipoclorito de sódio (Cahoon, 2019).
- b) **Desinfecção por meio da ozonização:** O ozono é um poderoso agente oxidante, que é efectivo na destruição de vírus, bactérias, protozoários e na oxidação da matéria orgânica (Cahoon, 2019).
- c) **Desinfecção por radiação ultravioleta:** O princípio de funcionamento dessa radiação é a exposição dos microorganismos à radiação emitida por lâmpadas ultravioletas. O emprego da radiação ultravioleta é uma alternativa à desinfecção, já que nenhum tipo de produto é adicionado à corrente líquida (Cahoon, 2019; Seefelder & Stadler, 2018).

Tabela 3. Comparação de diferentes agentes de desinfecção.

Métodos	Custo relativo ^a	Efectividade
Cloro (várias formas)	Baixa	Eficaz contra a maioria, mas não contra todos os micróbios, os resíduos de cloro proporcionam um controlo pós-tratamento
Bromo/iodo	Moderado	Melhor para aplicações no ponto de utilização, problemas de toxicidade em caso de utilização incorrecta
Oxidantes (O ₃ , H ₂ O ₂ , UV)	Moderadamente elevado	Altamente eficaz contra micróbios, mas requer tratamento pós-esterilização para armazenamento e utilização a jusante, requer energia eléctrica ou armazenamento de oxidantes perigosos
Métodos electroquímicos	Elevado	Eficaz contra a maioria, se não todos os micróbios, requer energia eléctrica, mais útil para utilização especializada e em escala limitada, ou seja, em recipientes

Fonte: Cahoon (2019).

2.4. Parâmetros de controlo da qualidade de água

2.4.1. Parâmetros físico-químicos

❖ Turvação

A turvação corresponde á fracção da matéria suspensa na água, que pode ser representada por argila, areia, silte, entre outros. A turvação da água bruta é altamente influenciada pelo regime das chuvas da região e pela característica da cobertura vegetal da bacia hidrográfica, sendo que períodos chuvosos elevam a turbidez da água. A remoção da turvação é fundamental para adquirir uma boa eficiência de desinfecção, já que as partículas suspensas dificultam o processo de desinfecção (Braga, 2014).

❖ pH

O pH representa a concentração de iões de hidrogénio, indicando a condição de acidez, alcalinidade ou neutralidade da água. Os principais responsáveis pelo pH da água são os sólidos e gases dissolvidos de origem natural bem como de origem antropogénica resultantes de despejos domésticos e industriais. O pH da água é um parâmetro crucial em várias etapas de tratamento, incluindo coagulação, desinfecção, controlo de corrosão e remoção de dureza (Ribeiro, 2017).

❖ **Alcalinidade**

A alcalinidade representa a capacidade de neutralizar os ácidos e é importante no processo de coagulação e floculação, já que a adição de coagulantes diminui o pH por possuírem características ácidas. A alcalinidade da água tem a função de reagir com o ácido adicionado e manter o pH em um nível óptimo para que a coagulação ocorra de forma eficiente, fornecendo melhores condições para formação de flocos (Braga, 2014). A alcalinidade resulta da presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos, sendo que os compostos mais comuns são os seguintes: hidróxido de cálcio ou de magnésio, carbonato de cálcio ou magnésio, bicarbonatos de cálcio ou de magnésio, bicarbonato de sódio ou de magnésio (Andres Junior, 2015).

❖ **Sólidos Totais Dissolvidos (TDS) e Condutividade eléctrica (CE)**

O TDS é uma medida de sais dissolvidos em uma amostra de água após a remoção de sólidos em suspensão. Devido às propriedades de solvente que a água apresenta, os minerais dissolvidos das rochas e do solo vão produzindo um TDS composto por quaisquer minerais, sais, metais, catiões ou aniões dissolvidos em água. Os sólidos dissolvidos podem ser orgânicos ou inorgânicos. É muito fundamental remover os minerais dissolvidos, gases e outros constituintes orgânicos, pois estes podem causar a coloração da água e conferir um gosto e odor desagradáveis à água (Bondy & Campbell, 2018). A CE está relacionada com a presença de sólidos dissolvidos na forma de sais e mede a capacidade da água de conduzir a corrente eléctrica. Os iões responsáveis pela CE da água podem ser de origem antropogénica (descargas indústrias, consumo de sais em residências e comércio) ou origem natural (decomposição das rochas) (Li & Liu, 2019).

❖ **Cloretos**

Geralmente os cloretos estão presentes em águas brutas e tratadas em concentrações que podem variar de pequenos traços até centenas de mg/L. Estão presentes na forma de cloreto de sódio, cloreto de cálcio e cloreto de magnésio. Elevadas concentrações de cloretos podem restringir o uso da água em razão do sabor que lhe conferem e pelo efeito laxativo que eles podem provocar. Os métodos convencionais de tratamento de água não removem cloretos, a sua remoção pode ser feita por dessalinização (osmose reversa) ou troca iónica (Mareddy, 2017).

❖ Sulfatos

Os iões sulfatos ocorrem geralmente em águas naturais e em águas residuais. As elevadas concentrações de sulfatos na água natural são geralmente causadas pela lixiviação de depósitos naturais de sulfato de sódio ou sulfato de magnésio (WHO, 2011).

2.4.2. Parâmetros microbiológicos

A qualidade da água é afectada pela presença de microrganismos patogénicos como bactérias, vírus e protozoários que representam riscos para a saúde humana (de Siqueira *et al.*, 2022). A contaminação de refrigerantes por microrganismos geralmente tem origem durante o processo de produção devido ao uso de matérias-primas contaminadas, falta de higiene no ambiente da fábrica e o estado microbiológico dos equipamentos e embalagens como latas e garrafas (Park & Chen, 2009). Portanto, a avaliação microbiológica da água inclui o uso de indicadores de presença de matéria fecal, que pode ter origem tanto animal quanto humano (Holcomb *et al.*, 2020).

Os indicadores de contaminação fecal pertencem a um grupo de bactérias denominadas coliformes (Shabangu *et al.*, 2022). A *Escherichia coli* é o principal representante dos coliformes fecais (subgrupo de coliformes fecais) (Xue *et al.*, 2018). De acordo com Kregiel (2015), os coliformes fecais (por exemplo, *Escherichia*, *Enterobacter* e *Klebsiella*) e outros membros da família *Enterobacteriaceae* geralmente são intolerantes a ácidos, embora alguns possam proliferar em refrigerantes com valores de pH abaixo de 4,3, sendo a *Escherichia coli* o patógeno mais encontrado em refrigerantes.

Os agentes patogénicos bacterianos podem permanecer viáveis em refrigerantes gaseificados durante longos períodos de tempo. *E. coli* e *Salmonella* demonstraram ser capazes de sobreviver até 48 horas num refrigerante de cola (Kregiel, 2015).

CAPÍTULO III

3. DESCRIÇÃO DA FÁBRICA DE COCA-COLA BEVERAGES

3.1. Localização e caracterização da fábrica

A fábrica Coca-Cola Beverages Africa Moçambique, está localizada no município da Matola, na Rua da Coca-Cola n° 223 Matola Gare, província de Maputo. A mesma foi construída numa área de aproximadamente 21 hectares, que é composta pelo bloco administrativo (escritórios), clínica, centro social, armazém de matéria-prima, armazém do produto acabado, oficina mecânica, um laboratório para análises de matéria-prima e produto acabado, uma ETA, uma ETAR, e um laboratório da ETAR (Figura 6).



Figura 6. Localização da fábrica de Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare.

A fábrica Coca-Cola Beverages Africa Moçambique é uma fábrica do ramo alimentar que se dedica à produção e comercialização de bebidas não alcoólicas (refrigerantes, sumos e água mineral) e comercialização de bebidas alcoólicas (whiskies). A empresa iniciou as suas actividades em Moçambique a 11 de Maio de 1993 com os acionistas maioritários *South African Bottling Company* (SABCO) com aproximadamente 60% do capital e os 40% do estado moçambicano, tendo produzido a sua primeira garrafa a 6 de Maio de 1994 e viria ser inaugurada a 25 de Maio

do mesmo ano. Neste período a fábrica produzia apenas cerca de 9 produtos com diferentes sabores nomeadamente: Coca-Cola, Fanta laranja, Fanta uva, Fanta ananás, Sprite, Sparleta Morango, Sparleta Cream Soda, Lemon twist, e Schwepps; actualmente a fábrica conta com cerca de 23 sabores nos seus produtos.

3.2. Linhas de produção e Matérias-primas

A fábrica de Coca-Cola da Matola-Gare possui actualmente duas linhas de produção, uma de garrafas de vidro retornáveis e uma linha de garrafas plásticas não retornáveis. A linha de garrafas de vidro retornáveis produz refrigerantes em garrafas de 300 mL com capacidade de produção de 2000 caixas/h. A linha de garrafas plásticas ou PET produz refrigerantes em garrafas plásticas de 350 mL, 500 mL, 1000 mL e 2.000 mL com capacidade de produção de 4000 caixas/h para 2000 mL, 5000 caixas/h para 1000 mL, 3500 caixas/h para 350 mL e 5000 mL. A fábrica tem uma capacidade média de produção de 162.060.000 caixas por ano. As principais matérias-primas utilizadas na fábrica da Coca-Cola SABCO Matola-Gare e os respectivos fornecedores são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Matérias-primas e seus fornecedores

Matéria-prima	Fornecedor
Açúcar refinado branco	Acucareira de Xinavane
Concentrados	Suazilândia
Dióxido de Carbono	Mogás
Cápsulas	Oriental Containers
Garrafas	Al-Tajir-Dubai
Grades	TOPACK
Água	Município de Maputo (FIPAG)
Tampas	FLO-TEK
Pré-formas	ALPLA

3.3. Tratamento de água

A produção de refrigerantes necessita de grandes volumes de água. A água utilizada no processo de produção deve ser previamente tratada. Na fábrica da Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare o processo de tratamento da água (Figura 7) pode ser dividido em duas linhas, uma linha de abrandamento que produz água amaciada para a lavagem de garrafas e outra que produz água

tratada ou água potável. Este processo é alimentado por água municipal fornecida pelo FIPAG através das condutas de Tsalala e Corumana. Esta água é armazenada num tanque para evitar qualquer risco de falta de água. Em seguida, a água é bombeada para os filtros de areia passando por um medidor automático de pH, quando o mesmo estiver fora das especificações exigidas ocorre uma correcção automática com as soluções de ácido clorídrico (HCl) ou de hidróxido de sódio (NaOH) visto que o pH exigido é de 7 (Coca-Cola, 2021). A correcção de pH no processo de tratamento é necessária para não haver interferência na eficiência da etapa de coagulação/floculação.

Após a correcção do pH, ocorre o doseamento do agente floculante (Genofloc - solução de uma amina poliquaternária) logo antes da entrada nos filtros de areia. O floculante permite a captação de sólidos suspensos e remoção do material particulado formando coágulos/flocos que ficam retidos na areia deixando passar a água semi-tratada. Em seguida, a água é bombeada para os tanques de água semi-tratada onde ocorre o doseamento do cloro para desinfecção.

A partir dos tanques de água semi-tratada é bombeada para uma estação (*air stripper*) de remoção de gases [os trihalometanos (THMs)], onde a água encontra o ar ascendente em contra corrente, e desta, passa para os filtros de carvão onde ocorre a eliminação de odores indesejáveis na água, retenção do cloro, estabilização de bactérias e redução de possíveis metais pesados através da adsorção (Coca-Cola, 2021).

Após o tratamento nos filtros de carvão a água é considerada potável, passando uma parte para um tanque de reservatório (tanque de água potável) e a outra para o processo de tratamento nas membranas de nano filtração. Nesta etapa, a água passa pelos pré-filtros de 20 μm e depois de 10 μm com um fluxo de 70 a 73 m^3/h para a eliminação de impurezas e do cloro residual, após o tratamento cerca de 45 a 47 m^3/h passam para o tanque de água de produção e cerca de 25 a 26 m^3/h passam para o tanque de reservatório intermédio (tanque de ruptura) para posterior tratamento no processo dos nanofiltros.

Nesta etapa ocorre o doseamento de Genesys SI (um anti-incrustante muito eficaz contra os sais formadores de incrustações), onde por sua vez cerca de 50 m^3/h da água é bombeada a partir do mesmo tanque para as membranas de OR, dos quais só 25 m^3/h são recuperados para o tanque de produção e os restantes 25 m^3/h são descartados para as águas residuais, implicando uma eficiência

de 50%. Na linha de produção de água para a lavadora de garrafas, uma parte da água tratada nos filtros de areia é enviada para os descalcificadores (abrandadores) constituídos por uma resina de troca iónica do tipo SAC (catião de ácido forte) para a redução da dureza da água. A água amaciada é enviada para a lavagem de garrafas e para o sistema de produção de vapor nas caldeiras.

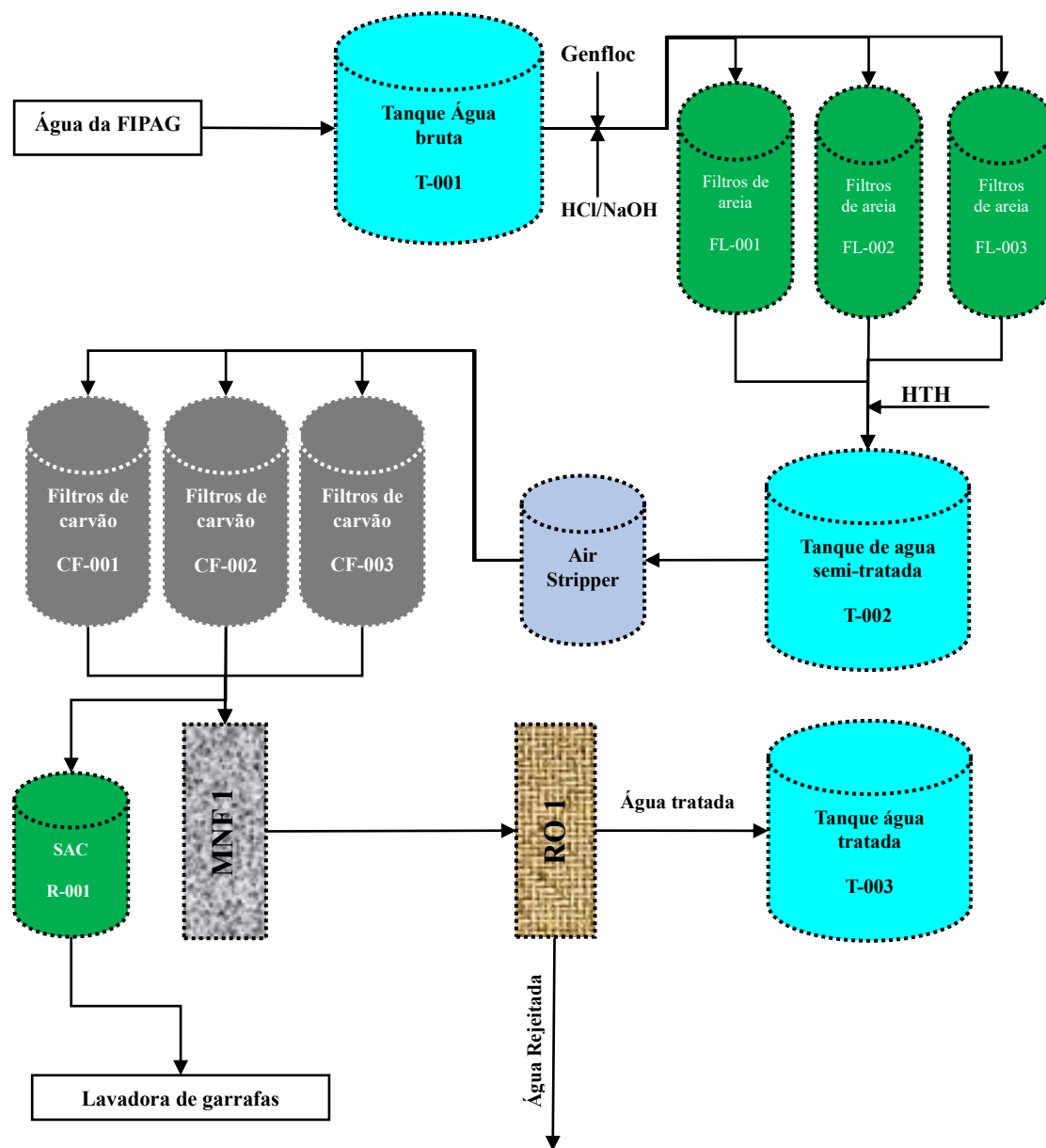


Figura 7. Diagrama do processo de tratamento de água na Coca-Cola Beverages Africa da Matola-Gare

CAPÍTULO III

4. MATERIAL E MÉTODOS

A eficiência do sistema de tratamento de água para a produção de refrigerantes na Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare foi analisada com base nos parâmetros físico-químicos como: pH, turvação, TDS, CE, alcalinidade, dureza total, cloro, cloretos e sulfatos) e microbiológicos (coliformes totais e fecais).

4.1. Equipamentos e materiais

Para a quantificação da alcalinidade, dureza total, cloro, cloretos e sulfatos foi utilizado um espectrofotómetro UV-Vis (Lovibond modelo MultiDirect XD 7500). A concentração de iões de hidrogénio (pH) foi medida com um medidor de pH da HANNA modelo Edge HI2002-02. A CE e o TDS foram determinados através de condutímetro SensoDirect da Lovibond. A turvação, por sua vez, foi quantificada usando um turbidímetro portátil EUTECH Instruments TN-100. Para a determinação dos parâmetros microbiológicos foi utilizada uma incubadora IncoTherm da LABOTEC e uma autoclave REXMED. Foram também usados agitador magnético Lasec, Destilador de água cole-Pharmer Stuart, lamparina ROTHERBERGER e um frigorífico FRIGOGLASS para conservação das amostras.

Os principais materiais utilizados no estudo foram: coleman, frascos de vidro de 500 mL, marcadores permanentes, copos becker de 100 mL, pipetas volumétricas de 10 mL, pinças, provetas graduadas de 10 mL, placa de petri, rótulos, buretas de 50 mL.

4.2. Reagentes

Para a determinação dos parâmetros de qualidade acima mencionados foram usados reagentes disponíveis e empregados pela fábrica para o monitoramento da qualidade da água nas diversas etapas. Os reagentes necessários para as determinações colorimétricas foram: comprimidos DPD n° 1, comprimidos DPD n° 3, comprimidos HARDCHECK P; comprimidos Alka-M-PHOTOMETER e HNO₃ a 69% da MERCK.

4.3. Amostragem

Para o presente estudo foram colectadas 60 amostras em um período de 3 meses (de Setembro a Novembro de 2022). O número total de amostras anteriormente mencionado foi alcançado colectando amostras nos 5 pontos de amostragem durante 4 dias por mês. As amostras da água foram colhidas nos seguintes pontos: tanque de água bruta – AB (Figura 8(a)); tanque da água semi-tratada – AST (Figura 8(b)); água nos nanofiltros – ATNF (Figura 8(c)); água após o processo de osmose reversa (água tratada) – ATOR (Figura 8(d)); e água rejeitada pelas membranas de OR (água rejeitada) – AROR (Figura 8(e)). Em cada dia e local de amostragem, foram colectadas duas amostras, uma para a análise de parâmetros físico-químicos e outra amostra para análises microbiológicas. Foi de interesse da fábrica Coca-Cola Beverages Africa em Matola-Gare analisar a água dos pontos citadas acima, porém, outras etapas como coagulação/floculação, filtros de areia e de carvão activado não foram contempladas no presente trabalho devido a indisponibilidade de reagentes para as análises.

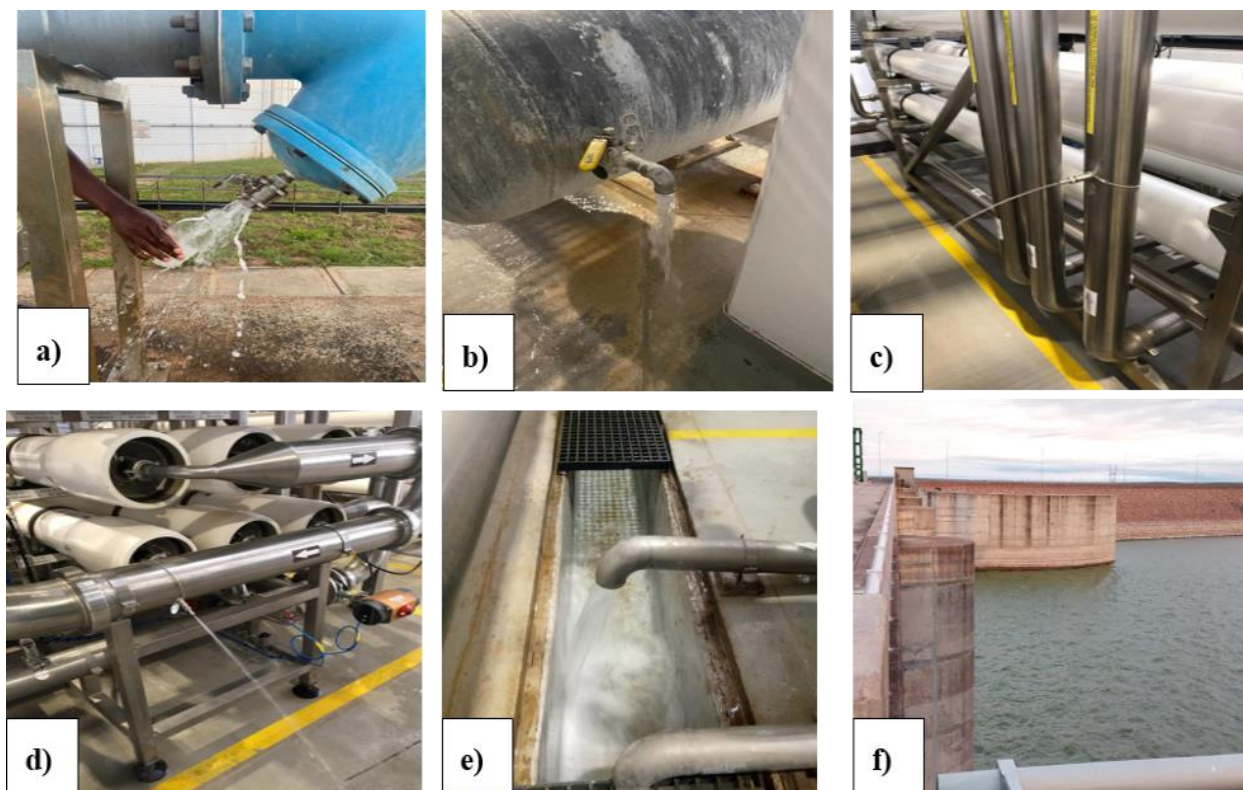


Figura 8. Pontos de amostragem: a) AB; b) AST; c) ATNF; d) ATOR; e) AROR e; f) Local de captacao de água pela FIPAG.

Os procedimentos de amostragem seguiram a norma interna DOC.MAT.PRO.QM.WT.0 patentes no manual de procedimentos da TCCC (Coca-Cola, 2021). Todas as amostras colhidas foram conservadas em caixas térmicas contendo gelo suficiente para manter as características das amostras inalterada e depois foram transportadas para o laboratório onde foram mantidas sob refrigeração a uma temperatura abaixo de 5 °C até a posterior análise.

As amostras foram colectadas usando um sistema de amostragem manual de colecta de amostras pontuais, recorrendo-se a imersão de garrafas plásticas com um volume de 500 mL no tanque de água. As primeiras águas colectadas no serviram para lavar as garrafas (lavou-se 3 vezes cada garrafa). Sempre que não fosse possível mergulhar os recipientes de amostragem, as amostras foram coletadas nas torneiras ligados aos sistemas de tratamento. Nestes casos, as torneiras foram aberturas e deixou-se água passar pela torneira durante 3 min.

Após esse tempo, as primeiras águas colectadas serviram para lavar as garrafas (lavou-se 3 vezes cada garrafa). Preencheu-se a garrafa até restar quase 3 cm. Cada um dos recipientes colectados foi devidamente rotulada e encaminhadas ao laboratório para posteriores análises.

A colecta de amostras foi efectuada no período da manhã, após 3 horas de arranque nas linhas de produção. As amostras destinadas para as análises microbiológicas foram colectadas em recipientes esterilizados e foram enviadas para o laboratório de controlo de qualidade Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare, onde foram analisadas, pelo estudante dentro de 24 horas após a sua colecta.

4.4. Procedimentos experimentais

4.4.1. Determinação de pH

O pH das águas foi determinado utilizando o método electrométrico através de um em pHmetro digital portátil (Figura 9). As análises foram realizadas em temperatura ambiente (25 °C) e antes das medições o instrumento de análise foi devidamente calibrado com padrões adequados. Em cada análise colocou-se cerca de 50 mL da amostra num frasco limpo de 100 mL, de seguida introduziu-se um sensor de pHmetro, esperou-se durante a estabilização das leituras por 5 minutos e leu-se o resultado.



Figura 9. pHmetro HANNA Edge utilizado na determinação de pH das amostras.

4.4.2. Determinação da turvação

A turvação das águas em estudo foi medida pelo método nefelométrico por leitura directa em colorímetro digital calibrado com 4 suspensões padrão de formazina com turvação de 0,02 NTU, 20 NTU, 100 NTU e 800 NTU (Figura 10).



Figura 10. Turbidímetro EUTECH Instruments TN-100 utilizado para determinar a turvação.

4.4.3. Determinação da CE e TDS

A CE da água e o respectivo teor de TDS foram determinados pelo método conductimétrico, utilizando um conductímetro de portátil devidamente calibrado (Figura 11).



Figura 11. Condutímetro Lovibond SensoDirect 150 utilizado para determinação de CE e TDS

4.4.4. Determinação da alcalinidade total, dureza total, cloro, cloretos e sulfatos

Os parâmetros alcalinidade total (AT), dureza total (DT), cloro, cloretos e sulfatos foram determinados usando o método de espectroscopia de absorção na região do UV-Vis (Figura 12) seguindo os procedimentos experimentais descritos no catálogo do manual de apoio da Lovibond. A seguir são descritos os passos utilizados para as determinações.



Figura 12. Espectrofotómetro *Lovibond MultiDirect XD 7500* para análises de AT, DT, cloro, cloretos e sulfatos.

Alcalinidade total

Escolheu-se no espectrofotómetro o método M35 e colocou-se 10 mL da amostra para uma cuveta de 24 mm, ref. n° AC2V24. Colocou-se a cuveta no porta-amostras do instrumento e

procedeu-se à leitura como branco. Em seguida, a cuveta foi retirada e adicionou-se um comprimido Alka-P (indicador fenolftaleína) e agitou-se com uma vareta até à dissolução completa do comprimido e procedeu-se à leitura da alcalinidade total. Foram realizadas 3 réplicas por amostra.

Dureza total

Para a determinação da dureza total seleccionou-se o método M201. A primeira parte desta determinação seguiu os mesmos procedimentos descritos acima. Após a retirada da cuveta adicionou-se um comprimido Hardcheck P e esperou-se um tempo de reacção de 5 minutos e fez-se a leitura da dureza total. Repetiu-se o mesmo procedimento 3 vezes.

Cloro residual

A concentração de cloro residual nas amostras de água foi determinada pelo método M100. Inicialmente, 10 mL da amostra foram adicionados numa cuveta e leu-se o branco. Em seguida, retirou-se a cuveta e descartou-se o conteúdo, deixando apenas algumas gotas e adicionou-se um comprimido de DPD n° 1, tendo-se esmagado o comprimido com uma vareta e adicionou-se 10 mL de amostra na cuveta e agitou-se até à completa dissolução do comprimido e procedeu-se à leitura do cloro livre. Após a leitura, retirou-se a amostra e adicionou-se comprimido de DPD n° 3 agitou-se e leu-se novamente obtendo o teor de cloro total.

Cloretos

O método M90 foi seleccionado para a determinação de cloretos na água. Para os casos em que obteve-se a resposta “acima do limite superior” cerca de 10 mL foram diluídos com 20 mL de água ultra pura. Para análise, também foi necessário realizar a leitura do branco e em seguida adicionou-se um comprimido Chloride T2 agitou-se até à completa dissolução do comprimido com vareta e deixou-se por 2 minutos para a reacção ocorrer e depois leu-se a concentração de cloretos em triplicado.

Sulfatos

O teor de sulfatos nas amostras de água foi determinado pelo método M360 (método de turbidimétrico com sulfato de bário). Após a leitura do branco conforme descrito acima, foi adicionado um pacote de Sulpha 4/F10 agitou-se a mistura até que houvesse a completa dissolução

do pó, de seguida deixou-se a ocorrer a reacção por 5 minutos. Em seguida, procedeu-se a leitura da concentração de sulfatos na água. O procedimento foi repetido mais duas vezes.

4.4.5. Parâmetros microbiológicos

os coliformes e as bactérias foram determinados pelo método de membranas filtrantes, conforme os procedimentos experimentais descritos na norma interna DOC.MAT.PRO.QM.QCQA.MM.0 (Coca-Cola, 2021). Para o efeito, cerca de 10 mL da amostra de água foram filtrados através de um filtro de membrana ($0,45 + 0,02 \mu\text{m}$) que retém os microrganismos encontrados na amostra. Em seguida os filtros contendo os microrganismos foram colocados em um suporte de absorção saturado com lauril triptose (meio de cultura) e posteriormente incubados (Figura 13) a $35,0 \pm 0,5^\circ\text{C}$ por 2 horas. Depois desse período, os filtros foram transferidos para um suporte de absorção saturado com meio de cultura ágar M-Endo e incubados por mais 21 ± 1 horas à mesma temperatura.



Figura 13. Incubadora IncoTherm da LABOTEC utilizada durante a determinação de microrganismos.

4.5. Determinação da eficiência de tratamento

Para avaliar a eficiência de todo o sistema de tratamento e de cada uma das etapas envolvidas foi determinado o rácio de redução da quantidade de cada parâmetro através da expressão (1).

$$E(\%) = \left(1 - \frac{C_{AT}}{C_{AB}}\right) \times 100\% \quad (1)$$

Onde, C_{AB} é a concentração do parâmetro na água bruta e C_{AT} na água tratada.

4.6. Tratamento estatístico dos dados

O tratamento estatístico dos dados foi realizado utilizando a ferramenta para análise estatística dos dados *software* Minitab 19. Esta ferramenta foi escolhida por ter uma interface intuitiva, fácil de usar, permite a geração automática de relatórios e gráficos claros e concisos facilitando a interpretação dos resultados obtidos. Aplicou-se o teste de análise de variância (ANOVA) para o tratamento estatístico dos dados. O teste de ANOVA foi seleccionado tendo em conta que temos 5 pontos de amostragem (comparação de duas médias). Neste estudo, o teste aplicado é a ANOVA bimodal (a dois-factores), uma vez que tem-se duas fontes de variação: etapas de tratamento e dias de operações. Neste caso, comparou se as médias dos dados dos parâmetros obtidos para cada dia de estudo (4 dias por mês) e para cada ponto (etapa) diferiam ou não significativamente ao nível de confiança de 95% ($\alpha = 0,05$; nível de significância de 5%) formulando-se as seguintes hipóteses:

Entre os tratamentos (etapas do processo)

Hipótese nula (H_0): as médias dos valores dos parâmetros em estudo medidos em diferentes etapas de tratamento não variam de forma significativa entre elas.

$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}_3 = \bar{x}_4 = \bar{x}_5$ e aceita se o valor de p do teste for $> 0,05$

Hipótese alternativa (H_1): as médias dos valores dos parâmetros em estudo medidos em diferentes etapas de tratamento variam de forma significativa entre elas.

$H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2 \neq \bar{x}_3 \neq \bar{x}_4 \neq \bar{x}_5$ e aceita se o valor de p do teste for $\leq 0,05$

Entre os dias de tratamento

Hipótese nula (H_0): as médias dos dados dos parâmetros em estudo medidos em diferentes dias de tratamento não diferiam significativamente entre elas.

$H_0: \bar{x}_1 = \bar{x}_2 = \bar{x}_3 = \bar{x}_4 = \bar{x}_5$ e aceita se o valor de p do teste for $> 0,05$

Hipótese alternativa (H_1): Existe pelo menos uma média dos dados dos parâmetros em estudo medidos em diferentes dias de tratamento que difere significativamente das outras.

$H_1: \bar{x}_1 \neq \bar{x}_2 \neq \bar{x}_3 \neq \bar{x}_4 \neq \bar{x}_5$ e aceita se o valor de p do teste for $\leq 0,05$

CAPÍTULO V

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Apresentação dos resultados

A Tabela 5 apresenta os valores médios dos resultados das análises físico-químicas e microbiológicas para a água bruta proveniente do FIPAG realizadas durante o monitoramento da ETA da empresa. O intervalo de colecta das amostras foi de 1 semana, contudo entre o mês de Outubro e Novembro, o intervalo de 2 semanas (amostras dos dias 24/10/2022 e 07/11/2022) pois neste período houve falta de reagentes no laboratório para as análises.

Tabela 5. Resultados das análises físico-químicas e microbiológicas da água bruta (AB)

Amostra	Data	Parâmetros									
		pH	AT*	CE**	TDS*	SO ₄ ²⁻ *	Turvação***	DT*	Cl ₂ *	Cl*	Bactérias****
AB-1	9/5/2022	8,74	70,00	169,00	112,67	40,00	1,96	37,00	0,07	30,00	8,00
AB-2	9/12/2022	8,85	61,00	140,70	97,80	39,00	1,75	50,00	0,06	29,33	9,00
AB-3	9/19/2022	8,08	66,00	124,40	92,93	38,67	2,57	49,67	0,08	27,33	8,00
AB-4	9/27/2022	7,62	61,67	138,00	92,00	39,33	2,01	50,00	0,06	29,67	9,00
AB-5	10/3/2022	7,96	60,00	147,00	98,00	37,67	2,10	51,00	0,07	27,67	9,00
AB-6	10/10/2022	7,97	62,00	140,00	93,33	39,67	2,05	49,00	0,08	30,00	10,00
AB-7	10/17/2022	8,69	60,00	141,00	94,00	39,67	2,42	47,00	0,06	29,33	8,00
AB-8	10/24/2022	8,19	64,00	149,00	99,33	38,33	2,28	46,00	0,07	29,33	9,00
AB-9	11/7/2022	7,75	65,67	144,00	96,00	39,67	2,42	49,00	0,07	29,67	8,00
AB-10	11/14/2022	7,50	61,00	139,00	92,67	40,33	3,09	44,00	0,08	29,00	10,00
AB-11	11/21/2022	7,51	67,00	152,00	101,33	38,67	2,12	48,00	0,07	28,33	7,00
AB-12	11/28/2022	7,54	56,00	152,00	101,33	38,67	2,32	52,00	0,06	30,00	9,00
Média		8,03	62,86	144,68	97,62	39,14	2,26	47,72	0,07	29,14	9
Desvio padrão (s)		0,47	3,65	10,26	5,55	0,74	0,33	3,86	0,01	0,87	1
%RSD		5,89	5,80	7,09	5,68	1,89	14,81	8,09	9,36	2,97	10,24

Unidade dos parâmetros: * mg/L; ** μ S/cm; *** NTU; **** UFC/mL

A Tabela 6 apresenta os resultados da análise de cloro livre na água semi-tratada (água após os processos de correcção de pH, coagulação/floculação e filtros de área). Na fábrica, neste ponto, o

cloro livre é o parâmetro de controlo, pois a presença de cloro é essencial para a eliminação de microrganismos que não foram eliminados nas etapas anteriores.

Tabela 6. Resultados das análises de cloro na água semi-tratada (AST)

Amostra	Data	Cl ₂ (mg/L)	RSD (%)	Amostra	Data	Cl ₂ (mg/L)	RSD (%)
AST-1	9/5/2022	1,43 ± 0,00	0,00	AST-7	10/17/2022	1,03 ± 0,00	0,00
AST-2	9/12/2022	1,01 ± 0,01	0,99	AST-8	10/24/2022	1,30± 0,00	0,00
AST-3	9/19/2022	1,24 ± 0,02	0,81	AST-9	11/7/2022	1,63± 0,00	0,00
AST-4	9/27/2022	1,66 ± 0,07	1,81	AST-10	11/14/2022	2,06 ± 0,00	0,00
AST-5	10/3/2022	1,91 ± 0,19	3,96	AST-11	11/21/2022	1,42 ± 0,02	0,70
AST-6	10/10/2022	1,16 ± 0,05	1,72	AST-12	11/28/2022	1,04 ± 0,00	0,00

Os resultados das análises físico-químicas realizadas na água após tratamento com nanofiltros são apresentados na Tabela 7. A turvação da água para todas as amostras esteve abaixo de 0,02 NTU que é o limite de detecção (LOD).

Tabela 7. Resultados das análises físico-químicas da água tratada por nanofiltração (ATNF)

Amostra	Data	Parâmetros							
		pH	AT*	CE**	TDS*	SO ₄ ²⁻ *	DT*	Cl*	Bactérias***
ATNF-1	9/5/2022	6,84	7,49	11,20	8,47	0,03	4,00	4,94	0,00
ATNF-2	9/12/2022	7,15	7,85	12,10	8,67	0,03	4,31	5,10	0,00
ATNF-3	9/19/2022	7,05	7,25	15,10	10,07	0,03	4,09	4,60	0,00
ATNF-4	9/27/2022	6,55	6,73	14,40	8,60	0,03	4,01	5,70	0,00
ATNF-5	10/3/2022	7,45	8,46	11,80	8,87	0,03	4,60	4,80	0,00
ATNF-6	10/10/2022	6,75	7,85	14,80	9,87	0,03	5,00	4,69	0,00
ATNF-7	10/17/2022	7,17	9,37	11,50	7,67	0,03	4,71	4,78	0,00
ATNF-8	10/24/2022	6,98	8,30	12,57	8,62	0,03	4,10	4,60	0,00
ATNF-9	11/7/2022	7,01	7,55	11,20	8,47	0,03	3,83	5,01	0,00
ATNF-10	11/14/2022	7,02	7,75	12,80	8,53	0,03	4,01	4,70	0,00
ATNF-11	11/21/2022	7,60	8,49	11,60	8,73	0,03	4,91	5,10	0,00
ATNF-12	11/28/2022	7,02	7,46	11,60	8,73	0,03	4,06	5,30	0,00
Média		7,05	7,88	12,56	8,77	0,03	4,30	4,94	0,00
Desvio padrão (s)		0,27	0,66	1,37	0,61	0,00	0,38	0,31	0,00
%RSD		3,84	8,43	10,87	6,91	7,06	8,85	6,29	0,00

Unidade dos parâmetros: * mg/L; **µS/cm; *** UFC/mL

Na Tabela 8 são apresentados os resultados das análises físico-químicas da água tratada (após a etapa de osmose reversa). Os parâmetros turvação, SO₄²⁻ e AT encontram-se abaixo do LOD.

Na Tabela 9 são apresentados os resultados das análises físico-químicas da água rejeitada nas membranas (água residual).

Tabela 8. Resultados das análises físico-químicas da água tratada por osmose reversa (ATOR)

Amostra	Data	Parâmetros					
		pH	CE**	TDS*	DT*	Cl ⁻ *	Bactérias***
ATOR -1	9/5/2022	6,13	1,36	0,91	0,15	0,88	0,00
ATOR -2	9/12/2022	6,23	1,44	0,96	0,25	1,25	0,00
ATOR -3	9/19/2022	7,08	1,41	0,94	0,15	1,08	0,00
ATOR -4	9/27/2022	7,14	1,49	0,99	0,21	1,03	0,00
ATOR -5	10/3/2022	6,96	1,40	0,94	0,13	1,06	0,00
ATOR -6	10/10/2022	6,91	1,29	0,86	0,18	1,00	0,00
ATOR -7	10/17/2022	7,14	1,37	0,91	0,15	1,04	0,00
ATOR -8	10/24/2022	7,02	1,63	1,09	0,22	0,88	0,00
ATOR -9	11/7/2022	6,75	1,45	0,97	0,18	1,02	0,00
ATOR -10	11/14/2022	6,31	1,33	0,88	0,28	0,78	0,00
ATOR -11	11/21/2022	7,44	1,41	0,94	0,10	0,87	0,00
ATOR -12	11/28/2022	6,65	1,39	0,93	0,16	1,31	0,00
Média		6,81	1,41	0,94	0,18	1,02	0,00
Desvio padrão (s)		0,39	0,08	0,06	0,05	0,15	0,00
%RSD		5,75	5,91	5,91	27,55	14,59	0,00

Unidade dos parâmetros: * mg/L; **µS/cm; *** UFC/mL

Tabela 9. Resultados dos ensaios para água rejeitada no tratamento por osmose reversa (AROR)

Amostra	Data	Limites Aceitáveis									
		4,5-9,5	85	750	500	250	0,3	100	0	250	Bactérias*****
		pH	AT*	CE**	TDS*	SO ₄ ²⁻ *	Turvação***	DT*	Cl ₂ *	Cl ⁻ *	
AROR -1	9/5/2022	8,67	129,33	305,00	203,33	87,00	0,03	200,33	0,03	50,00	0,00
AROR -2	9/12/2022	8,46	131,67	308,00	205,33	79,00	0,03	221,00	0,04	47,00	0,00
AROR -3	9/19/2022	7,98	150,00	328,00	218,67	85,67	0,03	191,00	0,04	45,33	0,00
AROR -4	9/27/2022	8,00	140,00	266,33	177,56	71,33	0,03	177,00	0,03	46,33	0,00
AROR -5	10/3/2022	8,45	128,33	307,33	204,89	73,33	0,04	208,00	0,04	49,33	0,00
AROR -6	10/10/2022	7,96	160,00	306,00	204,00	69,00	0,03	176,67	0,04	54,67	0,00
AROR -7	10/17/2022	8,24	158,33	320,67	213,78	70,33	0,04	166,67	0,03	45,00	0,00
AROR -8	10/24/2022	8,25	140,00	324,00	216,00	74,33	0,03	235,00	0,04	44,00	0,00
AROR -9	11/7/2022	8,28	138,00	263,67	175,78	74,33	0,03	192,00	0,04	52,00	0,00
AROR -10	11/14/2022	8,01	144,00	255,00	170,00	66,67	0,03	192,67	0,03	53,33	0,00
AROR -11	11/21/2022	8,46	140,00	274,33	182,89	78,67	0,03	179,00	0,04	48,00	0,00
AROR -12	11/28/2022	8,27	126,00	261,00	174,00	75,67	0,04	206,67	0,03	49,33	0,00
Média		8,25	140,47	293,28	195,52	75,44	0,033	195,50	0,035	48,69	0,00
Desvio padrão (s)		0,22	10,68	25,95	17,30	5,98	0,003	19,05	0,004	3,25	0,00
%RSD		2,67	7,60	8,85	8,85	7,93	9,73	9,75	10,82	6,67	0,00

Unidade dos parâmetros: * mg/L; ** μ S/cm; *** NTU; **** UFC/mL

As Tabelas 10 e 11 apresentam as eficiências de redução dos diferentes parâmetros físico-químicos controlados no processo de tratamento de água na fábrica da Coca-Cola em Matola-Gare.

Tabela 10. Resultados do cálculo da eficiência de redução de alcalinidade, TDS e turvação

Data	Alcalinidade total			TDS			Turvação		
	ENF	EOR	E _{Global}	ENF	EOR	E _{Global}	ENF	EOR	E _{Global}
9/5/2022	89,30	100,00	100,00	92,49	89,29	99,20	100,00	-	100,00
9/12/2022	87,13	100,00	100,00	91,14	88,92	99,02	100,00	-	100,00
9/19/2022	89,02	100,00	100,00	89,17	90,66	98,99	100,00	-	100,00
9/27/2022	89,09	100,00	100,00	90,65	88,48	98,92	100,00	-	100,00
10/3/2022	85,90	100,00	100,00	90,95	89,45	99,05	100,00	-	100,00
10/10/2022	87,34	100,00	100,00	89,43	91,28	99,08	100,00	-	100,00
10/17/2022	84,38	100,00	100,00	91,84	88,09	99,03	100,00	-	100,00
10/24/2022	87,03	100,00	100,00	91,33	87,36	98,90	100,00	-	100,00
11/7/2022	88,50	100,00	100,00	91,18	88,58	98,99	100,00	-	100,00
11/14/2022	87,30	100,00	100,00	90,79	89,64	99,05	100,00	-	100,00
11/21/2022	87,33	100,00	100,00	91,38	89,24	99,07	100,00	-	100,00
11/28/2022	86,68	100,00	100,00	91,38	89,39	99,09	100,00	-	100,00
Média	87,42	100,00	100,00	90,98	89,20	99,03	100,00	-	100,00
Desvio padrão (s)	1,43	0,00	0,00	0,92	1,06	0,08	0,00	-	0,00
%RSD	1,63	0,00	0,00	1,01	1,19	0,08	0,00	-	0,00

Tabela 11. Resultados do cálculo da eficiência de redução de sulfatos, cloretos e dureza total

Data	Sulfatos			Cloretos			Dureza total		
	ENF	EOR	E _{Global}	ENF	EOR	E _{Global}	ENF	EOR	E _{Global}
9/5/2022	99,93	100,00	100,00	83,53	82,19	97,07	89,19	96,25	99,59
9/12/2022	99,92	100,00	100,00	82,61	75,49	95,74	91,38	94,18	99,50
9/19/2022	99,92	100,00	100,00	83,17	76,52	96,05	91,77	96,33	99,70
9/27/2022	99,92	100,00	100,00	80,79	81,93	96,53	91,99	94,76	99,58
10/3/2022	99,92	100,00	100,00	82,65	77,92	96,17	90,98	97,17	99,75
10/10/2022	99,94	100,00	100,00	84,37	78,68	96,67	89,80	96,40	99,63
10/17/2022	99,92	100,00	100,00	83,70	78,24	96,45	89,99	96,81	99,68
10/24/2022	99,93	100,00	100,00	84,32	80,87	97,00	91,09	94,63	99,52
11/7/2022	99,92	100,00	100,00	83,11	79,64	96,56	92,18	95,30	99,63
11/14/2022	99,93	100,00	100,00	83,79	83,48	97,32	90,89	93,01	99,36
11/21/2022	99,92	100,00	100,00	82,00	82,94	96,93	89,77	97,96	99,79
11/28/2022	99,92	100,00	100,00	82,33	75,28	95,63	92,19	96,06	99,69

Média	99,92	100,00	100,00	83,03	79,43	96,51	90,93	95,74	99,62
Desvio padrão (s)	0,01	0,00	0,00	1,03	2,86	0,53	1,03	1,40	0,12
%RSD	0,01	0,00	0,00	1,24	3,60	0,55	1,14	1,46	0,12

Nas Tabelas 10 e 11 o termo ENF representa a eficiência calculada considerando as amostras de água após o tratamento com nanofiltros e água bruta. O termo E_{OR} compara os teores dos parâmetros na água após passagem pela osmose reversa e nanofiltros. Por fim, o termo E_{Global} indica a eficiência global do sistema de tratamento, sendo calculada pelo rácio da água tratada (após OR) e água bruta.

Os resultados do teste de ANOVA bimodal (Tabela 12) mostram que não existe diferença significativa (valor-p > 0,05) durante os dias de tratamento. Entretanto, nota-se que existe uma diferença significativa entre a eficiência das etapas de tratamento consideradas neste estudo (nanofiltração e osmose reversa), uma vez que o valor-p < 0,05.

Tabela 12. Resultados do teste de ANOVA a dois factores

Fonte (Variáveis)	GL	SQ (Aj)	QM (Aj)	F calculado	F crítico	Valor de P
pH						
Dias de Tratamento	11	2,64	0,24	1,33	2,26	0,69
Tratamento	2	10,05	5,03	28,04	3,44	0,00
Erro	22	3,94	0,18			
Total	35	16,63				
AT						
Dias de Tratamento	11	60,59	5,51	1,08	2,26	0,53
Tratamento	2	28146,70	14073,30	2748,87	3,44	0,00
Erro	22	112,60	5,10			
Total	35	28319,89				
TDS						
Dias de Tratamento	11	137,81	12,53	1,08	2,26	0,53
Tratamento	2	69201,10	34600,50	2981,48	3,44	0,00
Erro	22	255,30	11,60			
Total	35	139169,01				
SO₄²⁻						
Dias de Tratamento	11	2,20	0,20	1,00	2,26	0,48
Tratamento	2	12245,60	6122,82	30865,96	3,44	0,00
Erro	22	4,40	0,20			
Total	35	12252,20				
Cl⁻						
Dias de Tratamento	11	62,50	5,68	1,06	2,26	0,43
Tratamento	2	16650,30	8325,13	1550,48	3,44	0,00
Erro	22	118,10	5,37			
Total	35	1630,90				

		DT				
Dias de Tratamento	11	4,49	0,41	1,51	2,26	0,20
Tratamento	2	5566,88	2783,44	10331,78	3,44	0,00
Erro	22	5,93	0,27			
Total	35	5577,30				

5.2. Discussão dos resultados

5.2.1. pH

A Figura 14 mostra o valor do pH nas amostras de água. O valor médio de pH mais elevado foi registado na amostra de água rejeitada ($8,25 \pm 0,22$), enquanto que o valor médio de pH mais baixo foi registado na água tratada após a osmose reversa ($6,81 \pm 0,39$).

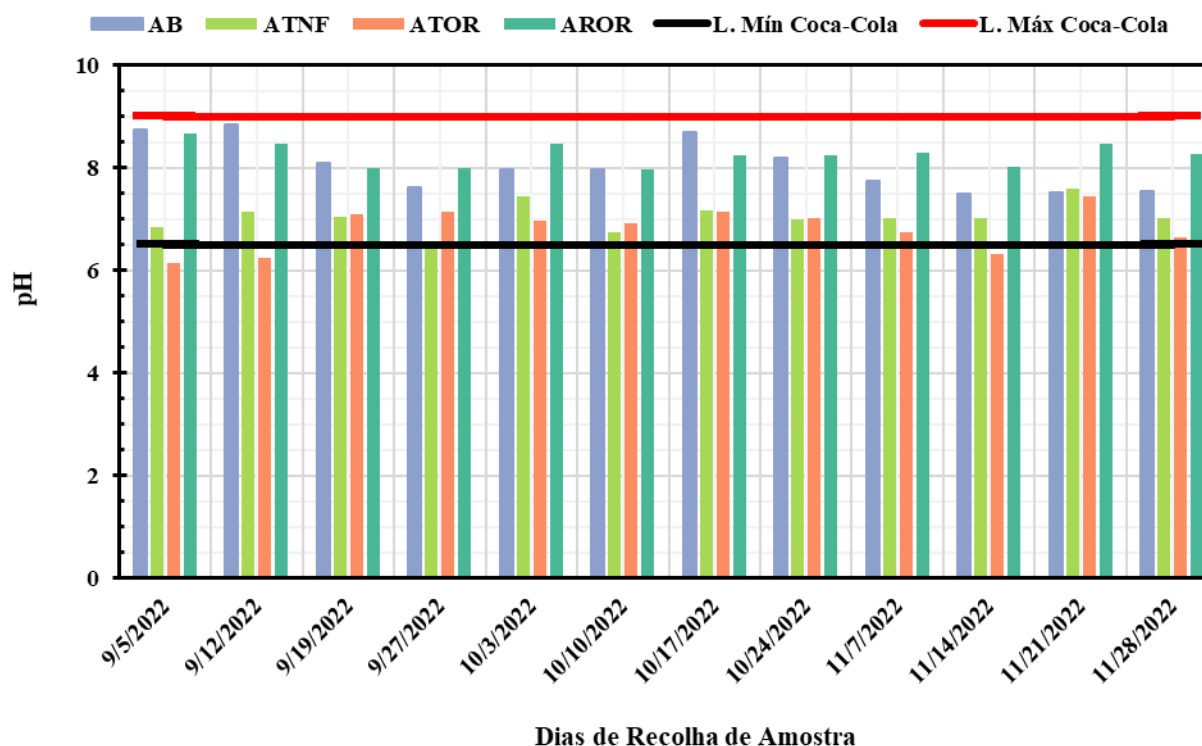


Figura 14. Variação do pH ao longo do monitoramento da ETA

O pH da água bruta a ser tratada no processo de produção de refrigerantes na Coca-Cola Beverages Africa de Matola-Gare deve ter um pH de 7 (Coca-Cola, 2021). Segundo Naceradska *et al.* (2019), no tratamento de água o pH é factor chave para a eficiência da etapa de coagulação/floculação, sendo que um pH inadequado pode afectar a carga eléctrica das partículas suspensas na água,

levando à formação de precipitados indesejados e flocos pequenos, frágeis e menos capazes de aglutinar as partículas suspensas de forma eficiente. Portanto, justifica-se a etapa de correcção de pH com adição de NaOH ou HCl, uma vez que a água bruta teve um pH de $8,03 \pm 0,47$. No período analisado (de Setembro a Novembro de 2022) o pH da água bruta foi básico assim necessitou da adição de HCl.

Estudos realizados por Abdalla *et al.* (2020) em uma fábrica de refrigerante no Estado de Cartum (Sudão) com as mesmas etapas de tratamento de água revelaram resultados similares aos obtidos neste estudo, com pH da água tratada próximo de 7,49 e água bruta com 8,33. Porém, no estudo realizado por Rodrigues *et al.* (2011), o pH registado foi levemente ácido (em torno de 4,71 a 5,55). A diferença nos valores de pH deve-se essencialmente à característica da água bruta e não existência de uma etapa de correcção de pH. Este autor ressalta que baixos valores de pH, não representam problemas para a produção de refrigerantes.

De acordo com as especificações da Coca-Cola (2021) para água tratada o pH deve estar entre 6,5 a 9. Desta forma o pH da água tratada de $6,81 \pm 0,39$ encontra-se em conformidade com a faixa aceitável. O valor de pH da água tratada, também encontra-se em uma faixa óptima, uma vez que de acordo com Rodrigues *et al.* (2011) valores de pH abaixo de 8,0 favorecem a reacção de dissociação do ácido hipocloroso (HOCl), tornando mais eficiente o processo de desinfecção com cloro.

De acordo com a Figura 14 verifica-se que não ocorreram alterações muito expressivas do pH ao longo do período de monitoramento nas amostras de água tratadas por nanofiltração e por OR (valor- $p > 0,05$). Por outro lado, os resultados da análise estatística mostraram uma diferença (valor- $p < 0,05$) entre o pH nas duas etapas. Esta diferença no pH após a passagem das membranas de osmose reversa pode ser explicada pela remoção quase total do conteúdo mineral da água.

Para Nir *et al.* (2015), quando os iões minerais, como o cálcio e o magnésio, são removidos por um sistema de tratamento de água OR, isto provoca uma queda no pH, uma vez que estes minerais tornam a água naturalmente mais alcalina. Além disso, a diminuição do pH pode ser explicada pela permeação preferencial de CO_2 dissolvido e $\text{B}(\text{OH})_3$ (Nir & Lahav, 2013). A água após a osmose reversa em média tem um pH de 5-7 (Nir *et al.*, 2015).

5.2.2. Turvação

A turvação da água bruta conforme mostra a Figura 15 em quase todos os dias esteve acima de 0,3 NTU (especificação da Coca-Cola de Matola-Gare). A turvação mínima observada foi de 1,75 NTU enquanto a turvação máxima foi de 3,09 NTU. A turvação após a passagem pelo sistema de nanofiltração é 0 NTU, mostrando uma eficiência de remoção de substâncias turvas de 100%. Após passagem pelos sistemas de OR a turvação de água de OR manteve-se em 0 NTU, demonstrando que não há recontaminação durante este processo. De acordo com Wang *et al.* (2020) a eficiência de remoção após as membranas de nanofiltração atingiu cerca de 100% com água tratada possuindo 0 NTU.

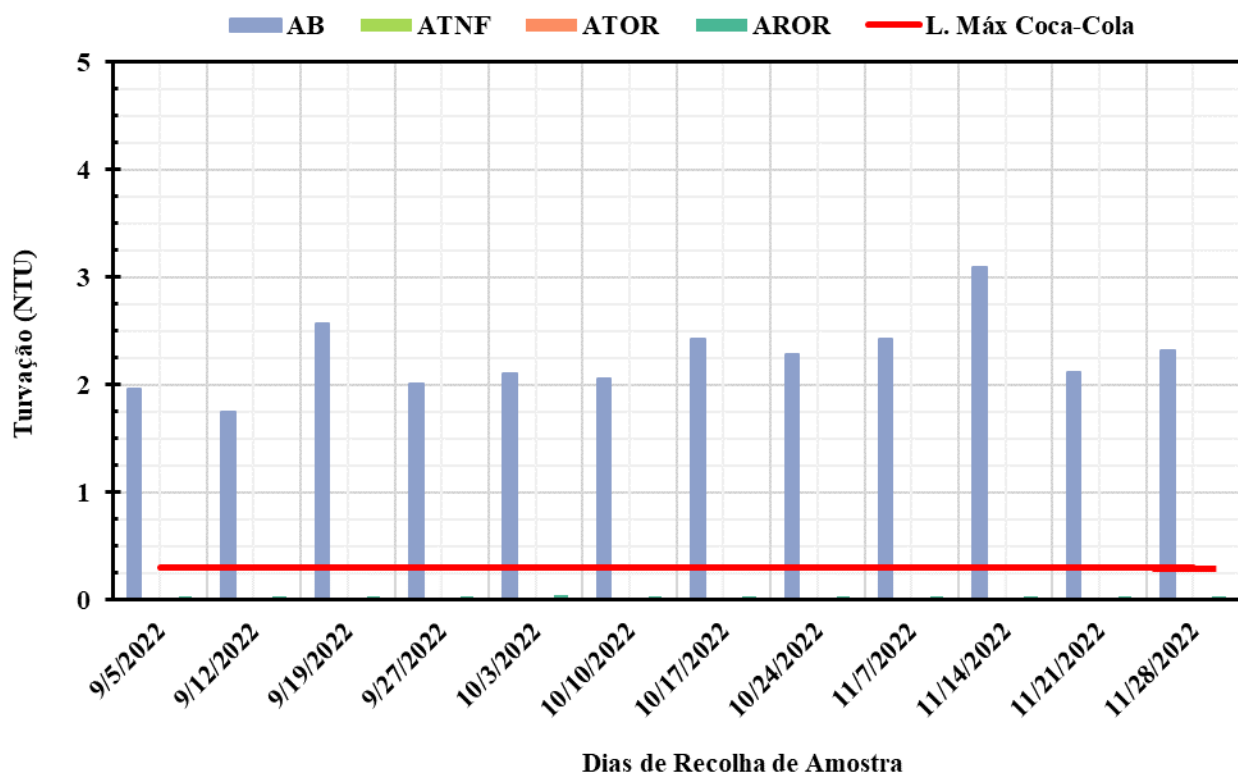


Figura 15. Variação da turvação ao longo do monitoramento da ETA.

5.2.3. Alcalinidade total

Analisando a Figura 16 verifica-se que a alcalinidade total (AT) da água sofreu alterações relevantes durante as etapas de tratamento. A AT da água bruta em média foi de $62,86 \pm 3,65$ mg/L, enquanto depois do tratamento com nanofiltros é de $7,88 \pm 0,66$ mg/L (de referir que uma parte dos compostos responsáveis pela AT foram eliminados nas outras etapas). Após a passagem da água

pelos membranas de OR a AT da mesma é praticamente 0 mg/L. Todas as amostras incluídas as amostras da água bruta apresentaram teores de AT abaixo da especificação da fábrica para a produção de refrigerantes com excepção da água rejeitadas (amostras AROR).

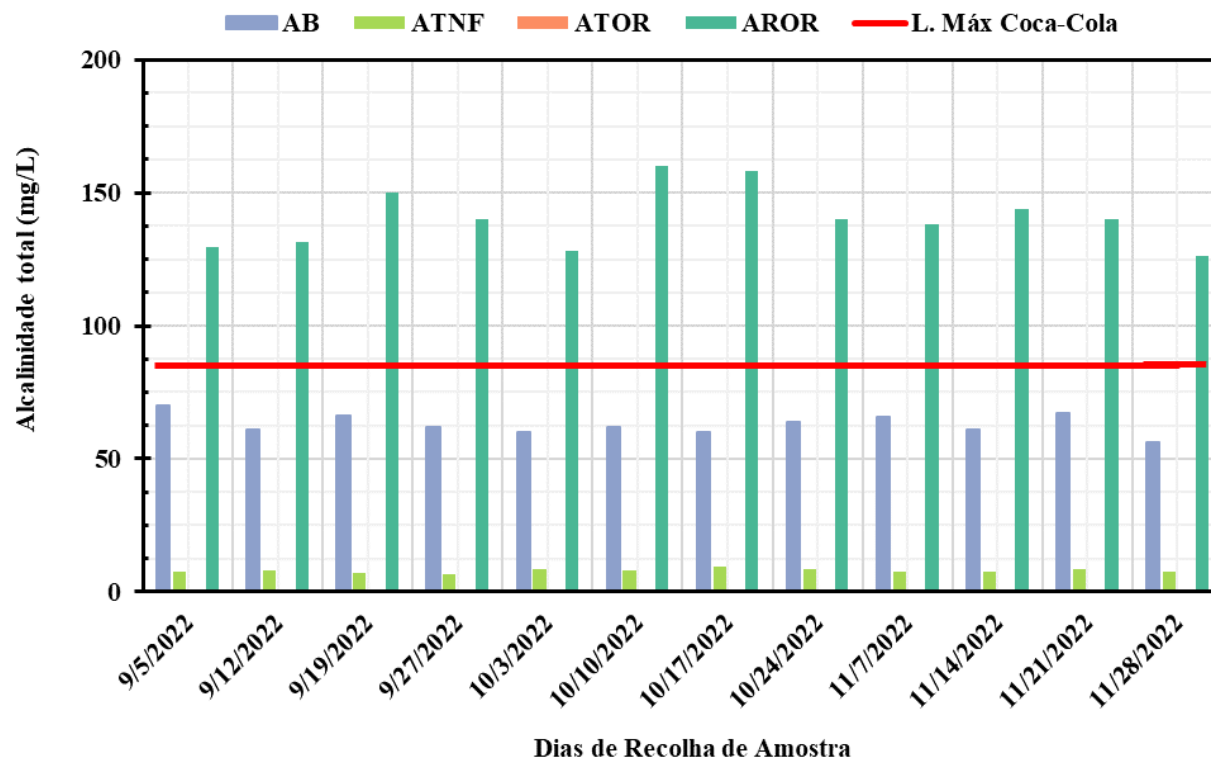


Figura 16. Variação da alcalinidade total ao longo do monitoramento da ETA.

A Tabela 10 mostra que eficiência de redução de AT da água bruta até à passagem pelos nanofiltros durante o período de monitoramento variou de 84,38% a 89,30% com média de $87,42 \pm 1,63\%$. Resultados similares foram obtidos no estudo de Wang *et al.* (2020) onde o processo de NF teve um efeito promissor na remoção de poluentes inorgânicos, e a taxa de remoção de AT nesse estudo atingiu 85,80%.

Após a passagem pelas membranas de OR a eficiência de redução de AT foi de 100%, consequentemente a eficiência global é de 100%. Os baixos teores de AT na água tratada são ideais pois de acordo com Rodrigues *et al.* (2011) elevada AT pode reagir com o ácido cítrico, o qual é adicionado durante a preparação do xarope, alterando o sabor da bebida. Durante o monitoramento da AT nota-se que o processo de tratamento afecta significativamente a qualidade da água tratada (valor-P < 0,05, Tabela 12), mas não se verificam alterações significativas entre os dias de

tratamento, mostrando que as condições de tratamento na fábrica mantêm-se controladas durante o processo.

5.2.4. Sólidos totais dissolvidos

A variação de sólidos totais dissolvidos para as amostras de água bruta, de nanofiltros e da osmose reversa durante o período de monitoramento na ETA está apresentada na Figura 17. A fábrica, para TDS utiliza a especificação de 500 mg/L como teor máximo admissível, pelo que todas as amostras analisadas incluindo a água bruta estão abaixo do limite máximo aceitável.

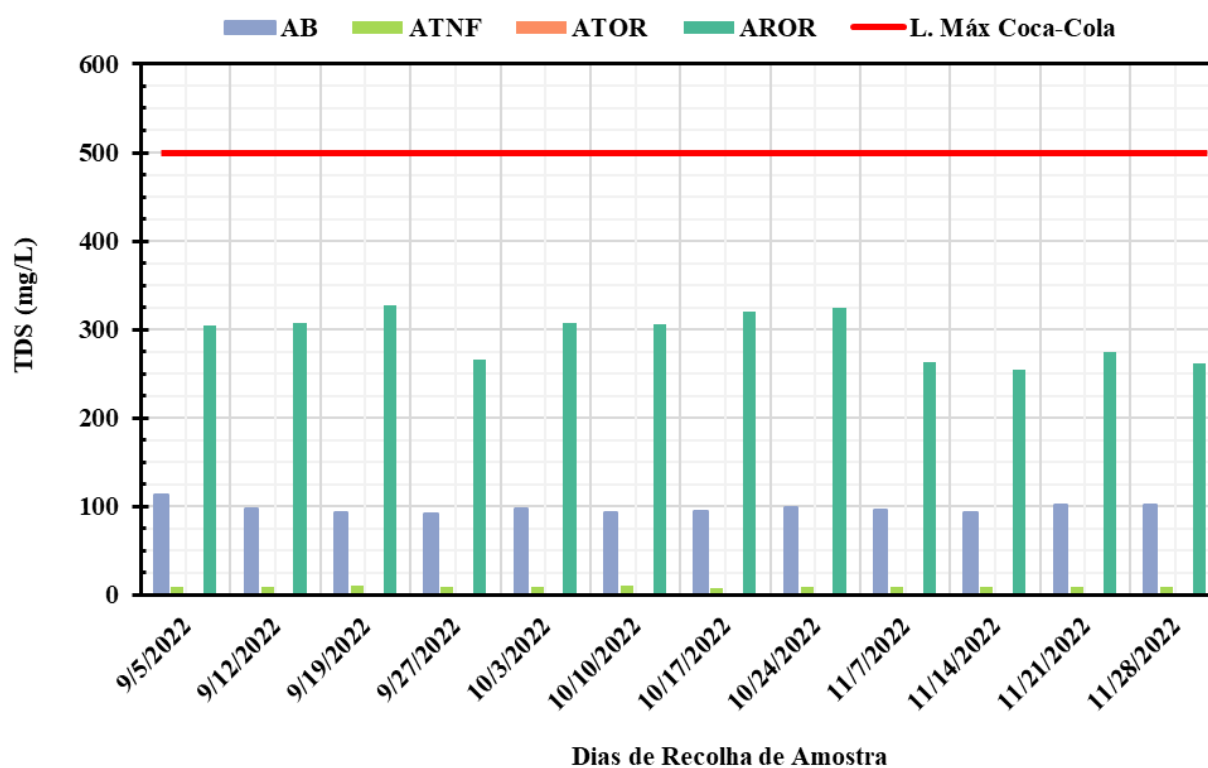


Figura 17. Variação de TDS ao longo do monitoramento da ETA.

Os resultados obtidos durante o monitoramento da ETA da Coca-Cola Matola-Gare mostram que o teor de TDS para água bruta variou de 92 a 112,67 mg/L com média de $97,62 \pm 5,55$ mg/L. Após a passagem pelo processo de nanofiltração o teor médio de TDS foi de $8,77 \pm 0,61$ mg/L, evidenciando uma eficiência de remoção desses sólidos de $90,98 \pm 0,92\%$ (Tabela 10). Wang *et al.* (2020) no seu estudo também obtiveram elevada eficiência de remoção de cerca de 91%.

O teor médio de TDS na água tratada (após tratamento com membranas de OR) foi de $0,94 \pm 0,06$ mg/L. A eficiência de remoção de TDS para as membranas de OR foi de $89,20 \pm 1,06\%$. A eficiência geral da ETA para a remoção de TDS foi de $99,03 \pm 0,08\%$. Os sistemas de OR têm uma capacidade de remoção de TDS relativamente mais elevada ($> 99\%$) em comparação com outros métodos de filtração por membranas, como a NF, a UF e a microfiltração (MF) (Baker, 2012). Estudos realizados por Indika *et al.* (2021) revelaram elevadas taxas de remoção de TDS em torno de 91 a 98%. Assim, a água tratada pode ser classificada como sendo segura para a produção de refrigerantes.

A Tabela 12, por um lado, mostra que a variação temporal não afecta a performance da fábrica pois o resultado do teste de ANOVA bimodal indicou um valor-p de 0,53 (maior que nível de significância de 0,05). Por outro lado, o mesmo teste indicou que os tratamentos aos quais a água é sujeita afectam de forma significativa o teor de TDS. Esta diferença no teor de TDS pode ser explicada pelas elevadas eficiências de remoção observadas em cada uma das etapas de tratamento.

5.2.5. Dureza total

De acordo com a Coca-Cola (2021), o teor máximo aceitável de dureza total para a água tratada é de 100 mg/L. Todas as amostras analisadas durante o período de monitoramento, exceptuando as amostras da água rejeitada, estão em conformidade com o limite aceitável, conforme pode ser visto na Figura 18. Para as amostras da água bruta, o teor médio de DT foi de $47,72 \pm 3,86$ mg/L, para água tratada por nanofiltração foi de $4,30 \pm 0,38$ mg/L e por osmose reversa foi de $0,18 \pm 0,05$ mg/L.

A eficiência média de redução de DT durante o período de monitoramento do sistema de tratamento de água após passagem pelos nanofiltros foi de $90,93 \pm 1,03\%$ (Tabela 11). Essa eficiência foi mais baixa em comparação com 98,2% obtidos por Wang *et al.* (2020) no seu estudo, mas mesmo assim, a eficiência do tratamento obtida ainda é bastante satisfatória. As membranas de OR mostraram uma eficiência média de remoção de DT de $95,74 \pm 1,40\%$. Em termos globais a eficiência média da ETA na remoção de DT foi de $99,62 \pm 0,12\%$. Para Indika *et al.* (2021), a remoção de DT atingiu cerca de 98% sendo resultados próximos aos obtidos neste estudo e que evidenciam o bom desempenho do processo. A remoção da dureza pode ser explicada pela rejeição de iões multivalentes pelas membranas de OR. A razão para a rejeição de iões multivalentes é a criação de ligações iónicas entre a superfície da membrana de poliamida TFC carregada

negativamente (grupos carboxilo e hidroxilo) e cátions carregados positivamente (Hao *et al.*, 2019).

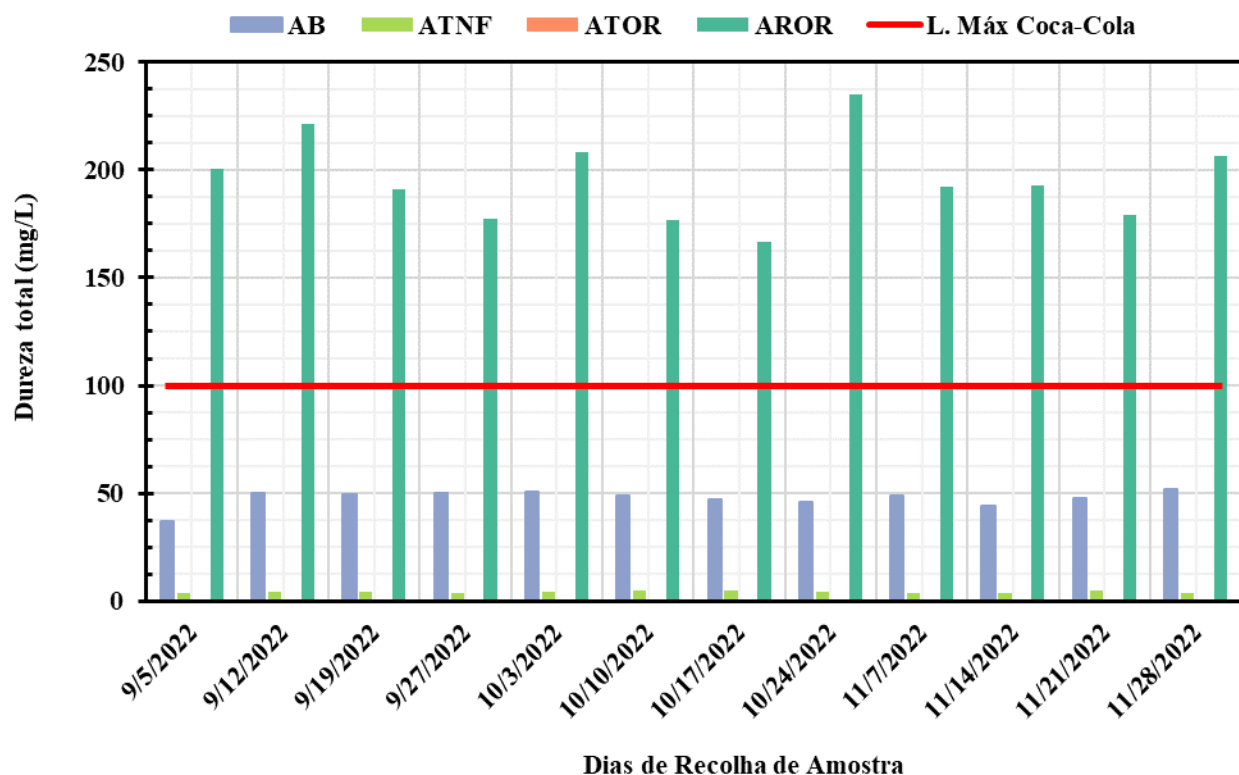


Figura 18. Variação de DT ao longo do monitoramento da ETA.

A elevada performance da ETA na remoção de DT é considerada a razão para a variação significativa da qualidade da água nas diferentes etapas de tratamento, conforme pode ser visto na Tabela 12. O elevado controlo das variáveis do processo, são a razão da não alteração ao longo do tempo da qualidade de água em todas as etapas de tratamento.

5.2.6. Sulfatos

A Figura 19 mostra que o teor de sulfatos ao longo do período de monitoramento variou de ligeiramente na água bruta, sendo o teor mínimo observado de 37,67 mg/L e máximo de 40,33 mg/L. A concentração de sulfatos da água bruta durante o período de estudo encontrou-se abaixo do limite de máximo aceitável pela Coca-Cola de 250 mg/L. A concentração mínima de sulfatos após tratamento com membranas de nanofiltração foi de 0,025 mg/L e a máxima foi de 0,325 mg/L, mostrando uma eficiência de remoção de iões SO_4^{2-} de $99,92 \pm 0,01\%$ (Tabela 11).

A eficiência observada neste estudo foi tão elevada quanto a eficiência (99,40%) obtida por (Wang *et al.*, 2020). A quantidade residual de iões SO_4^{2-} depois do tratamento com nanofiltros é removida totalmente à passagem das membranas de OR. A eficiência global do sistema foi de 100%.

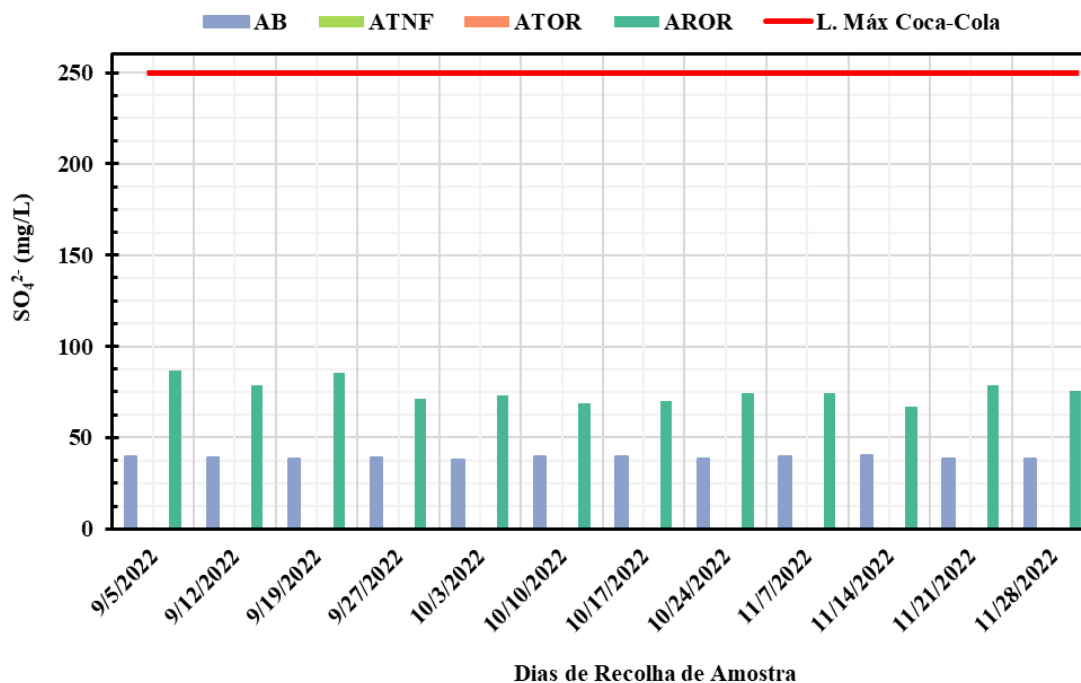


Figura 19. Variação de sulfatos ao longo do monitoramento da ETA.

No estudo realizado por Indika *et al.* (2021) a eficiência de remoção de iões SO_4^{2-} foi de 99,00% sendo muito próxima da eficiência observada anteriormente. De acordo com Baker (2012), em águas ultra-puras a concentração de iões SO_4^{2-} deve ser menor que 0,02 mg/L. Assim, a água tratada na ETA da fábrica da Coca-Cola possui elevada pureza e é adequada para o processo de produção de refrigerantes. Porém, a alta taxa de rejeição de tais iões pode criar problemas no desempenho do sistema de tratamento, pois a remoção dos iões estimula a formação de incrustações nas membranas nas formas CaSO_4 e MgSO_4 . Assim, deve haver um forte sistema de manutenção.

5.2.7. Cloretos

A variação da concentração de cloretos na água durante as fases de tratamento de água na ETA da Coca-Cola de Matola-Gare durante o período de monitoramento é apresentada na Figura 20. De acordo com os resultados apresentados nesta figura as concentrações mínima e máxima de cloretos

na água bruta foram de 27,33 e 30,00 mg/L e uma média de $29,14 \pm 0,87$ mg/L. Por outro lado, a concentração média de iões Cl^- foi de $4,94 \pm 0,31$ mg/L após o tratamento com nanofiltros. Uma concentração mais baixa foi observada para a água após passagem nas membranas de OR ($1,02 \pm 0,15$ mg/L). O factor “*etapa de tratamento*” afecta significativamente a qualidade da água, porém o factor “*dia de tratamento*” não afecta a qualidade da água de forma expressiva, conforme os resultados da análise estatística (teste de ANOVA bimodal) apresentados na Tabela 12. A eficiência de remoção de iões Cl^- de acordo com a Tabela 11 foi de $83,03 \pm 1,03\%$ depois da passagem nas membranas de nanofiltração. Resultados similares (81,30%) foram obtidos no estudo de Wang *et al.* (2020). Por outro lado, a eficiência de remoção de Cl^- atingiu $79,43 \pm 2,86\%$ após passagem das membranas de OR. No estudo realizado por Indika *et al.* (2021) a eficiência de remoção de iões Cl^- atingiu 95,70%. A baixa eficiência obtida na etapa de OR pode ser explicada pela baixa concentração de iões Cl^- na alimentação do sistema de OR, pois de acordo com Zhou *et al.* (2020) os sistemas OR alimentados com água com baixa concentração de iões apresentaram uma remoção consideravelmente inferior. Porém, a eficiência global da ETA foi de $96,51 \pm 0,53\%$, sendo considerada bastante satisfatória.

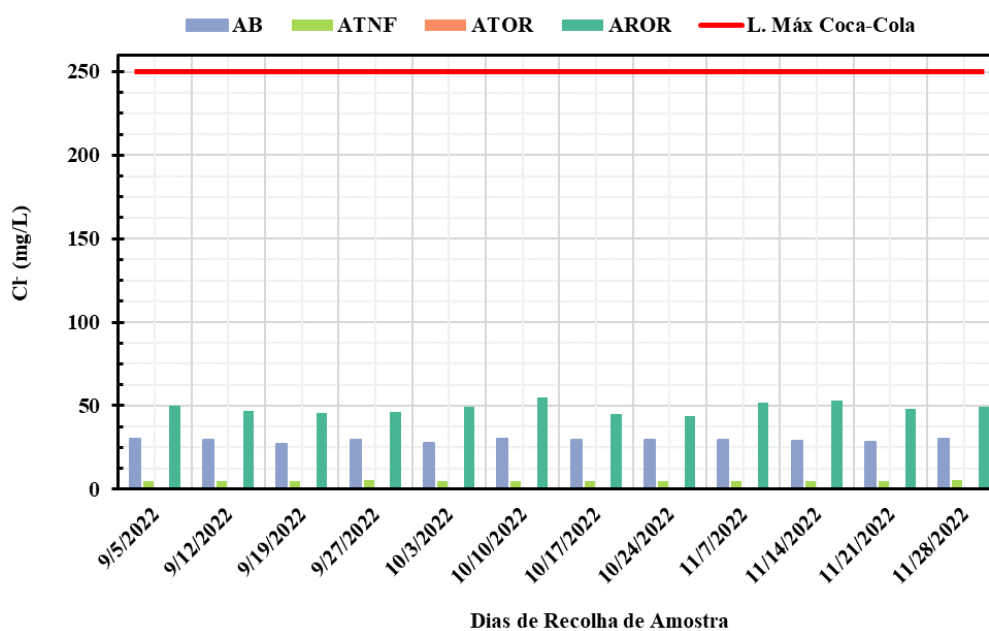


Figura 20. Variação de cloretos ao longo do monitoramento da ETA.

5.2.8. Desempenho do sistema de desinfecção

A estação de tratamento da Coca-Cola recebe água do FIPAG durante o seu tratamento adicionou-se cloro para efeitos de desinfecção. Na ETA da Coca-Cola, a cloração (1 – 3 mg/L) também é aplicada como medida de segurança. Durante o período de monitoramento foram determinadas as presenças de bactérias (Figura 21) na água bruta e na água semi-tratada. Também foi analisada a concentração de cloro livre na água bruta, água semi-tratada e água tratada com filtros de cravão activado granular (CAG), conforme pode ser visto na Figura 22. Os coliformes totais não foram detectados em nenhuma amostra, incluindo a AB.

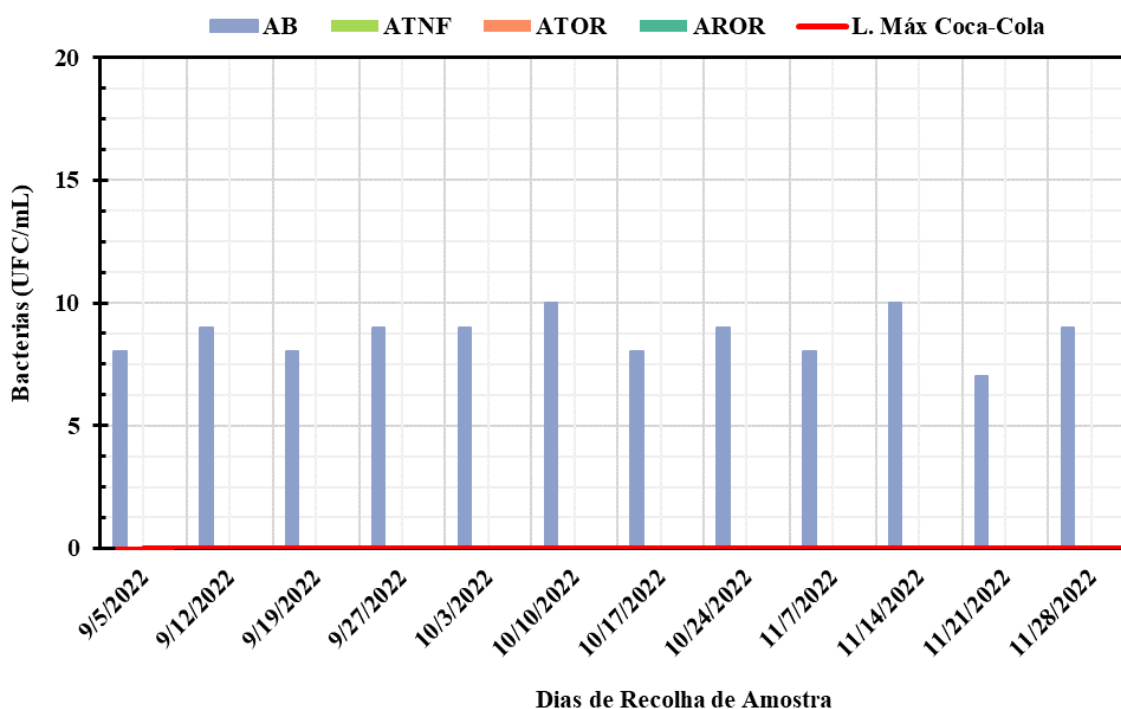


Figura 21. Variação da quantidade de bactérias ao longo do monitoramento da ETA.

A Figura 21 mostra que a presença de bactérias na água bruta à chegada na ETA teve uma variação de 7 a 10 UFC/mL. De acordo com Kregiel (2015), as bactérias geralmente são intolerantes ao meio ácido, mas em alguns casos podem ser capazes de se proliferar em refrigerantes com valores de pH inferiores a 4,30, constituindo um risco à saúde dos consumidores. Após as etapas de coagulação/floculação, filtração com areia e desinfecção com adição de hipoclorito de sódio a quantidade de bactérias é reduzida a 0 (as bactérias foram ausentes durante todo o período de

monitoramento). A ETA da Coca-Cola de Matola-Gare possui, desta forma, uma eficiência de 100% na eliminação de bactérias na água destinada à produção de refrigerantes.

A concentração média de cloro livre na água bruta foi de $0,07 \pm 0,01$ mg/L. A presença de cloro residual livre é essencial para a prevenção do recrescimento microbiano nos sistemas de distribuição de água. Os baixos teores de cloro livre na água bruta podem ser justificados pelo consumo de cloro na desinfecção contínua da água desde a saída da ETA da FIPAG até chegar nos tanques de água bruta. Além disso, Zheng *et al.* (2015) a concentração de cloro livre pode diminuir devido à reacção deste com as tubulações que constituem o sistema de distribuição de água.

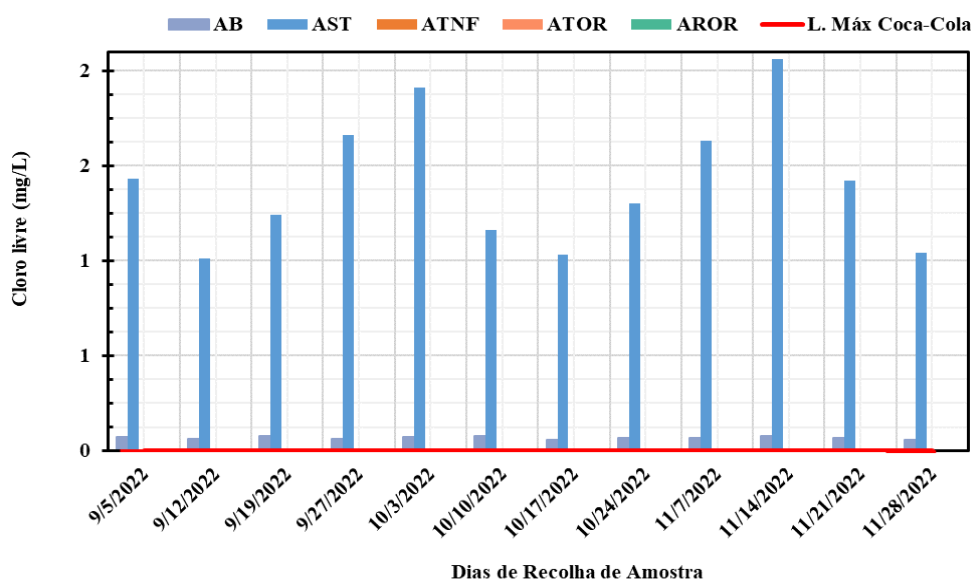


Figura 22. Variação cloro livre ao longo do monitoramento da ETA.

De acordo com Bertelli *et al.* (2018), o fornecimento de água sem ou com baixos teores de cloro residual pode favorecer o recrescimento bacteriano e resultar em problemas de saúde pública.

Os resultados apresentados acima realçam a necessidade de cloração na ETA da Coca-Cola. No tanque de água semi-tratada o cloro é adicionado e nesta água o teor de cloro livre deve estar no intervalo de 1 a 3 mg/L. Os resultados obtidos durante o período de monitoramento mostram que a água semi-tratada (AST) esteve em conformidade com este requisito, apresentando uma variação de 1,01 a 2,06 mg/L, com média de $1,41 \pm 0,35$ mg/L.

A quantidade de cloro adicionado é responsável pela desinfecção da água semi-tratada. Contudo, a presença de cloro livre na água tratada é indesejável, pois segundo Zewdu (2013), o cloro livre

pode reagir com a MO presente na água levando à geração de trihalometanos (THMs). Os THMs causam cancro, abortos espontâneos e são mutagénicos (Gad & Pham, 2014). Os THM são também associados a lesões no coração, nos pulmões, nos rins, no fígado e no sistema nervoso central (Gad, 2023).

A etapa de filtração com carvão activado (CA) é necessária para a eliminação de cloro residual na água e de THMs na fábrica da Coca-Cola. A concentração de cloro livre após a filtração por CA é consistentemente inferior ao limite de deteção de 0,01 mg/L, o que demonstra uma remoção de 100% do cloro pelos filtros de CA. Resultados similares foram obtidos no estudo de Zewdu (2013), onde a ETA da Coca-Cola de Antuérpia obteve uma elevada eficiência de remoção de cloro livre.

5.2.9. Reaproveitamento da água rejeitada

A água rejeitada durante o processo de tratamento com membranas de OR apresenta de acordo com a Tabela 9 um pH de $8,25 \pm 0,22$, uma turvação média de $0,033 \pm 0,003$ NTU, uma alcalinidade de $140,47 \pm 10,68$ mg/L, um teor de TDS de $195,52 \pm 17,30$ mg/L, uma dureza total de $195,50 \pm 19,05$ mg/L, e uma concentração de iões sulfatos e cloretos de $75,44 \pm 5,98$ e $48,69 \pm 3,25$ mg/L, respectivamente. Adicionalmente, o teor de Cl_2 nestas águas foi de $0,035 \pm 0,004$ mg/L, sendo que não foi detectada a presença de bactérias e nem de coliformes.

Analisando a qualidade da água que é rejeitada nas membranas de OR nota-se que a mesma possui um pH entre os limites aceitáveis (6,5 a 9,0). A turvação da água durante o tratamento para produção de refrigerantes e sumos segundo as especificações da Coca-Cola deve ser no máximo de 0,30 NTU, mostrando que a turvação da água rejeitada também se encontra em conformidade em relação a turvação. Essa água também está em conformidade com os requisitos para a produção de sumos e refrigerantes para a presença de microorganismos, cloro e concentrações iões Cl^- e SO_4^{2-} , cujos teores estão abaixo dos limites máximos aceitáveis (Coca-Cola, 2021). Contudo, conforme pode ser visto nas Figuras 16 e 18, a água rejeitada possui teores de alcalinidade total e dureza total acima do limite aceitável de 100 mg/L. De acordo com Jahagirdar *et al.* (2015) a água destinada à produção de refrigerantes deve ter baixa alcalinidade, uma vez que elevada alcalinidade pode neutralizar a acção dos ácidos que são adicionados na produção para a conservação dos refrigerantes, desta forma a água rejeitada não pode ser utilizada para a produção de refrigerantes sem um tratamento prévio.

O regulamento sobre a qualidade da água para o consumo humano (Diploma ministerial 180/2004 de 15 de Setembro) estabelece que o pH deve estar na faixa de 6,5 a 8,5, a turvação abaixo de 5 NTU, a alcalinidade de 200 mg/L, teor de TDS de 1000 mg/L, dureza total de 500 mg/L, sulfatos e cloretos de 250 mg/L e ausência de coliformes (Tabela B-2, Anexo B). Considerando este regulamento, a água destinada ao consumo humano deve ter o teor de cloro livre de 0,2 a 0,5 mg/L para garantir a desinfecção contínua durante o processo de distribuição de água. Assim, a água rejeitada nas membranas de OR apresenta qualidade para o consumo humano desde que seja feita a cloração da mesma antes da distribuição e consumo. Mas como o objectivo do estudo é aproveitar a água rejeitada nos processos da fábrica da Coca-Cola de Matola-Gare, a água não será utilizada directamente para o consumo humano.

A Figura 23 apresenta a comparação entre a qualidade da água rejeitada e a pela água bruta. A ordenada do gráfico é representada por várias unidades a saber: mg/L para AT, Cl⁻, Cl₂, DT, SO₄²⁻ e TDS; NTU para turvação e UFC/mL para bactérias. Notou-se ao longo do período de monitoramento que as amostras AROR apresentaram valores de pH, AT, TDS, SO₄²⁻ e Cl⁻ 1,03, 2,23, 2,00, 4,10, 1,93 e 1,67 vezes maiores em comparação aos apresentados pela água bruta. Contudo, considerando a eficiência das etapas de tratamento, é possível que a água rejeitada seja reciclada e encaminhada para o tratamento de água bruta, onde poderia voltar a passar pelas mesmas etapas de tratamento.

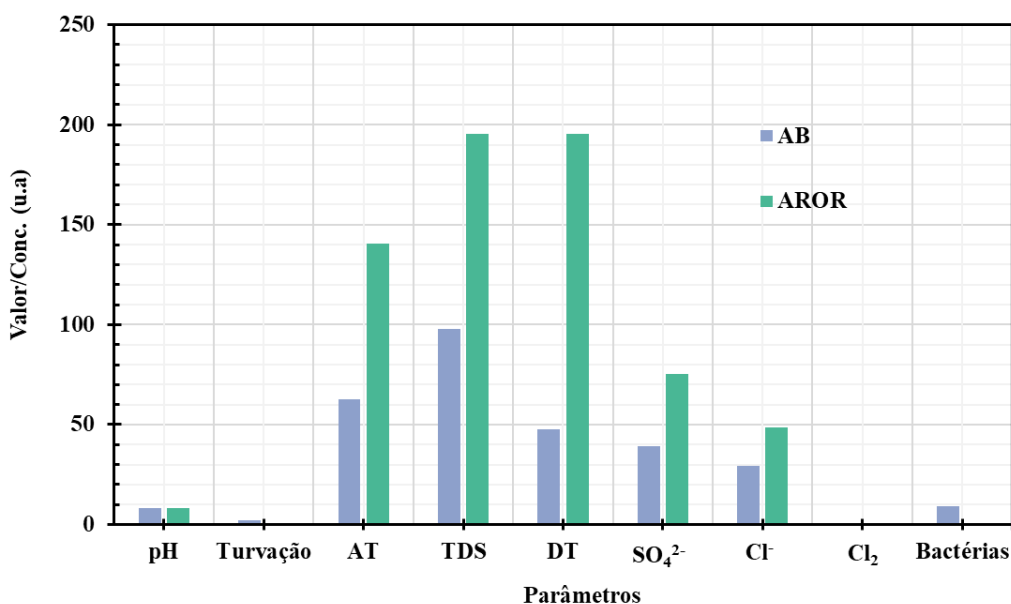


Figura 23. Comparação da qualidade de água bruta e da água rejeitada

Além disso, nota-se da Figura 7, que uma quantidade significativa de água é desviada para o tratamento com resinas e posteriormente utilizada para a lavagem de garrafas. Esta etapa de tratamento preliminar visa reduzir a dureza total da água. Assim, a 2ª opção para a reutilização da água rejeitada é nas máquinas de lavagem de garrafas, passando pelo tratamento prévio nas resinas de SBA. Nesta fase a dureza total deve ser menor que 5 mg/L. Rashid *et al.* (2021) afirmam que no processo de tratamento de água com membranas de OR, cerca de 25 a 50% da água é rejeitada devido ao elevado teor de TDS. Durante o processo de tratamento, cerca de em média 12 m³/h chegam as membranas de OR, sendo que a eficiência deste processo é de 50%, cerca de 6 m³/h são rejeitados e encaminhados à estação de tratamento de água residuais.

Na fábrica da Coca-Cola, por outro lado, a etapa que mais consome água é a de lavagem de garrafas e máquinas. Cerca de 58% do total de água é consumida neste processo. O reaproveitamento da água rejeitada para a lavagem de garrafas pode diminuir o consumo global de água na fábrica, conforme mostra a Tabela 13.

Tabela 13. Balanço hídrico mensal e simulação para efeito do reuso da água rejeitada nas membranas OR.

Mês	Consumo total de água (m ³)	Produção total (m ³)	Rácio de consumo de água actual (L/L)	Consumo lavadora (m ³)	Água rejeitada (m ³)	Redução no consumo de água (%)	Rácio de consumo de água com reuso (L/L)
Set.	32.630,00	14.231,60	2,29	18.398,40	5.335,54	16,35	1,92
Out.	23.130,00	9.596,08	2,41	13.533,92	3.924,84	16,97	2,00
Nov.	27.024,00	12.256,52	2,20	14.767,48	4.282,57	15,85	1,86
Total	82.784,00	128.995,30	2,30	46.699,80	13.542,94	16,39	1,92

A Tabela 13 mostra que em média, produz-se cerca de 4230 m³/mês de água rejeitada. Esse volume corresponde a cerca de 29% da demanda de água nas máquinas lavadoras de garrafas. Assim, a reutilização dos 4230 m³/mês pode reduzir o consumo de água global em cerca de 16%. No cenário actual o consumo de água por litro de refrigerantes produzidos foi de 2,30. De acordo com Hsine *et al.* (2010), o rácio médio de consumo de água para indústrias de refrigerantes deve ser fixado em 2,30 m³ de água por m³ de refrigerante produzido. Assim o valor actual é similar a este valor, porém o rácio actual da fábrica é superior ao limite médio estabelecido pela própria fábrica da Coca-cola de 2,20 m³ de água por m³ de refrigerante produzido. Entretanto, com a redução dos

16% da água consumida essa exigência é satisfeita, pois o índice baixa até 1,92 m³ de água por m³ de refrigerante produzido.

A reutilização do efluente rejeitado nas membranas vai melhorar a poupança de água e também poupar dinheiro. Várias empresas já implementaram medidas para reduzir o consumo de água e a descarga de águas residuais e alcançaram poupanças significativas de custos e outros benefícios (Victoria-Salinas *et al.*, 2019). A fábrica da Coca-cola possui uma oportunidade de usar a água rejeitada das membranas nas lavadoras de garrafas o que pode minimizar o consumo de água e aumentar a sustentabilidade dos seus processos de produção.

CAPÍTULO V

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. Conclusões

As principais conclusões da análise da eficiência do sistema de tratamento de água para a produção de refrigerantes, sumos e água mineral na fábrica da Coca-Cola da Matola-Gare e avaliação da possibilidade de reutilização da água rejeitada nas membranas de OR, considerando os resultados obtidos, são:

A qualidade da água bruta esteve em conformidade com as especificações exigidas para água na produção de refrigerantes em termos de parâmetros como AT (62,86 mg/L), TDS (101,33 mg/L), DT (47,72 mg/L), iões SO₄²⁻ (39,14 mg/L) e Cl⁻ (29,14 mg/L) durante o período de monitoramento da fábrica da Coca-Cola Matola-Gare (de Setembro a Novembro de 2022). Contudo, a água bruta deve ser tratada antes da sua utilização no processo de produção, pois durante o período de monitoramento apresentou baixos teores de cloro residual (0,07 mg/L), elevada turvação (2,26 NTU) e presença de bactérias (9 UFC/mL) e pH básico (8,03).

Na ETA da Coca-Cola Matola-Gare a eficiência média da etapa de filtração com nanofiltros foi de 87, 91, 100, 99,9, 83, 91% para AT, TDS, turvação, SO₄²⁻, Cl⁻ e DT, respectivamente. Por outro lado, a eficiência das membranas de OR foi 100, 89, 100, 79, e 96% AT, TDS, SO₄²⁻, Cl⁻ e DT,

respectivamente. Entretanto, a eficiência global da fábrica atinge os 100% para os parâmetros AT, turvação e SO_4^{2-} e 99% para TDS, 97% para Cl^- e 99,6% para DT.

Os resultados dos testes estatísticos que a eficiência de redução dos parâmetros acima mencionados é significativamente (valor-p < 0,05) afectada pela variação dos processos de tratamentos, isto é, a qualidade da água bruta, a água tratada nos nanofiltros difere estatisticamente da água tratada nas membranas de OR. Contudo, a variação dos dias de tratamento não influencia na eficiência da fábrica (valor-p > 0,05) significando que a característica da água nos diferentes pontos da estação não varia significativamente durante o período de monitoramento. As águas rejeitadas (4230 $\text{m}^3/\text{mês}$) no processo de OR podem ser reutilizadas para a lavagem de garrafas o que representaria uma redução no consumo da água em 16% e índice de uso da água de 2,30 para 1,92 m^3 por m^3 de refrigerante produzido.

6.2. Recomendações

Considerando as conclusões obtidas no presente estudo e as limitações, recomenda-se:

- A utilização da água rejeitada depois do tratamento da água nas membranas de osmose reversa nas máquinas de lavagem de garrafas para a minimização do consumo de água na fábrica e optimização de custos de água;
- A realização de uma análise de custos e benefícios (CBA) e avaliação do ciclo de vida (LCA) para compreender quais são os impactos financeiros da reutilização de água que é rejeitada nas membranas de OR;
- A realização da análise da eficiência das etapas de floculação/coagulação, filtros de areia, carvão activado e abrandadores (SAC e SBA);
- A determinação de outros parâmetros químicos de interesse de saúde pública, como a presença de metais e a respectiva taxa de redução durante o tratamento da água;
- A determinação das concentrações de cloro, matéria orgânica (TOC) e trihalometanos totais (THMs) antes e depois dos filtros de carvão activado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Abdalla, A., Awad, H. K., Abush, E., Al-Imam, R. A. & Abdalla, A. M. S. (2020). Evaluation the physicochemical and microbial parameters of water used in soft drinks (according to SSMO and WHO). *International Journal of Academic Multidisciplinary Research*, 4(7), 32–38.
2. Abdel-Fatah, M. A., Sherif, H. O. & Hawash, S. I. (2017). Design parameters for waste effluent treatment unit from beverages production. *Ain Shams Engineering Journal*, 8(3), 305–310.
3. Alkaya, E. & Demirer, G. N. (2015). Water recycling and reuse in soft drink/beverage industry: A case study for sustainable industrial water management in Turkey. *Resources, Conservation and Recycling*, 104, 172–180. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2015.08.011>
4. Ally, Y. (2015). *Reduction of the environmental impact of a soft drink manufacturing plant*. Master dissertation in Chemical Engineering. University of KwaZulu-Natal. Durban. 155 pp.
5. Andres Junior, D. A. (2015). *Tratamento de águas residuais de indústrias de bebidas utilizando tratamento convencional e processos de separação com membranas*. Dissertação de mestrado em Engenharia de Alimentos. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões. Rio Grande do Sul. 80 pp.
6. Baker, R. W. (Richard W. (2012). *Membrane technology and applications*. 3rd edition, John Wiley & Sons. New Jersey, USA.
7. Bertelli, C., Courtois, S., Rosikiewicz, M., Piriou, P., Aeby, S., Robert, S., Loret, J-F. & Greub, G. (2018). Reduced chlorine in drinking water distribution systems impacts bacterial biodiversity in biofilms. *Frontiers in Microbiology*, 9, 1–11.
8. Boguniewicz-Zabłocka, J., Capodaglio, A. G. & Vogel, D. (2017). Analysis of wastewater treatment efficiency in a soft drinks industry. In: *E3S Web of Conferences*. Dublin, Ireland, 4–8 September 2017. EMS Annual Meeting: European Conference for Applied Meteorology and Climatology. 1–6.
9. Bondy, S. C. & Campbell, A. (2018). Water quality and brain function. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 15(2), 1–13.
10. Braga, F. P. (2014). *Avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de água do Município de Juiz de Fora*. Tese de Licenciatura em Engenharia Química. Universidade Federal de Alagoas. Maceió. 44 pp.

11. Cahoon, L. B. (2019). Water purification: Treatment of microbial contamination, Chapter 15. In S. Ahuja (ed.), *Advances in water purification techniques: Meeting the needs of developed and developing countries*, Elsevier Inc. Amsterdam. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00015-6>
12. Chaudhary, V. (2018). Soft carbonated beverages. In D. Mudgil & S. Barak (Eds.), *Beverages Processing and Technology*. Scientific Publishers. Delhi, India. 90–111 pp.
13. Coca-Cola. (2021). *Procedimento geral de tratamento de água*. The Coca-Cola Company. Maputo. Moçambique.
14. da Cunha, B. J. C. (2019). *Análise de viabilidade técnica da conservação de água no ciclo produtivo de indústria de refrigerante*. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil. Instituto de Tecnologia, Universidade Federal do Pará. Belém. 135 pp.
15. Darkwah, G., Brewoo, G. A., Barimah, J., Sampson, G. O. & Abe-Inge, V. (2020). Quality assessment of some selected locally produced and marketed soft drinks in Ghana. *Scientific African*, 8,1–10. <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2020.e00341>
16. de Siqueira, C. G., Lima, T. M. & Dos Santos, M. (2022). Potabilidade da água de poços artesianos em comunidades rurais do agreste sergipano. *Águas Subterrâneas*, 35(3), 1–9.
17. Diploma Ministerial n° 180/2004 de 15 de Setembro. Regulamento sobre a Qualidade da Água para o Consumo Humano. *Boletim da República n° 37 – I Serie*. Ministério da Saúde. Maputo. Moçambique.
18. Doosti, M. R., Kargar, R. & Sayadi, M. H. (2012). Water treatment using ultrasonic assistance: A review. *Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, Hong Kong*, 2(2).
19. Ferreira, D., Morabito, R. & Rangel, S. (2009). Solution approaches for the soft drink integrated production lot sizing and scheduling problem. *European Journal of Operational Research*, 196(2), 697–706. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2008.03.035>.
20. Gad, S. C. (2023). Trihalomethanes. In *Reference Module in Biomedical Sciences*. Academic Press. Oxford, UK. 849–851 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-814790-0.00015-6>.
21. Gad, S. C. & Pham, T. (2014). Trihalomethanes. In *Encyclopedia of toxicology*. 3rd Edition, Academic Press. Oxford, UK. 849–851 pp.
22. Hao, X., Gao, S., Tian, J., Sun, Y., Cui, F. & Tang, C. Y. (2019). Calcium-carboxyl intrabridging during interfacial polymerization: A novel strategy to improve antifouling performance of thin

- film composite membranes. *Environmental Science & Technology*, 53(8), 4371–4379. <https://doi.org/10.1021/acs.est.8b05690>.
23. Haroon, H., Waseem, A. & Mahmood, Q. (2013). Treatment and reuse of wastewater from beverage industry. *Journal of the Chemical Society of Pakistan*, 35(1), 5–10.
24. Holcomb, D. A., Knee, J., Sumner, T., Adriano, Z., de Bruijn, E., Nalá, R., Cumming, O., Brown, J. & Stewart, J. R. (2020). Human fecal contamination of water, soil, and surfaces in households sharing poor-quality sanitation facilities in Maputo, Mozambique. *International Journal of Hygiene and Environmental Health*, 226(1), 1–15.
25. Hsine, E., Benhammou, A. & Pons, M. N. (2005). Water resources management in soft drink industry-water use and wastewater generation. *Environmental Technology*, 26(12), 1309–1316.
26. Indika, S., Wei, Y., Hu, D., Ketharani, J., Ritigala, T., Cooray, T., Hansima, M. A. C. K., Makehelwala, M., Jinadasa, K. B. S. N., Weragoda, S. K. & Weerasooriya, R. (2021). Evaluation of performance of existing ro drinking water stations in the north central Province, Sri Lanka. *Membranes*, 11(6), 1–24. <https://doi.org/10.3390/membranes11060383>.
27. Jahagirdar, S. S., Patki, V. K., Thavare, R. M., Somdutta Patil, M. & Rangrej, M. S. (2015). Comparative study of water quality parameters of different brands of soft drinks. *IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering*, 23(2), 142–149.
28. Junior, D. A. A., Oro, C. E. D., Dos Santos, M. S. N., Dallago, R. M. & Tres, M. V. (2021). Integration of improved methods for the treatment of wastewater from a soft drink industry. *Biointerface Research in Applied Chemistry*, 11(5), 12946–12957.
29. Kregiel, D. (2015). Health safety of soft drinks: Contents, containers, and microorganisms. In *BioMed Research International*, 2015, 1–15. <https://doi.org/10.1155/2015/128697>.
30. Li, D. & Liu, S. (2019). Detection of River Water Quality. In *Water Quality Monitoring and Management*. Academic Press. Oxford, UK. 211–220 pp.
31. Liu, Q., Zhou, Y., Lu, J. & Zhou, Y. (2020). Novel cyclodextrin-based adsorbents for removing pollutants from wastewater: A critical review. *Chemosphere*, 241, 1–16.
32. Manchisi, J., Matinde, E., Rowson, N. A., Simmons, M. J. H., Simate, G. S., Ndlovu, S. & Mwewa, B. (2020). Iron making and steel making slags as sustainable adsorbents for industrial effluents and wastewater treatment: A Critical Review of Properties, Performance, Challenges and Opportunities. *Sustainability*, 12(5), 2118. <https://doi.org/10.3390/su12052118>

33. Mao, N. (2016). Nonwoven fabric filters. In *Advances in Technical Nonwovens*. Academic Press, Oxford, UK. 273–310 pp. <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-100575-0.00010-3>
34. Mareddy, A. R. (2017). Impacts on water environment. In *Environmental Impact Assessment*. Butterworth-Heinemann, Oxford. 217-248 pp.
35. Mittal, M. & Chaudhary, R. (2018). Experimental study on the water absorption and surface characteristics of alkali treated pineapple leaf fibre and coconut husk fibre. *International Journal of Applied Engineering Research*, 13(15), 12237–12243.
36. Mutatisse, C., Scarlet, M. P., Bandeira, S., Mubai, M., Gulamussen, N. & Campira, J. (2022). *Assessment of pollution in mozambique: Evidence report*. Eduardo Mondlane University, Maputo, Mozambique.
37. Naceradska, J., Pivokonska, L. & Pivokonsky, M. (2015). On the importance of pH value in coagulation. *Journal of Water Supply: Research and Technology – AQUA*, 68(3), 222– 230.
38. Nir, O., Bishop, N. F., Lahav, O. & Freger, V. (2015). Modeling pH variation in reverse osmosis. *Water Research*, 87, 328–335. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2015.09.038>
39. Nir, O. & Lahav, O. (2013). Coupling mass transport and chemical equilibrium models for improving the prediction of SWRO permeate boron concentrations. *Desalination*, 310, 87–92.
40. Park, Y. J. & Chen, J. (2009). Microbial quality of soft drinks served by the dispensing machines in fast food restaurants and convenience stores in Griffin, Georgia, and surrounding areas. *Journal of Food Protection*, 72(12), 2607–2610.
41. Prajapati, A. K. & Mondal, M. K. (2019). Hazardous As(III) removal using nanoporous activated carbon of waste garlic stem as adsorbent: Kinetic and mass transfer mechanisms. *Korean Journal of Chemical Engineering*, 36(11), 1900–1914.
42. Rashid, R., Shafiq, I., Akhter, P., Iqbal, M. J. & Hussain, M. (2021). A state-of-the-art review on wastewater treatment techniques: the effectiveness of adsorption method. *Environmental Science and Pollution Research*, 28(8), 9050–9066.
43. Ribeiro, C. R. C. (2017). *Validação de métodos analíticos: determinação da turvação e da clorofila a em águas*. Tese de Mestrado em Técnicas de Caracterização e Análise Química. Escola de Ciências - Universidade do Minho, Braga. 129 pp.
44. Ribeiro, T. I. B. (2011). *Desenvolvimento de um novo conceito de refrigerante*. Tese de Mestrado em Tecnologia e Segurança Alimentar – Qualidade Alimentar. Faculdade de Ciências e Tecnologia - Universidade Nova de Lisboa, Lisboa. 129 pp.

45. Rodrigues, D. S., Lima, M. G. de S. & Feitosa, K. D. (2011). Qualidade de água para produção de refrigerantes. *26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Brasil.
46. Samsami, S., Mohamadizani, M., Sarrafzadeh, M.-H., Rene, E. R. & Firoozbahr, M. (2020). Recent advances in the treatment of dye-containing wastewater from textile industries: Overview and perspectives. *Process Safety and Environmental Protection*, *143*, 138–163.
47. Sánchez-Martín, J., Beltrán-Heredia, J. & Peres, J. A. (2012). Improvement of the flocculation process in water treatment by using *Moringa oleifera* seeds extract. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, *29*(3), 495–501.
48. Scarborough, P., Adhikari, V., Harrington, R. A., Elhussein, A., Briggs, A., Rayner, M., Adams, J., Cummins, S., Penney, T. & White, M. (2020). Impact of the announcement and implementation of the UK soft drinks industry levy on sugar content, price, product size and number of available soft drinks in the UK, 2015-19: A controlled interrupted time series analysis. *PLoS Medicine*, *17*(2), 1–19.
49. Seefelder, W. & Stadler, R. H. (2018). Analysis of halogenated disinfection byproducts in water. In *Reference Module in Chemistry, Molecular Sciences and Chemical Engineering*. Academic Press. Oxford, UK. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-409547-2.13936-8>
50. Shabangu, K. P., Bakare, B. F. & Bwapwa, J. K. (2022). The Treatment effect of chemical coagulation process in south african brewery wastewater: Comparison of polyamine and aluminum-chlorohydrate coagulants. *Water (Switzerland)*, *14*(16), 1–9.
51. Statista. (2023). *Soft drinks - worldwide*. Acedido em 20 de Setembro de 2023, de <https://www.statista.com/outlook/cmo/non-alcoholic-drinks/>
52. Tahmassebi, J. F. & BaniHani, A. (2020). Impact of soft drinks to health and economy: a critical review. *European Archives of Paediatric Dentistry*, *21*(1), 109–117.
53. Victoria-Salinas, R. E., Martínez-Miranda, V., Linares-Hernández, I., Vázquez-Mejía, G., Castañeda-Juárez, M. & Almazán-Sánchez, P. T. (2019). Pre-treatment of soft drink wastewater with a calcium-modified zeolite to improve electrooxidation of organic matter. *Journal of Environmental Science and Health - Part A Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering*, *54*(7), 617–627. <https://doi.org/10.1080/10934529.2019.1579522>.
54. Wang, Y., Ju, L., Xu, F., Tian, L., Jia, R., Song, W., Li, Y. & Liu, B. (2020). Effect of a nanofiltration combined process on the treatment of high-hardness and micropolluted water. *Environmental Research*, *182*, 109063. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.109063>.

55. WHO. (2011). *Guidelines for drinking-water quality*. World Health Organization. Geneva, Switzerland.
56. Williams, S. N. (2014). The growth of the soft drinks industry in middle-income countries: current trends and policy implications in China and India. *Perspectives in Public Health*, 134(4), 198–199. <https://doi.org/10.1177/1757913914538142>.
57. WMStrategy. (2022). *Mozambique: carbonated soft drinks market analysis, size, Trends, Consumption, Opportunities, Challenges and Forecast*. Williams & Marshall Strategy. Acedido em 20 de Setembro de 2023, em: <https://www.wm-strategy.com/mozambique-carbonated-soft-drinks-market-market-analysis-size-trends-consumption-insights-opportunities-challenges-and-forecast-until-2023>.
58. Wong, S., Ghafar, N. A., Ngadi, N., Razmi, F. A., Inuwa, I. M., Mat, R. & Amin, N. A. S. (2020). Effective removal of anionic textile dyes using adsorbent synthesized from coffee waste. *Scientific Reports*, 10(1), 1–13. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60021-6>
59. Xue, F., Tang, J., Dong, Z., Shen, D., Liu, H., Zhang, X. & Holden, N. M. (2018). Temporal-spatial controls of total coliform and E. coli contamination in a subtropical hilly agricultural catchment. *Agricultural Water Management*, 200, 10–18.
60. Yang, C., Xu, W., Nan, Y., Wang, Y., Hu, Y., Gao, C. & Chen, X. (2020). Fabrication and characterization of a high-performance polyimide ultrafiltration membrane for dye removal. *Journal of Colloid and Interface Science*, 562, 589–597.
61. Yang, J., Hou, B., Wang, J., Tian, B., Bi, J., Wang, N., Li, X., & Huang, X. (2019). Nanomaterials for the removal of heavy metals from wastewater. *Nanomaterials*, 9(3), 424–434.
62. Yohannes, M. F., & Matsuda, T. (2015). Demand analysis of non-alcoholic beverages in Japan. *Journal of Agricultural Science*, 7(5), 1–12. <https://doi.org/10.5539/jas.v7n5p143>
63. Zewdu, Z. T. (2013). Assessment and comparison of new and old carbon filters for contaminants removal: Antwerp Coca Cola plant, Belgium. *Momona Ethiopian Journal of Science*, 5(1), 1–8.
64. Zheng, M., He, C. & He, Q. (2015). Fate of free chlorine in drinking water during distribution in premise plumbing. *Ecotoxicology*, 24, 2151–2155. <https://doi.org/10.1007/s10646-015-1544-3>

65. Zhou, X., Wang, Z., Epsztein, R., Zhan, C., Li, W., Fortner, J. D., Pham, T. A., Kim, J.-H., & Elimelech, M. (2020). Intrapore energy barriers govern ion transport and selectivity of desalination membranes. *Science Advances*, 6(48), 1–14.
66. Zhu, Z., Liu, D., Cai, S., Tan, Y., Liao, J., & Fang, Y. (2020). Dyes removal by composite membrane of sepiolite impregnated polysulfone coated by chemical deposition of tea polyphenols. *Chemical Engineering Research and Design*, 156, 289–299.

ANEXOS

ANEXO A. Caracterização das amostras de água

Anexo A1. Resultados para água bruta

Tabela A-1. Resultados das análises físico-químicas da AB

Amostra	Data	pH	AT (mg/L)	CE (μ S/cm)	TDS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Turvação (NTU)	DT (mg/L)	Cl ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
AB-1	9/5/2022	8,75	70	169	112,67	41	1,96	39	0,08	30
		8,74	69	169	112,67	39	1,96	35	0,08	30
		8,73	71	169	112,67	40	1,96	37	0,06	30
AB-2	9/12/2022	8,85	61	140,7	97,80	39	1,78	50	0,07	29
		8,90	61	140,5	97,67	40	1,76	50	0,06	30
		8,80	61	140,9	97,93	38	1,7	50	0,06	29
AB-3	9/19/2022	8,08	65	124,6	93,07	38	2,58	50	0,08	28
		8,06	67	124,2	92,80	39	2,56	49	0,08	27
		8,10	66	124,4	92,93	39	2,57	50	0,08	27
AB-4	9/27/2022	7,63	62	138	92,00	39	1,57	50	0,06	30
		7,61	61	139	92,67	40	2,24	49	0,07	30
		7,62	62	137	91,33	39	2,21	51	0,06	29
AB-5	10/3/2022	7,96	60	147,1	98,07	37	2,79	50	0,08	28
		7,95	60	146,9	97,93	38	1,75	51	0,07	28
		7,97	60	147	98,00	38	1,77	52	0,07	27
AB-6	10/10/2022	7,97	60	140	93,33	39	2,07	49	0,07	30
		7,98	62	140	93,33	40	2,03	49	0,08	30
		7,96	64	140	93,33	40	2,05	49	0,08	30
AB-7	10/17/2022	8,69	61	141	94,00	40	2,75	47	0,06	30
		8,69	60	141	94,00	40	1,76	46	0,06	29
		8,69	59	141	94,00	39	2,75	48	0,06	29
AB-8	10/24/2022	8,19	63	150	100,00	39	2,28	45	0,07	30
		8,20	64	148	98,67	38	2,28	46	0,06	29
		8,18	65	149	99,33	38	2,28	47	0,08	29
AB-9	11/7/2022	7,78	66	146	97,33	41	2,42	50	0,06	30
		7,72	66	142	94,67	39	2,41	49	0,07	30
		7,75	65	144	96,00	39	2,43	48	0,07	29
AB-10	11/14/2022	7,50	61	139	92,67	40	3,09	46	0,07	28
		7,52	62	138	92,00	40	3,08	44	0,08	30
		7,48	60	140	93,33	41	3,09	42	0,08	29
AB-11	11/21/2022	7,52	66	152	101,33	39	2,12	50	0,07	28
		7,50	67	152	101,33	38	2,12	48	0,06	28
		7,52	68	152	101,33	39	2,12	46	0,08	29
AB-12	11/28/2022	7,53	57	151	100,67	39	2,32	50	0,06	30
		7,55	56	153	102,00	38	2,29	52	0,06	30
		7,54	55	152	101,33	39	2,35	54	0,06	30

Anexo A2. Resultados para água tratada com nanofiltros

Tabela A-2. Resultados das análises físico-químicas da ATNF

Amostras	Data	pH	AT (mg/L)	CE (μ S/cm)	TDS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Turvação (NTU)	DT (mg/L)	Cl ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
ATNF-1	9/5/2022	6,82	7,48	11,30	8,53	0,03	0,00	4,00	0,00	4,80
		6,77	7,53	11,20	8,47	0,03	0,00	4,00	0,00	5,00
		6,94	7,46	11,10	8,40	0,03	0,00	4,00	0,00	5,02
ATNF-2	9/12/2022	7,15	7,85	12,10	8,67	0,03	0,00	4,30	0,00	5,10
		7,18	7,85	12,10	8,67	0,03	0,00	4,32	0,00	5,10
		7,12	7,85	12,10	8,67	0,03	0,00	4,31	0,00	5,10
		7,05	7,25	15,20	10,13	0,03	0,00	4,08	0,00	4,50
ATNF-3	9/19/2022	7,06	7,25	15,00	10,00	0,03	0,00	4,09	0,00	4,80
		7,04	7,25	15,10	10,07	0,03	0,00	4,10	0,00	4,50
		6,55	6,72	14,30	8,53	0,03	0,00	4,01	0,00	5,70
ATNF-4	9/27/2022	6,53	6,73	14,50	8,67	0,03	0,00	3,99	0,00	5,70
		6,58	6,73	14,40	8,60	0,03	0,00	4,02	0,00	5,70
		7,43	8,46	11,80	8,87	0,03	0,00	4,60	0,00	4,80
ATNF-5	10/3/2022	7,47	8,46	11,80	8,87	0,03	0,00	4,58	0,00	4,80
		7,45	8,46	11,80	8,87	0,03	0,00	4,62	0,00	4,80
		6,75	7,85	14,80	9,87	0,02	0,00	5,00	0,00	4,70
ATNF-6	10/10/2022	6,79	7,85	14,80	9,87	0,03	0,00	5,00	0,00	4,68
		6,70	7,85	14,80	9,87	0,03	0,00	5,00	0,00	4,69
		7,16	9,38	11,60	7,73	0,03	0,00	4,72	0,00	4,78
ATNF-7	10/17/2022	7,18	9,37	11,40	7,60	0,03	0,00	4,70	0,00	4,78
		7,17	9,36	11,50	7,67	0,03	0,00	4,70	0,00	4,78
		6,98	8,30	12,12	8,78	0,03	0,00	4,10	0,00	4,60
ATNF-8	10/24/2022	6,95	8,27	12,80	8,53	0,03	0,00	4,11	0,00	4,60
		7,01	8,33	12,80	8,53	0,03	0,00	4,09	0,00	4,60
		6,92	7,45	11,20	8,47	0,03	0,00	4,00	0,00	5,02
ATNF-9	11/7/2022	7,10	7,55	11,20	8,47	0,03	0,00	3,75	0,00	5,01
		7,00	7,65	11,20	8,47	0,03	0,00	3,75	0,00	5,00
		7,04	7,75	12,90	8,60	0,03	0,00	4,01	0,00	4,70
ATNF-10	11/14/2022	6,99	7,75	12,80	8,53	0,03	0,00	4,01	0,00	4,70
		7,02	7,75	12,70	8,47	0,03	0,00	4,00	0,00	4,70
		7,60	8,49	11,40	8,60	0,03	0,00	4,91	0,00	5,10
ATNF-11	11/21/2022	7,59	8,47	11,60	8,73	0,03	0,00	4,92	0,00	5,10
		7,61	8,51	11,80	8,87	0,03	0,00	4,90	0,00	5,10
		7,02	7,40	11,60	8,73	0,03	0,00	4,05	0,00	5,30
ATNF-12	11/28/2022	7,03	7,52	11,60	8,73	0,03	0,00	4,07	0,00	5,30
		7,01	7,45	11,60	8,73	0,03	0,00	4,06	0,00	5,30

Anexo A3. Resultados para água tratada com osmose reversa

Tabela A-3. Resultados das análises físico-químicas da ATOR

Amostras	Data	pH	AT (mg/L)	CE (μ S/cm)	TDS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Turvação (NTU)	DT (mg/L)	Cl ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
ATOR-1	9/5/2022	6,13	0,00	1,36	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	2,32
		6,13	0,00	1,37	0,91	0,00	0,00	0,00	0,00	2,28
		6,13	0,00	1,35	0,90	0,00	0,00	0,00	0,00	2,30
ATOR-2	9/12/2022	6,21	0,00	1,70	1,13	0,00	0,00	0,21	0,00	1,90
		6,23	0,00	1,70	1,13	0,00	0,00	0,21	0,00	1,90
		6,25	0,00	1,70	1,13	0,00	0,00	0,21	0,00	1,90
ATOR-3	9/19/2022	7,09	0,00	1,41	0,94	0,00	0,00	1,14	0,00	1,73
		7,08	0,00	1,40	0,93	0,00	0,00	1,14	0,00	1,73
		7,07	0,00	1,42	0,95	0,00	0,00	1,14	0,00	1,73
ATOR-4	9/27/2022	7,13	0,00	1,79	1,19	0,00	0,00	0,75	0,00	1,67
		7,14	0,00	1,80	1,20	0,00	0,00	0,77	0,00	1,69
		7,15	0,00	1,79	1,19	0,00	0,00	0,76	0,00	1,68
ATOR-5	10/3/2022	6,96	0,00	1,41	0,94	0,00	0,00	2,11	0,00	1,41
		6,96	0,00	1,40	0,93	0,00	0,00	2,25	0,00	1,42
		6,96	0,00	1,40	0,93	0,00	0,00	2,25	0,00	1,43
ATOR-6	10/10/2022	6,91	0,00	1,29	0,86	0,00	0,00	0,01	0,00	1,65
		6,91	0,00	1,29	0,86	0,00	0,00	0,01	0,00	1,65
		6,91	0,00	1,29	0,86	0,00	0,00	0,01	0,00	1,65
ATOR-7	10/17/2022	7,14	0,00	1,07	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
		7,14	0,00	1,07	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
		7,15	0,00	1,07	0,71	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00
ATOR-8	10/24/2022	7,02	0,00	1,65	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,52
		7,02	0,00	1,65	1,10	0,00	0,00	0,00	0,00	1,53
		7,02	0,00	1,60	1,07	0,00	0,00	0,00	0,00	1,54
ATOR-9	11/7/2022	6,76	0,00	1,44	0,96	0,00	0,00	0,69	0,00	1,30
		6,74	0,00	1,45	0,97	0,00	0,00	0,68	0,00	1,32
		6,75	0,00	1,46	0,97	0,00	0,00	0,67	0,00	1,34
ATOR-10	11/14/2022	6,31	0,00	1,13	0,75	0,00	0,00	2,00	0,00	1,40
		6,31	0,00	1,13	0,75	0,00	0,00	2,00	0,00	1,43
		6,31	0,00	1,12	0,75	0,00	0,00	2,00	0,00	1,45
ATOR-11	11/21/2022	7,44	0,00	1,21	0,81	0,00	0,00	0,50	0,00	1,01
		7,44	0,00	1,21	0,81	0,00	0,00	0,53	0,00	1,01
		7,44	0,00	1,21	0,81	0,00	0,00	0,53	0,00	1,01
ATOR-12	11/28/2022	6,65	0,00	1,09	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96
		6,65	0,00	1,09	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96
		6,65	0,00	1,09	0,73	0,00	0,00	0,00	0,00	1,96

Anexo A3. Resultados para água rejeitada na osmose reversa

Tabela A-4. Resultados das análises físico-químicas da AROR

Amostra	Data	pH	AT (mg/L)	CE (μ S/cm)	TDS (mg/L)	SO ₄ ²⁻ (mg/L)	Turvação (NTU)	DT (mg/L)	Cl ₂ (mg/L)	Cl ⁻ (mg/L)
AROR-1	9/5/2022	8,63	130,00	305,00	203,33	87,00	0,03	200,00	0,03	50,00
		8,64	130,00	305,00	203,33	89,00	0,03	200,00	0,03	50,00
		8,75	128,00	305,00	203,33	85,00	0,03	201,00	0,03	50,00
AROR-2	9/12/2022	8,48	130,00	308,00	205,33	76,00	0,03	220,00	0,04	47,00
		8,46	130,00	308,00	205,33	81,00	0,03	220,00	0,04	47,00
		8,43	135,00	308,00	205,33	80,00	0,03	223,00	0,04	47,00
AROR-3	9/19/2022	7,98	150,00	324,00	216,00	84,00	0,03	208,00	0,04	45,00
		7,96	150,00	332,00	221,33	86,00	0,03	191,00	0,04	45,00
		8,01	150,00	328,00	218,67	87,00	0,03	174,00	0,04	46,00
AROR-4	9/27/2022	8,02	135,00	217,00	144,67	69,00	0,03	180,00	0,04	48,00
		7,98	140,00	292,00	194,67	73,00	0,04	175,00	0,03	46,00
		8,00	145,00	290,00	193,33	72,00	0,04	176,00	0,03	45,00
AROR-5	10/3/2022	8,42	125,00	309,00	206,00	75,00	0,04	209,00	0,04	50,00
		8,48	130,00	307,00	204,67	72,00	0,04	208,00	0,04	48,00
		8,46	130,00	306,00	204,00	73,00	0,04	207,00	0,03	50,00
AROR-6	10/10/2022	7,96	160,00	306,00	204,00	68,00	0,03	177,00	0,03	55,00
		7,94	160,00	307,00	204,67	68,00	0,03	175,00	0,04	55,00
		7,98	160,00	305,00	203,33	71,00	0,03	178,00	0,04	54,00
AROR-7	10/17/2022	8,24	155,00	321,00	214,00	70,00	0,04	165,00	0,03	45,00
		8,23	160,00	319,00	212,67	72,00	0,04	168,00	0,03	45,00
		8,26	160,00	322,00	214,67	69,00	0,04	167,00	0,03	45,00
AROR-8	10/24/2022	8,22	140,00	324,00	216,00	75,00	0,03	234,00	0,04	30,00
		8,25	140,00	324,00	216,00	74,00	0,03	235,00	0,03	50,00
		8,28	140,00	324,00	216,00	74,00	0,03	236,00	0,04	52,00
AROR-9	11/7/2022	8,28	138,00	265,00	176,67	75,00	0,03	192,00	0,03	52,00
		8,26	138,00	264,00	176,00	75,00	0,03	193,00	0,04	53,00
		8,30	138,00	262,00	174,67	73,00	0,03	191,00	0,04	51,00
AROR-10	11/14/2022	7,98	144,00	258,00	172,00	67,00	0,03	198,00	0,03	50,00
		8,04	144,00	254,00	169,33	65,00	0,04	191,00	0,04	55,00
		8,02	144,00	253,00	168,67	68,00	0,04	189,00	0,03	55,00
AROR-11	11/21/2022	8,46	140,00	274,00	182,67	82,00	0,04	178,00	0,04	47,00
		8,48	140,00	276,00	184,00	79,00	0,03	179,00	0,04	48,00
		8,43	140,00	273,00	182,00	75,00	0,03	180,00	0,04	49,00
AROR-12	11/28/2022	8,26	125,00	261,00	174,00	77,00	0,04	205,00	0,03	50,00
		8,24	128,00	261,00	174,00	74,00	0,04	207,00	0,03	50,00
		8,30	125,00	261,00	174,00	76,00	0,04	208,00	0,03	48,00

ANEXO B. Padrões de potabilidade

Tabela B-1. Parâmetros físico-químicos e microbiológicos de qualidade da água para consumo humano

Parâmetros	VMA	Unidades	Risco à saúde pública
Parâmetros microbiológicos			
Coliformes totais	Ausente	NMP/100 mL	Doenças gastrointestinais
Coliformes fecais	Ausente	NMP/100 mL	
Parâmetros físicos			
Condutividade	50-2000	µS/cm	-
pH	6,5-8,5	-	Sabor, corrosão, irritação da pele
TDS	1000	mg /L	Sabor, corrosão
Turvação	5	NTU	-
Parâmetros Químicos			
Cloretos	250	mg /L	Sabor desagradável e corrosão
Cloro Residual Total	0,2-0,5	mg /L	Sabor e cheiro desagradável
Dureza Total	500	mg /L	Depósitos, corrosão e espumas
Alcalinidade total	250	mg/L	Sabor desagradável e corrosão
Sulfatos	250	mg/L	Sabor e cheiro desagradável

Fonte: Diploma Ministerial n° 180/2004 de 15 de Setembro, adaptado

ANEXO C. Fórmulas de cálculos de parâmetros estatísticos

Tabela C-1. Fórmulas de cálculo dos parâmetros estatísticos

PARÂMETRO	FÓRMULA	LEGENDA
Desvio padrão (s)	$s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n - 1}}$	\bar{x} – resultado médio de x x_i – valor individual de x n – número de réplicas s – desvio padrão
Desvio padrão relativo (RSD)	$RSD = \frac{s}{\bar{x}} \times 100\%$	\bar{x} – resultado médio de x s – desvio padrão RSD – desvio padrão relativo