



**Universidade Politécnica
A POLITÉCNICA**

INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO EFLUENTE LÍQUIDO
INDUSTRIAL DESCARTADO PELA FÁBRICA MOZAL NO RIO
MATOLA**

Candidato:

Jair Pereira Loforte

Supervisor:

Virgílio A. Livele, Msc.

Maputo, outubro de 2023

INSTITUTO SUPERIOR DE GESTÃO CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LICENCIATURA EM ENGENHARIA AMBIENTAL

Jair Pereira Loforte

**AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DO EFLUENTE LÍQUIDO
INDUSTRIAL DESCARTADO PELA FÁBRICA MOZAL NO RIO
MATOLA**

Supervisor: Virgílio A. Livele, Msc.

Monografia apresentada à Escola Superior de Gestão, Ciências e Tecnologias de Maputo da universidade Politécnica (A Politécnica) como requisito final para a obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Ambiental.

Maputo, outubro de 2023

*Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica
Mozal no rio Matola*

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aos ____ de _____ de _____ a presente Monografia foi apresentada, numa defesa pública, na qual lavrou-se uma Acta onde consta que o autor foi aprovado com a classificação de ____ valores, feita pelos seguintes Membros do Júri:

O Presidente:

O Supervisor:

O/A Arguente/Oponente

Maputo, aos ____ de _____ de _____

**PARECER DO SUPERVISOR SOBRE O TRABALHO DE LICENCIATURA DO
ESTUDANTE FINALISTA JAIR PEREIRA LOFORTE**

Trabalho de conclusão de curso apresentada à Universidade Politécnica – A Politécnica como parte dos requisitos de obtenção do grau de Licenciatura em Engenharia Ambiental

O candidato Jair Pereira Loforte, estudante finalista do curso de Licenciatura em Engenharia Ambiental nesta Universidade, realizou o seu trabalho final sob o tema: Avaliação da Qualidade do Efluente Líquido Industrial Descartado Pela Fábrica Mozal no Rio Matola, tendo mostrado domínio do mesmo desde a concepção do projecto até a monografia que hoje se candidata para defesa.

O tema é oportuno e relevante para a área de Engenharia Ambiental e sector de indústrias, sob ponto de vista de sustentabilidade ambiental do processo produtivo.

O trabalho desenvolvido adotou uma estrutura segundo as normas de escrita e apresentação de trabalhos de fim de curso universidade, aplicou metodologia adequada para o alcance do objectivo pré-definido, e os resultados, conclusões e recomendações estão claros e com utilidade para a ciência, ramo profissional de interesse, e à sociedade no geral. Assim, eu, Mestre Virgílio António Livele, seu supervisor, aprecio positivamente e recomendo a submissão do relatório do trabalho para a defesa pública conforme as normas da Universidade Politécnica.

O Supervisor

Virgílio A. Livele, Msc

Maputo, outubro de 2023

DECLARAÇÃO DE HONRA

Eu, **Jair Pereira Loforte**, declaro por minha hora que esta monografia nunca foi apresentada para a obtenção de qualquer grau acadêmico e que a mesma foi realizada exclusivamente por mim, e é submetida de acordo com os requisitos e exigências para a obtenção do grau de licenciatura na Universidade Politécnica – A Politécnica.

Assinatura:

Jair Pereira Loforte

Data ___ / ___ / _____

DEDICATÓRIA

Este trabalho dedico de todo o meu coração à minha família, ao meu querido pai Augusto Caffiano Loforte, a minha querida esposa Ligina Felipe Manjate e aos meus amados filhos Yuri Loforte, Wesley Loforte e Warren Loforte por tudo que fazem por mim a cada dia.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro agradecer ao meu DEUS todo poderoso pela força, coragem, suporte e proteção durante o percurso que trilhei nesses anos de academia e na minha vida diária. À Ele sou grato de todos os dias.

Agradecer neste espaço ao meu ilustre supervisor Virgílio A. Livele (Msc) por me dar a oportunidade primeiramente de poder trabalhar ao seu lado e também por acreditar no meu potencial. Pelas orientações e pela paciência depositada em mim, eu agradeço.

À Emma Abacar e ao Sigauque pela orientações e instruções durante a execução laboratorial do presente trabalho. Pela paciência que tiveram comigo durante este processo, agradeço.

Aos meus chefes, Arlindo Langa (em memória) e Sérgio Tivane, que tanto contribuíram para a minha permanência no mundo acadêmico, e pelas inúmeras palavras de motivação que me forneceram, a vos sou grato.

Aos meus colegas da academia Chanila e João directamente me acompanharam neste percurso, pelos momentos tristes e bons que partilhamos juntos durante os estudos, à eles devo um imenso agradecimento.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

RESUMO

As águas residuais industriais são sempre uma questão prioritária para a proteção do meio ambiente. Elas devem ser consideradas como os componentes mais significativos dos programas de gestão da qualidade da água. O presente trabalho tem como objectivo avaliar a qualidade do efluente líquido industrial descartado pela Mozal no rio Matola.

As amostras foram colhidas na fábrica da Mozal, concretamente em 2 pontos específicos, a nomear: a entrada do efluente para a diluição (*Inlet*) e a saída do efluente da diluição (*Outlet*). As amostras foram colhidas por duas vezes, separadas em duas semanas, onde depois das colheitas foram encaminhadas para análise na SwissLab. Foram analisados os parâmetros físico-químicos em cada lote das amostras. Para o primeiro lote obtiveram-se os seguintes valores: pH de 8.39, DQO de 70mg/L, STS de 40 mg/L, Fluoreto de 2,85 mg/L, Al < 0.006 (LQ), Hg < 0.001 (LQ), Óleos e graxas <1.0 (LQ), Cloro livre < 0.01 (LQ) e temperatura de 23.7 °C, isto no ponto de saída do efluente. E para o segundo lote: pH de 7.91, DQO de 106 mg/L, STS de 60 mg/L, Fluoreto de 7.38 mg/L, Alumínio 0.01 mg/L, Hg 1.54, Óleos e graxas <1.0 (LQ), Cloro livre 0.04 e temperatura de 24.5 °C, isto no ponto de saída do efluente. Confrontando os valores obtidos laboratorialmente com os valores padronizados em Moçambique, se percebeu que a maioria das características dos efluentes da Mozal estão dentro dos limites estabelecidos para a descarga.

Palavras-chaves: Efluentes Industriais, Qualidade, Legislação, Mozal

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

ABSTRACT

Industrial wastewater is always a priority issue for the protection of the environment. They should be considered as the most significant components of water quality management programs. The present work aims to evaluate the quality of the industrial liquid effluent discarded by Mozal in the Matola River.

The samples were collected at the Mozal Smelter, specifically at 2 specific points, to be named: entry of the effluent for dilution (*Inlet*) and the exit of the dilution effluent (*Outlet*). The samples were collected twice, separated by two weeks, where after the collections they were sent for analysis at SwissLab. The physical-chemical parameters were analyzed in each batch of samples. For the first batch, the following values were obtained: pH 8.39, COD 70mg/L, STS 40 mg/L, Fluoride de 2.85 mg/L, Al < 0.006 (LQ), Hg < 0.001 (LQ), Oils and greases <1.0 (LQ), Free chlorine < 0.01 (LQ) and temperature of 23.7 °C, this at the Outlet. And for the second batch: pH 7.91, COD 106 mg/L, STS 60 mg/L, Fluoride 7.38 mg/L, Aluminum 0.01 mg/L, Hg 1.54, Oils and greases <1.0 (LQ), Free chlorine 0.04 and temperature of 24.5 °C, this at the Outlet. Comparing the values obtained in the laboratory with the values standardized in Mozambique, it was noticed that most of the characteristics of Mozal's effluents are within the limits established for discharge.

Keywords: Industrial Effluents, Quality, Legislation, Mozal.

ÍNDICE

	Página
DECLARAÇÃO DE HONRA.....	iii
DEDICATÓRIA.....	iv
AGRADECIMENTOS	v
RESUMO.....	vi
ABSTRACT.....	vii
CAPÍTULO I	1
1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Delimitação do tema.....	2
1.2. Problema.....	2
1.3. Justificativa.....	3
1.4. Objectivos.....	4
1.4.1. Objectivo Geral.....	4
1.4.2. Objectivos Específicos	4
1.5. Pergunta de pesquisa	4
1.5.1. Questões de apoio à investigação	4
1.6. Hipóteses de Pesquisa	5
CAPÍTULO II.....	5
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	5
2.1. Efluentes Industriais.....	6
2.1.1. Historial dos Efluentes Industriais	7
2.1.2. Efluentes Industriais e a Poluição Ambiental	8
2.1.3. Tipos de efluentes industriais.....	9
Poluentes	12
2.2. Estudo das características e qualidade dos efluentes	12
2.2.1. Características dos efluentes industriais	13

2.3.	Legislação Ambiental.....	21
2.4.	A necessidade de tratamento dos efluentes	22
2.5.	Tratamento de Efluentes Industriais.....	24
2.5.1.	Classificação dos processos de tratamento de Efluentes Industriais	24
2.5.2.	Tipos de Tratamento de Efluentes Industriais.....	27
2.5.3.	Tratamento de efluentes usado na Mozal.....	31
2.6.	Impacto dos Efluentes Industriais no meio ambiente.....	31
2.6.1.	Impactos dos Efluentes Industriais nos corpos de água (Hidrosfera).....	32
2.6.2.	Impactos dos Efluentes Industriais nos solos (Litosfera)	33
2.6.3.	Impactos dos Efluentes Industriais no ar (Atmosfera).....	34
2.6.4.	Impactos dos Efluentes Industriais nos Humanos e seu Ecossistema.....	34
2.7.	A Mozal.....	36
2.8.	Metodologias.....	37
2.8.1.	Métodos científicos.....	38
2.8.2.	Métodos que proporcionam as bases lógicas da investigação	38
2.8.3.	Métodos que indicam os meios técnicos da investigação	38
2.9.	Pesquisa científica	39
2.9.1.	Quanto à abordagem	39
2.9.2.	Quanto à natureza	40
2.9.3.	Quanto aos objectivos	40
2.9.4.	Quanto aos procedimentos.....	40
CAPÍTULO III.....		41
3.	METODOLOGIAS DO TRABALHO.....	41
3.1.	Amostragem e Área de estudo	41
3.2.	Recolha e conservação das amostras.....	41
3.3.	Local da realização das análises.....	42
3.4.	Parâmetros de análise	42

CAPÍTULO IV.....	43
4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	43
4.1. Apresentação dos resultados	43
4.2. Discussão dos resultados	44
4.2.1. O pH.....	45
4.2.2. A Demanda Química de Oxigênio	47
4.2.3. Sólidos Totais Suspensos	48
4.2.4. Temperatura	50
4.2.5. Fluoreto	50
4.2.6. Clore livre	52
4.2.7. Mercúrio.....	52
4.2.8. Alumínio	53
4.2.9. Óleos e graxas	53
4.3. Validação das hipóteses.....	54
CAPÍTULO V.....	55
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	55
5.1. Conclusões	55
5.2. Recomendações.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	57

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Página
Gráficos 1. Gráfico de comparação dos valores de pH das amostras do lote 1.	46
Gráficos 2. Gráfico de comparação dos valores de pH das amostras do lote 2.	46
Gráficos 3. Gráfico de comparação dos valores de DBO das amostras do lote 2.....	47
Gráficos 4. Gráfico de comparação dos valores de Fluoretos das amostras do lote 1.	51
Gráficos 5. Gráfico de comparação dos valores de Fluoreto das amostras do lote 2.....	51

ÍNDICE DE TABELAS

	Página
Tabela 1. Poluentes da água por sector industrial.	12
Tabela 2. Resultados da primeira amostragem.....	43
Tabela 3. Resultados da segunda amostragem.	44

ÍNDICE DE FIGURAS

	Página
Figura 1. Esquema de composição dos sólidos. Fonte: Giordano (2004).....	14
Figure 2. Descarga de águas residuais industriais não tratadas em um rio.	19
Figure 3. Grade de contenção de uma estação de tratamento.	25
Figure 4. Peneira rotiva.	26
Figure 5. Processos e operações de tratamento de efluentes industriais.	28
Figure 6. Exemplo de triagens coletadas em uma prateleira limpa manualmente.....	29
Figure 7. Planta de lodo ativado para tratamento de esgoto.	30
Figure 8. Visão geral da fábrica da Mozal.	36
Figure 9. Recolha das amostras em diferentes pontos: (a) entrada do efluente não tratado; (b) saída do efluente tratado; (c) efluente em contacto com o corpo receptor.....	42
Figure 10. Amostras conservadas no coleman.	42

GLOSSÁRIO DE ABREVIATURAS E ACRÓNIMOS

As – Arsênio;

Ca – Cálcio;

Cd – Cádmió;

CN⁻ - Ião cianeto;

CO – Monóxido de carbono;

COV – Compostos orgânicos voláteis;

CO₂ – Dióxido de carbono;

Cr – Crômio;

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;

DQO – Demanda Química de Oxigênio;

DO – Demanda de Oxigênio;

Fe – Ferro;

Hg – Mercúrio;

IDC – Corporação Internacional para o Desenvolvimento;

K – Potássio;

LQ – Limite de Quantificação;

MeHg – Metil mercúrio;

mg/L – Miligramas por Litro;

Mg – Magnésio;

Mn – Manganês;

mm – Milímetro;

Mo – Molibdênio;

Na - Sódio

NH₃ – Amoníaco;

Ni – Níquel;

NH₄⁺ - Ião amônio;

O₂ – Oxigênio;

OMS – Organização Mundial da Saúde;

*Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica
Mozal no rio Matola*

PAH – Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos;

Pb – Chumbo;

pKa – Logaritmo da constante dos ácidos;

Se – Selênio;

SS – Sólidos Suspensos;

STD – Sólidos Totais Dissolvidos;

STS – Sólidos Totais Suspensos;

V – Vanádio;

Z – Zinco.

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO

É notório o crescimento ascendente do sector industrial em Moçambique, pois esta de certa forma contribui bastante para a economia dentro do país. No entanto, este crescimento é acompanhado de alguns problemas que advêm do funcionamento das mesmas. O destaque central vai para o descarte mal efectuado do material pós uso destas indústrias, que por vezes acabam por não obedecer os padrões legais estabelecido dentro do país.

Com o rápido desenvolvimento de várias indústrias, uma enorme quantidade de água é utilizada como matéria-prima, como meio de produção (água de processo) e para fins de resfriamento. Muitos tipos de matérias-primas, produtos intermediários e resíduos são trazidos para a água quando a água passa pelo processo industrial (Hanchang, 2009).

Os efluentes líquidos ao serem despejados com os seus poluentes característicos causam a alteração de qualidade nos corpos receptores e conseqüentemente a sua poluição (degradação) (Giordano, 2004), e como salientado por (Kanu, Ijeoma & Achie, 2011), o problema mais crítico dos países em desenvolvimento é a gestão inadequada dessas quantidades de resíduos gerados por estas actividades, e isso muitas vezes torna os recursos naturais (águas dos rios) inadequados para uso primário e/ou secundário (uso das águas dos rios/lagos para a irrigação, pasto e outras actividades das populações).

Os sistemas fluviais são os principais meios de disposição dos resíduos, principalmente os efluentes, das indústrias que estão próximas a eles. Esses efluentes das indústrias têm grande influência na poluição do corpo hídrico, esses efluentes podem alterar a natureza física, química e biológica do corpo hídrico receptor. O aumento das actividades industriais levou ao estresse da poluição nas águas superficiais, tanto de fontes industriais, agrícolas quanto domésticas (Habibu *et al.*, 2015).

A poluição pelos efluentes líquidos industriais deve ser controlada inicialmente pela redução de perdas nos processos, incluindo a utilização de processos mais modernos, arranjo geral optimizado, redução do consumo de água incluindo as lavagens de equipamentos e pisos industriais, redução de perdas de produtos ou descarregamentos desses ou de matérias primas na rede colectora (Giordano, 2004).

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

A caracterização e a avaliação dos efluentes por parte das indústrias devem ser um trabalho de extrema importância, atendendo e considerando que as populações circunvizinhas a estas por vezes usam os corpos fluviais para as suas actividades. Com o intuito de contribuir para a comunidade académica assim como em geral surge o presente trabalho de pesquisa com o tema *Avaliação da qualidade do efluente industrial descartado pela fábrica Mozal no Rio Matola*.

1.1. Delimitação do tema

O presente trabalho científico foi centralizado no estudo dos efluentes líquidos industriais, onde especificamente analisou-se os efluentes líquidos despejados para o Rio Matola por parte da Indústria Mozal. Para a concretização do mesmo, efectuou-se a recolha de algumas informações relevantes na indústria em questão e análises laboratoriais dos efluentes em questão.

1.2. Problema

A maior parte das áreas industriais em Moçambique está situada no meio de uma densidade populacional considerável, e na maioria das vezes esses são os consumidores directo dos efeitos adversos que essas indústrias produzem. Para a instalação de uma indústria de médio ou grande porte, vários são os aspectos que se levam em conta, a se destacar, o local de instalação, as credenciais para o funcionamento, o estudo das diferentes legislações ambientais, os prós e os contras que irão advir do funcionamento desta, entre as demais que irão garantir um bom funcionamento da mesma.

Dentre os aspectos supracitados, a questão ambiental tem levado uma especial atenção e preocupação atendendo e considerando os últimos eventos climáticos que se tem verificado ao redor do mundo. Os corpos aquáticos (rios e lagos) têm sido com frequência o ponto de descarga de efluentes não úteis nas indústrias, no entanto, esses corpos aquáticos que recebem as descargas, na maioria das vezes contêm consideráveis números de famílias a viverem nas suas bermas, o que de certo modo cria uma situação não confortável para estas.

Às indústrias implantadas no nosso território são exigidas a realização de um pré-tratamento e/ou diluição da concentração a posterior do tratamento dos seus diferentes efluentes que são extraídos das suas produções antes de efectuarem a descarga dos mesmos nos corpos receptores. Todavia, para a realização deste processo de tratamento são requeridas às empresas

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

condições financeiras para a aquisição de equipamentos/materiais para tal. E por esses tratamentos por vezes serem onerosos, as indústrias podem colocar estes processos em segundo plano e não averiguar a qualidade dos seus efluentes no seu todo.

1.3. Justificativa

A emissão de poluentes por parte das indústrias para o meio ambiente tem sido uma prática recorrente, e com isso torna-se imperioso que as mesmas estejam munidas de meios que visam a gestão destes poluentes.

Deste modo, um estudo sobre estes poluentes sobre os diferentes compartimentos ambientais torna-se um aspecto muito necessário, pois, a partir desta pode-se fazer entender as factores que estão por de trás da emissão destes e possivelmente fazer-se compreender a dimensão dos efeitos dos mesmos em diferentes níveis.

Várias serão as contribuições que o presente trabalho trará, a nomear alguns:

- Na dimensão académica, espera-se que a presente pesquisa traga para a comunidade científica mais informações concretas sobre as relações existentes entre os efluentes industriais e os níveis de poluição ambiental que advém destas. Sendo assim torna-se relevante a realização do presente estudo, e ainda não obstante ao facto que a partir desta pode se despertar um interesse nesse campo e estudos futuros podem ser desenvolvidos.
- As poluições ambientais têm os seus contornos visíveis no dia-a-dia para os seres humanos e no ecossistema em si. No âmbito pessoal, esta pesquisa torna-se relevante para o pesquisador, porque será a partir desta que se fará a aplicação directa dos conhecimentos adquiridos durante o tempo de decorrência do curso.
- Atendendo e considerando que esta pesquisa esta directamente ligada com questões sociais, a presente pesquisa torna-se relevante porque a partir destas conclusões que sairão se tomarão algumas medidas de proteção contra os possíveis riscos que podem advir das águas que os circundam, salvaguardando deste modo a saúde e segurança dessas populações.
- O meio ambiente e os seus compartimentos são estruturas que devem se proteger a qualquer custo, pois, é a partir destes que a vida no planeta terra se segura. Em termos

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

de questões ambientais o presente estudo se torna imperioso porque a partir desta se terá a realidade sobre os efeitos dos efluentes líquidos da indústria sobre o rio em questão. E a partir deste estudo poderá se verificar se não estamos perante uma poluição hídrica, daí há uma necessidade de se efectuar este estudo.

1.4. Objectivos

1.4.1. Objectivo Geral

- Avaliar a qualidade do efluente líquido industrial descartado pela Mozal no rio Matola.

1.4.2. Objectivos Específicos

- Descrever os processos tratamento de efluente usado na Mozal;
- Avaliar as características físico-químicas dos efluentes líquidos da Mozal;
- Discutir os resultados obtidos dos efluentes com os valores padrões estabelecidos pela legislação.

1.5. Pergunta de pesquisa

Com base no problema levantado mais acima, e com vista a se dar uma resposta a mesma, coloca-se a seguinte pergunta a investigar:

“Será que o efluente industrial gerado e descartado no Rio Matola pela fábrica Mozal está dentro dos padrões de emissão estabelecidos na legislação moçambicana?”

1.5.1. Questões de apoio à investigação

Por forma a expandir o campo do trabalho e dar uma visão mais ampla do trabalho, podem se colocar as seguintes perguntas auxiliares:

- Quais são os processos de tratamento que a Mozal dá aos seus efluentes?
- Quais são as características dos efluentes produzidos?
- Será que se faz a monitoria das características das águas tratadas na estação da empresa para seu descarte nos corpos receptores?
- Com que base legal a Mozal cumpre com o tratamento de efluentes industriais?

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

1.6. Hipóteses de Pesquisa

Em virtude do problema levantado, assim como a pergunta a ser investigada, para o presente trabalho podem ser levantadas as seguintes hipóteses:

Hipótese 1: O efluente descartado pela Mozal no Rio Matola apresenta características fora dos padrões para emissão de efluentes líquidos industriais.

Hipótese 2: O efluente descartado pela Mozal no Rio Matola apresenta características dentro dos padrões para emissão de efluentes líquidos industriais.

CAPÍTULO II

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

O conhecimento baseia-se na compilação de ideias/pensamentos que outrora não foram feitas uma ligação entre elas. Desse modo, esta parte do trabalho se dedicará a trazer e fazer uma interligação das diferentes informações que circundam o campo dos efluentes industriais, desde a sua produção até as consequências dos mesmos em diferentes compartimentos ambientais.

2.1. Efluentes Industriais

As águas residuais industriais são sempre uma questão prioritária para a proteção do meio ambiente. Eles devem ser considerados como os componentes mais significativos dos programas de gestão da qualidade da água. As atividades industriais são incorporadas a esses programas em duas diferentes dimensões, (i) caracterização de águas residuais e (ii) limitações de descargas de efluentes (Orhon *et al.*, 2009).

Várias são as definições dos efluentes, que variam desde uma definição literal até a definição mais detalhada, contudo todas recaem para o mesmo significado, a citar algumas:

Efluentes industriais (incluindo efluentes agroindustriais) são efluentes resultantes de atividades humanas associadas ao processamento e fabricação de matérias-primas (Jern, 2006).

Para Hoag (2008) citado por Beltrame *et al.* (2016), são águas que provêm das garagens e locais de manutenção, que contêm geralmente um volume importante de óleos e de detergentes.

Por outro lado Woodard & Curran (2014), definem efluentes industriais como sendo o descarte aquoso que resulta de substâncias dissolvidas ou suspensas na água, normalmente durante o uso de água em um processo de fabricação industrial ou nas atividades de limpeza que ocorrem junto com esse processo.

No mesmo diapasão Okereke *et al.* (2016) definem os efluentes industriais como sendo resíduos líquidos produzidos durante as atividades industriais.

Em outra perspectiva a Department of Environmental Malaysia (2009) definem efluentes industriais como sendo qualquer resíduo na forma de líquido ou efluente gerado no processo de fabricação, incluindo o tratamento de água para abastecimento de água ou qualquer atividade que ocorra em qualquer instalação industrial.

2.1.1. Historial dos Efluentes Industriais

Antes da Revolução Industrial, utilizava-se o processo de produção chamado manufactura, no qual os artesãos, que eram proprietários da matéria-prima e comercializavam o produto final do seu trabalho manual, utilizavam apenas algumas ferramentas e realizavam seus trabalhos em oficinas construídas em suas próprias casas, actividades essas que não provocavam grandes impactos para o meio ambiente, já que a produção era em pequena escala (A. P. J. Costa *et al.*, 2009).

Hanchang (2009) descreve que até meados do século XVIII, a poluição da água limitava-se essencialmente a pequenas áreas localizadas. Então veio a Revolução Industrial, o desenvolvimento do motor de combustão interna e a explosão da indústria química movida a petróleo. Com o rápido desenvolvimento de várias indústrias, uma enorme quantidade de água doce é utilizada como matéria-prima, como meio de produção (água de processo) e para fins de resfriamento.

Sabe-se que as águas residuais industriais são as fontes mais comum de poluição da água e aumenta anualmente devido ao facto de que as indústrias estão aumentando porque as cidades estão se industrializando. Como resultado, os corpos de água que são os principais receptáculos de resíduos industriais não tratados e parcialmente tratados tornaram-se altamente poluídos. Os efeitos resultantes disso na saúde pública e no meio ambiente são geralmente de grande magnitude quando comparados com outras fontes de poluentes (Firdissa *et al.*, 2016).

O impacto das descargas de águas residuais industriais no meio ambiente e na população humana pode ser trágico às vezes como pode ser descrito por Jern (2006), há cerca de 50 anos, a doença de Minamata, que se espalhou entre os residentes no Mar de Yatsushiro e nas áreas da bacia do rio Agano no Japão, foi atribuída ao metil mercúrio em águas residuais industriais. Os efluentes industriais são a principal fonte de entrada directa e frequentemente contínua de poluentes nos ecossistemas aquáticos, com implicações de longo prazo no funcionamento do ecossistema, incluindo mudanças na disponibilidade de alimentos e uma ameaça extrema ao sistema à capacidade de auto-regulado da biosfera (Habibu *et al.*, 2015).

Como elucidado por Kanu, Ijeoma & Achie (2011), os sistemas fluviais são o principal meio de disposição dos resíduos, principalmente os efluentes, das indústrias que estão próximas a eles. Esses efluentes das indústrias têm grande influência na poluição do corpo hídrico, esses efluentes podem alterar a natureza física, química e biológica do corpo receptor. Altos níveis

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

de poluentes nos sistemas de água do rio causam um aumento na demanda biológica de oxigênio (BOD), demanda química de oxigênio (COD), sólidos dissolvidos totais (TDS), sólidos suspensos totais (TSS), metais tóxicos como Cd, Cr, Ni e Pb e coliformes fecais e, portanto, tornam essa água imprópria para beber, irrigação e vida aquática. Os efluentes industriais variam de alta demanda bioquímica de oxigênio (DBO) de resíduos biodegradáveis, como os de esgoto humano, indústrias de papel e celulose, abate casas, curtumes e indústria química. Outros incluem os de galvanoplastia e têxteis, que podem ser tóxicos e requerem pré-tratamento físico-químico no local antes da descarga no sistema de esgoto municipal (Kanu, Ijeoma and Achie, 2011).

2.1.2. Efluentes Industriais e a Poluição Ambiental

A questão ambiental tornou-se de suma importância nos dias atuais. O conceito de sustentabilidade, que pode ser definido como sendo a capacidade de atender as necessidades atuais sem comprometer a capacidade de gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, vem sendo citado e debatido na comunidade, tanto acadêmica quanto pública (Beltrame *et al.*, 2016).

O conceito de Poluição é definido por Aguiar *et al.* (2002) como sendo qualquer alteração física, química ou biológica que produza modificação da fauna e da flora do meio ambiente. Os efluentes gerados pelas indústrias continuam sendo uma das principais fontes de poluição industrial. Foi relatado que o ar, o solo e a água contaminados por efluentes de indústrias estão associados a uma pesada carga de doenças e isso pode ser uma razão significativa para a menor expectativa de vida no país quando comparada ao que é obtido no mundo desenvolvido (Grace & Patrick, 2015).

Giordano (2004) define a poluição hídrica como sendo qualquer alteração física, química ou biológica da qualidade de um corpo hídrico, capaz de ultrapassar os padrões estabelecidos para a classe, conforme o seu uso preponderante. Considera-se a ação dos agentes: físicos materiais (sólidos em suspensão) ou formas de energia (calorífica e radiações); químicos (substâncias dissolvidas ou com potencial solubilização); biológicos (microorganismos). A poluição da água ocorre quando materiais indesejados com potencial para ameaçar humanos e outros sistemas naturais encontram seu caminho para rios, lagos, poços, córregos, poços ou mesmo água doce reservada em residências e indústrias (Adeolu, 2016)

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

A presença de contaminantes industriais na água pode reduzir o rendimento das colheitas e o crescimento das plantas e também será prejudicial ao organismo vivo aquático. A contaminação por metais é um grande problema ambiental e principalmente no meio aquático (Paul, 2011).

Conforme descrito por Firdissa *et al.* (2016) alguns metais são potencialmente tóxicos ou cancerígenos mesmo em concentrações muito baixas e, portanto, perigosos para o ser humano se entrarem na cadeia alimentar. Os metais são geralmente dissolvidos no sistema aquático através de fontes naturais ou antropogênicas. Os íons metálicos são amplamente distribuídos durante seu transporte em diferentes compartimentos dos ecossistemas aquáticos, em compartimentos bióticos ou abióticos, como peixes, água, sedimentos, plantas. Os metais que permanecem em sedimentos contaminados podem se acumular em microrganismos que, por sua vez, entram na cadeia alimentar e eventualmente afetam o bem-estar humano (Firdissa *et al.*, 2016).

Nos países em desenvolvimento, estima-se que cerca de 80% de todas as doenças estão diretamente relacionadas a má qualidade da água potável e condições anti-higiênicas. Atividades humanas, como a industrialização, são responsáveis pela qualidade das águas subterrâneas e a contaminação das águas subterrâneas e a disseminação de contaminantes estão entre os principais fatores que levam aos perigos humanos (Giordano, 2004).

2.1.3. Tipos de efluentes industriais

De acordo com Adeolu (2016) e Hanchang (2009) os poluentes da água podem ser agrupados em três grandes categorias de acordo com a sua natureza:

- Poluentes orgânicos;
- Poluentes inorgânicos;
- Poluentes biológicos.

Também podendo ser agrupadas de acordo com a sua fonte de origem, podendo ser:

- Fonte pontual;
- Fonte não pontual.

a) Poluentes orgânicos

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

As águas residuais industriais orgânicas contêm o fluxo de resíduos industriais orgânicos dessas indústrias químicas e trabalhos químicos em grande escala, que usam principalmente substâncias orgânicas para reação química. Os efluentes contêm substâncias orgânicas de origens e propriedades diversas. Estes só podem ser removidos por um pré-tratamento especial das águas residuais, seguido de tratamento biológico (Hanchang, 2009). A maioria dos efluentes industriais orgânicos é produzida pelas seguintes indústrias e fábricas:

- As fábricas que produzem produtos farmacêuticos, cosméticos, corantes orgânicos, colas e adesivos, sabões, detergentes sintéticos, pesticidas e herbicidas;
- Curtumes e fábricas de couro;
- Fábricas têxteis;
- Fábricas de celulose e papel;
- Fábricas da indústria de refino de petróleo;
- Fábricas de cerveja e fermentação;
- Indústria de processamento de metais.

Os resíduos orgânicos se mineralizam nos corpos d'água receptores e os elementos nutritivos resultantes estimulam a produção vegetal, levando a eutrofização. Nesta situação, a biomassa aumenta consideravelmente e ultrapassa o limite de assimilação pelos herbívoros. Esta poluição orgânica secundária é consideravelmente maior do que a carga orgânica primária. A produção excessiva de matéria orgânica leva ao acúmulo de “lodo” e o processo de mineralização consome todo o oxigênio dissolvido da coluna d'água, o que causa mortalidade de peixes. Conseqüentemente, os poluentes orgânicos são chamados de resíduos que demandam oxigênio. As temperaturas relativamente altas nos países tropicais aceleram esse processo (Kanu, Ijeoma & Achie, 2011).

b) Poluentes inorgânicos

As águas residuais inorgânicas são produzidas principalmente na indústria de carvão e aço, na indústria de minerais não metálicos e em empresas comerciais e indústrias de processamento de superfícies de metais (obras de colecta de ferro e plantas galvanoplásticas). Esta água residual contém uma grande proporção de matéria suspensão, que pode ser eliminada por sedimentação, muitas vezes em conjunto com a floculação química através da adição de ferro

ou sais de alumínio, agentes de floculação, e alguns tipos de polímeros orgânicos (Hanchang, 2009).

Em muitos casos, as águas residuais são produzidas além de substâncias sólidas e óleos, e também contêm solutos extremamente nocivos. Estes incluem águas residuais de lavagem de gás de alto-forno contendo cianeto, resíduos da indústria de processamento de metais contendo ácidos ou soluções alcalinas (principalmente contendo metais não ferrosos e frequentemente cianeto ou cromato), águas residuais de fábricas de eloxal e da purificação de gases residuais de fábricas de alumínio, que em ambos os casos contêm flúor (Hanchang, 2009).

c) Poluentes biológicos

De acordo com Inamori & Fujimoto (n.d.) as águas são contaminadas maioritariamente pelos microrganismos que incluem bactérias patogênicas, vírus patogênicos, protozoários patogênicos e cianobactérias.

Conforme Von Sperling (2015), na poluição pontual, os poluentes chegam ao corpo d'água em pontos concentrados no espaço. Normalmente, a descarga de águas residuais domésticas e industriais gera poluição de fonte pontual, uma vez que as descargas são através de emissários.

A poluição difusa, os poluentes entram no corpo d'água distribuídos em vários locais ao longo de sua extensão. Este é o caso típico de drenagem de águas pluviais, seja em áreas rurais (sem adutoras) ou em áreas urbanas (sistema de captação de águas pluviais, com múltiplas descargas no corpo d'água) (Von Sperling, 2015). A poluição de fontes difusas pode se originar de ambientes urbanos, como quintais em bairros ou de áreas de produção agrícola, como campos de cultivo. Produtos químicos, resíduos e solo que são carregados pela chuva para córregos ou rios tornam-se parte da poluição de fonte difusa. Exemplos comuns são fertilizantes, herbicidas, pesticidas, óleo de motor derramado e resíduos de animais de estimação, animais selvagens e gado (Adeolu, 2016).

Fontes não pontuais são mais difíceis de identificar, porque não podem ser rastreadas até um local específico. O tratamento de água poluída de fontes difusas também pode ser muito difícil. A melhor medida de gestão para a poluição de fontes não pontuais é o sistema de gestão de bacias hidrográficas. A comunidade ribeirinha deve actuar como parte interessada na gestão da bacia hidrográfica (Adeolu, 2016).

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Tem muitos tipos de águas residuais industriais com base nas diferentes indústrias e contaminantes; cada sector produz sua própria combinação particular de poluentes assim como é ilustrado na tabela 1 a seguir.

Tabela 1. Poluentes da água por sector industrial.

Sector	Poluentes
Ferro e Aço	DBO, DQO, óleos, metais, ácidos, fenóis e cianetos
Têxteis e Couro	DBO, Sólidos, sulfatos e crómio
Papel e Polpa	DBO, DQO, sólidos, compostos orgânicos clorados
Petroquímicas e Refinarias	DBO, DQO, óleos minerais, fenóis e crómio
Químico	DQO, químicos orgânicos, metais pesados, sólidos suspensos e cianetos
Metais não ferrosos	Fluoretos e sólidos suspensos
Microelectrónicos	DQO e produtos químicos orgânicos
Mineiração	Sólidos suspensos, metais, ácidos e sais

Fonte: Hanchang (2009).

2.2. Estudo das características e qualidade dos efluentes

A água é um líquido perfeitamente transparente, incolor, insípido e inodoro, em temperatura normal e quimicamente neutro nas reações e um solvente universal para os compostos do homem. A qualidade da água enfoca os vários aspectos dos parâmetros físico-químicos da água que detectam o estado de poluição e adequação de um determinado corpo d'água para vários organismos aquáticos (Sarker, 2013).

Como descrito por Firdissa *et al.* (2016), a poluição do meio ambiente devido a águas residuais industriais depende das actividades das indústrias, como sua tecnologia de processo, suas concentrações através do uso de utilidades, contaminantes adicionados na operação do processo, natureza das matérias-primas e metodologia do processo.

A qualidade das águas residuárias tem se mostrado responsável pela degradação dos corpos hídricos receptores. Parâmetros de preocupação são suas propriedades físico-químicas, como nitratos e sulfetos, juntamente com BOD, COD, TSS, presença de metais, etc. A eutrofização

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

de fontes de água pode resultar na proliferação de cianobactérias produtoras de toxinas (Ayeni *et al.*, 2018).

Tendo principalmente quantidades excessivas de metais pesados, como Pb, Cr e Fe. Os metais pesados provenientes de processos industriais são de especial preocupação porque produzem água ou envenenamento crônico em animais aquáticos. Altos níveis de poluentes principalmente matéria orgânica na água do rio causam um aumento na demanda biológica de oxigênio, demanda química de oxigênio, sólidos totais dissolvidos, sólidos suspensos totais e coliformes fecais. Eles tornam a água imprópria para beber, irrigação ou qualquer outro uso (Amin *et al.*, 2010).

2.2.1. Características dos efluentes industriais

Tanto Abrahão (2006) assim como para Šmelcerović (2019) a qualidade da água poder ser representada através de diversos parâmetros, que traduzem as suas principais características físicas, químicas e biológicas.

As características dos efluentes industriais são inerentes a composição das matérias primas, das águas de abastecimento e do processo industrial. A concentração dos poluentes nos efluentes é função das perdas no processo ou pelo consumo de água (Giordano, 2004).

As características dos efluentes industriais fornecem informações básicas sobre a integridade do habitat aquático dentro dos rios e córregos nos quais são lançados. A maioria desses efluentes representa um dano inestimável para o qual a entidade microbiana é a mais prejudicada (Kanu, Ijeoma & Achie, 2011).

Um importante índice de poluição de águas residuais industriais é a função de oxigênio medida em termos de demanda química de oxigênio (DQO) e demanda biológica de oxigênio (DBO₅), enquanto o status de nutrientes das águas residuais é medido em termos de nitrogênio e fósforo. Além disso, outros parâmetros de qualidade importantes incluem pH, temperatura e sólidos suspensos totais (Kanu, Ijeoma & Achie, 2011).

Os efluentes industriais são caracterizados por sua turbidez anormal, condutividade, demanda química de oxigênio (DQO); sólidos suspensos totais (TSS) e dureza total. As concentrações de dureza total do efluente de uma estação de tratamento químico-biológico foram maiores que as dos afluentes.

2.2.1.1. Características físicas

As principais características físicas das águas residuais incluem conteúdo de sólidos, cor, odor e temperatura.

a) Os Sólidos

Os sólidos totais em uma água residual consistem nos sólidos insolúveis ou suspensos e nos compostos solúveis dissolvidos na água. O teor de sólidos suspensos é encontrado por secagem e pesagem do resíduo retirado pela filtração da amostra (Alturkmani, 2019). Analiticamente são considerados como sólidos dissolvidos àquelas substâncias ou partículas com diâmetros inferiores a $1,2 \mu\text{m}$ e como sólidos em suspensão as que possuem diâmetros superiores (Giordano, 2004).

Ainda com base em Giordano (2004) os sólidos em suspensão são subdivididos em sólidos coloidais e sedimentáveis/ flutuantes e além do aspecto relativo a solubilidade, os sólidos são analisados conforme a sua composição, sendo classificados como fixos e voláteis. Os primeiros de composição inorgânica e os últimos com a composição orgânica. A figura 1 ilustra a divisão dos diferentes tipos de sólidos.

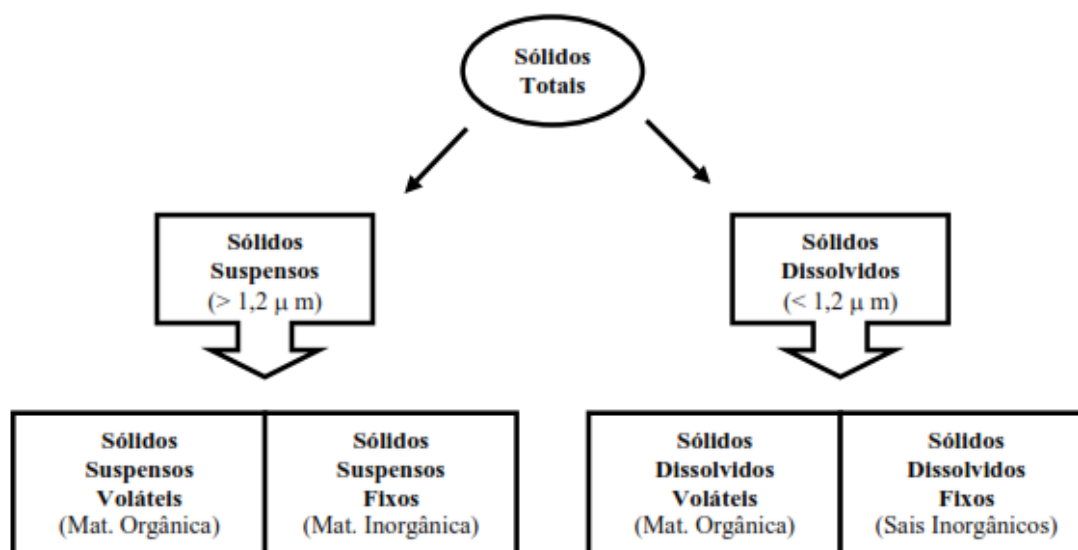


Figura 1. Esquema de composição dos sólidos. Fonte: Giordano (2004).

b) A cor

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

A cor da água resulta da existência de substâncias em solução provenientes principalmente dos processos de decomposição que ocorrem no corpo hídrico, podendo também estar associada a presença de alguns íons metálicos como ferro e manganês, plâncton, macrófitas ou de despejos coloridos contidos em esgotos industriais (Abrahão, 2006).

De acordo com Šmelcerović (2019) os efluentes de cor marrom claro têm menos de 6 horas de idade, enquanto a cor cinza claro a médio é característico de efluentes que sofreram algum grau de decomposição ou que estão no sistema de coleta há algum tempo. Por fim, se a cor for cinza escuro ou preto, o efluente é tipicamente séptico, tendo sofrido extensa decomposição bacteriana em condições anaeróbias. O escurecimento das águas residuais é muitas vezes devido à formação de vários sulfetos, particularmente, sulfeto ferroso.

c) O Odor

Nos efluentes industriais pode ser devido a exalação de substâncias orgânicas ou inorgânicas devidas a: reações de fermentação decorrentes da mistura com o esgoto (ácidos voláteis e gás sulfídrico); aromas (indústrias farmacêuticas, essências e fragrâncias); solventes (indústrias de tintas, refinarias de petróleo e pelos petroquímicos); amônia do chorume (Giordano, 2004).

O odor das águas residuais frescas geralmente não é ofensivo, mas uma variedade de compostos odoríferos são liberados quando as águas residuais são decompostas biologicamente sob condições anaeróbicas (Alturkmani, 2019).

d) A Temperatura

A temperatura da água pode influir no retardamento ou aceleração da actividade biológica, na absorção de oxigênio e precipitação de compostos. Quando se encontra ligeiramente elevada, resulta na perda de gases pela água, gerando odores e desequilíbrio ecológico (Abrahão, 2006).

A medição da temperatura é importante porque a maioria dos esquemas de tratamento de águas residuais inclui processos biológicos dependentes da temperatura. A temperatura das águas residuais varia de estação para estação e também com a localização geográfica. Em regiões frias a temperatura varia de cerca de 7 °C a 18 °C, enquanto em regiões mais quentes as temperaturas variam de 13 °C a 24°C (Alturkmani, 2019).

2.2.1.2. Características Químicas

a) A Condutividade Eléctrica

A condutividade eléctrica é geralmente usada para indicar a concentração total dos constituintes ionizados dos resíduos. Está intimamente relacionado com a soma dos catiões ou aniões determinados quimicamente e geralmente se correlaciona intimamente com o sólido dissolvido total (Sarker, 2013).

A condutividade eléctrica é a capacidade que a água possui de conduzir corrente eléctrica. Quanto maior for a quantidade de iões dissolvidos, maior será a condutividade eléctrica da água. Em águas continentais, os iões directamente responsáveis pelos valores da condutividade são, entre outros, o cálcio, o magnésio, o potássio, o sódio, carbonatos, carbonetos, sulfatos e cloretos. O parâmetro condutividade eléctrica pode contribuir para possíveis reconhecimentos de impactos ambientais que ocorram na bacia de drenagem, ocasionados por lançamentos de resíduos industriais, mineração, esgotos ou agricultura (Abrahão, 2006).

Portanto, as medições de condutividade podem ser usadas como uma maneira rápida de localizar problemas potenciais de qualidade da água. Todas as águas naturais contêm alguns sólidos dissolvidos devido à dissolução e intemperismo da rocha e do solo. Alguns, mas não todos os sólidos dissolvidos, actuam como condutores e contribuem para a condutância. Águas com alto TDS são intragáveis e potencialmente insalubres (Paul, 2011).

b) A Turbidez

Pode-se definir a turbidez de acordo com Paul (2011), como sendo uma expressão da propriedade óptica que faz com que a luz seja espalhada e absorvida em vez de transmitida em linhas retas através de uma amostra de água.

A turbidez da água é dada pela presença de partículas em suspensão (silte, areia, bactérias, fitoplâncton, detritos orgânicos, entre outros) que podem ou não ser colorida. Este parâmetro representa o grau de interferência com a passagem de luz através da água, conferindo uma aparência turva à mesma (Abrahão, 2006).

Ainda dentro do mesmo diapasão Paul (2011) salienta que altos níveis de turbidez afectam a alimentação e o crescimento dos peixes. A atenuação da luz por partículas suspensas na água tem dois tipos principais de impacto ambiental: penetração reduzida da luz na água para fotossíntese e alcance visual reduzido de animais e pessoas. A alta turbidez também devido ao

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

total de sólidos suspensos suporta um alto número de microbiota estranha no corpo d'água, acelerando a poluição microbiana.

c) O pH

Nas explanações de Okereke *et al.* (2016), é descrito que a concentração de íões de hidrogênio é um importante parâmetro de qualidade de águas naturais e residuais. É usado para descrever as propriedades ácidas ou básicas das águas residuais. Um pH inferior a 7 nas águas residuais afluentes é uma indicação de condições sépticas, enquanto valores inferiores a 5 e superiores a 10 indicam a presença de resíduos industriais e incompatibilidade com operações biológicas. A faixa de concentração de pH para a existência de vida biológica é bastante estreita (normalmente 6-9). Uma indicação de pH extremo é conhecida por danificar processos biológicos em unidades de tratamento biológico.

E como é reportado por Paul (2011), em águas com altas concentrações de algas, o pH varia durante o dia, atingindo valores tão altos quanto 10 durante o dia, quando as algas estão usando dióxido de carbono na fotossíntese. O pH cai durante a noite quando as algas respiram e produzem dióxido de carbono.

d) A Matéria Orgânica

A matéria orgânica está contida na fração de sólidos voláteis, mas normalmente é medida de forma indirecta pela demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). A DBO mede a quantidade de oxigênio necessária para que os microorganismos biodegradem a matéria orgânica. A DQO é a medida da quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente a matéria orgânica. A matéria orgânica ao ser biodegradada nos corpos receptores causa um decréscimo da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no meio hídrico, deteriorando a qualidade ou inviabilizando a vida aquática (Giordano, 2004).

- **A Demanda Bioquímica de Oxigênio**

A DBO de 5 dias (DBO) é o parâmetro de poluição orgânica mais amplamente aplicado às águas residuais. Envolve a medição do oxigênio dissolvido usado pelos microorganismos na oxidação bioquímica da matéria orgânica. A presença de oxigênio suficiente promove a decomposição biológica aeróbia de um resíduo orgânico (Okereke *et al.*, 2016).

Embora o teste de BOD seja amplamente utilizado, ele apresenta uma série de limitações, que incluem a exigência de alta concentração de microorganismos activos aclimatados e a

necessidade de tratamento quando se trata de resíduos tóxicos, reduzindo assim os efeitos de organismos nitrificantes. O BOD mede apenas os orgânicos biodegradáveis e requer um tempo relativamente longo para obter os resultados do teste.

- **A Demanda Química de Oxigênio**

O teste DQO mede o equivalente de oxigênio do material orgânico em águas residuais que pode ser oxidado quimicamente. O DQO sempre será maior que o BOD. Isso ocorre porque o DQO mede substâncias que são quimicamente e biologicamente oxidadas. A proporção de DQO:BOD fornece um guia útil para a proporção de material orgânico presente nas águas residuais, embora alguns polissacarídeos, como a celulose, só possam ser degradados anaerobicamente e, portanto, não sejam incluídos na estimativa de BOD (Okereke *et al.*, 2016).

- **Compostos orgânicos voláteis (COVs)**

Compostos orgânicos voláteis, como benzeno, tolueno, xilenos, tricloroetano, diclorometano e tricloroetileno, são poluentes comuns do solo em áreas industrializadas e comercializadas. Uma das fontes mais comuns desses contaminantes é o vazamento de tanques de armazenamento subterrâneos. Solventes e aterros sanitários descartados inadequadamente, construídos antes da introdução das regulamentações rigorosas actuais, também são fontes significativas de COVs do solo (Alturkmani, 2019).

- e) **A Matéria Inorgânica**

Conforme descrito por Šmelcerović (2019), os principais testes químicos incluem amônia livre, nitrogênio orgânico, nitritos, nitratos, fósforo orgânico e fósforo inorgânico. O nitrogênio e o fósforo são importantes porque esses dois nutrientes são responsáveis pelo crescimento das plantas aquáticas. Os oligoelementos, que incluem alguns metais pesados, não são determinados rotineiramente, mas os oligoelementos podem ser um factor no tratamento biológico de águas residuais. Medições de gases, como sulfeto de hidrogênio, oxigênio, metano e dióxido de carbono, são feitas para ajudar o sistema a operar.

- **Os Metais pesados**

O 'Metal Pesado', também conhecido como metal-traço, pode ser definido como os metais que apresentam um peso específico maior que 4,5 g/cm³ (Markert, 1993). Resíduos e efluentes de

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

têxteis, curtumes, produtos farmacêuticos e outras indústrias possuem altas concentrações de alguns metais pesados que causam grandes danos ao meio ambiente. A natureza altamente tóxica das águas residuais provenientes do processamento de peles causa poluição do solo e da água doce (Sarker, 2013).

Metais pesados e traços também são importantes na água. Os metais de importância no tratamento de águas residuais são As, Cd, Ca, Cr, Co, Cu, Fe, Pb, Mg, Mn, Hg, Mo, Ni, K, Se, Na, V e Zn. Os organismos vivos requerem quantidades variáveis de alguns desses metais (Ca, Co, Cr, Cu, Fe, K, Mg, Mn, Na, Ni e Zn) como nutrientes (macro ou micro) para o crescimento adequado. Outros metais (Ag, Al, Cd, Au, Pb e Hg) não têm papel biológico e, portanto, não são essenciais (Okereke *et al.*, 2016).

Šmelcerović (2019) afirma que diversas indústrias descartam metais pesados, pode-se constatar que de todos os metais pesados, o cromo é o mais utilizado e descartado no meio ambiente por diversas fontes. Conforme mostrado na figura 2, muitos dos poluentes que entram nos ecossistemas aquáticos (por exemplo, mercúrio, chumbo, pesticidas e herbicidas) são muito tóxicos para os organismos vivos. Eles podem diminuir o sucesso reprodutivo, impedir o crescimento e desenvolvimento adequados e até causar a morte.



Figura 2. Descarga de águas residuais industriais não tratadas em um rio. Fonte: (Alturkmani, 2019).

- **O Nitrogênio e o Fósforo**

O nitrogênio e o fósforo são elementos presentes nos esgotos sanitários e nos efluentes industriais e são essenciais às diversas formas de vida, causando problemas devido à

proliferação de plantas aquáticas nos corpos receptores. Nos esgotos sanitários são provenientes dos próprios excrementos humanos, mas atualmente têm fontes importantes nos produtos de limpeza domésticos e ou industriais tais como detergentes e amaciantes de roupas. Nos efluentes industriais podem ser originados em proteínas, aminoácidos, ácidos fosfóricos e seus derivados (Giordano, 2004).

Šmelcerović (2019) relata que um teor excessivo de fósforo nas águas receptoras geralmente leva a um crescimento extensivo de algas (eutrofização). Os seguintes grupos de compostos de fósforo são de grande importância em águas residuais: fosfatos orgânicos, fosfatos condensados e fosfatos inorgânicos. Embora o próprio fosfato não tenha efeitos adversos notáveis à saúde.

O nitrogênio é exigido por todos os organismos para os processos básicos da vida para produzir proteínas, crescer e se reproduzir. Formas orgânicas e inorgânicas de nitrogênio podem causar problemas de eutrofização em lagos de água doce com limitação de nitrogênio e em águas estuarinas e costeiras. No meio ambiente, a amônia é oxidada a nitrato, criando uma demanda de oxigênio e baixo teor de oxigênio dissolvido nas águas superficiais (Alturkmani, 2019).

- **A Amônia**

A amônia é o produto inicial da decomposição de resíduos orgânicos nitrogenados, e sua presença frequentemente indica a presença de tais resíduos. É um constituinte normal de algumas fontes de água subterrânea e as vezes é adicionado à água potável para remover o gosto e o odor do cloro livre. Como o pKa (o logaritmo negativo da constante de ionização do ácido) do ião amônio, NH_4^+ é 9,26, a maior parte da amônia na água está presente como NH_4^+ em vez de NH_3 (Alturkmani, 2019).

2.2.1.3. Características Biológicas

Os contaminantes biológicos são diversos agentes patogênicos ou não. As características bacteriológicas dos esgotos referem-se a presença de diversos microorganismos tais como bactérias inclusive do grupo coliforme, vírus e vermes. No caso das indústrias, as que operam com o abate de animais também são grandes emissoras de microorganismos, bem como muitas produtoras de alimentos. Os microorganismos presentes contaminam o solo, inclusive os

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

lençóis subterrâneos e as águas superficiais, sendo responsáveis pelas doenças de veiculação hídrica (Giordano, 2004).

Os principais microrganismos encontrados em efluentes de águas residuárias são vírus, bactérias, fungos, protozoários e helmintos. Embora vários microrganismos na água sejam considerados factores críticos na contribuição para numerosos surtos de doenças transmitidas pela água, eles desempenham muitos papéis benéficos nos afluentes de águas residuais.

Conforme elucidado por Paillard *et al.* (2005) citado por Okereke *et al.*, (2016), os poluentes microbianos também podem servir como indicadores da qualidade da água. A detecção, isolamento e identificação dos diferentes tipos de poluentes microbianos em águas residuais são sempre difíceis, dispendiosas e demoradas. Para evitar isso, organismos indicadores são sempre usados para determinar o risco relativo da possível presença de um determinado patógeno em águas residuais. Por exemplo, bactérias entéricas, como coliformes, *Escherichia coli* e *estreptococos fecais* são usadas como indicadores de contaminação fecal em fontes de água.

2.3. Legislação Ambiental

A questão ambiental tornou-se de suma importância nos dias actuais. O conceito de sustentabilidade, que pode ser definido como sendo a capacidade de atender as necessidades actuais sem comprometer a capacidade de gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, vem sendo citado e debatido na comunidade, tanto acadêmica quanto pública (Beltrame *et al.*, 2016).

Giordano (2004), salienta que a legislação é a primeira condicionante para um projecto de uma estação de tratamento de efluentes industriais, razão pela qual esta deve ser tomada como um ponto de extrema importância aquando da implementação de uma indústria dentro de uma cidade.

Actualmente, a maioria dos países possui leis que regulam o uso e o consumo da água. Nos países mais desenvolvidos neste sentido, a poluição e o desperdício são severamente punidos, objectivando uma maior conscientização social e uso sustentável dos recursos naturais conforme é descrito por (Abrahão, 2006).

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Os padrões de qualidade são instrumentos legais promulgados em cada país, pela adaptação de diretrizes (que podem ser estabelecidas pela Organização Mundial da Saúde), às prioridades nacionais, baseadas nas condições ambientais econômicas, culturais, sociais, tecnológicas e em seus condicionantes políticos institucionais. Os padrões de qualidade da água são, além disto, função dos usos previstos para o corpo hídrico (Abrahão, 2006).

O marco legal e central para a regulação dos efluentes industriais que são gerados pelas diferentes indústrias dentro do território moçambicano são os regulamentos sobre padrões de qualidade ambiental e de emissão de efluentes de junho de 2004, que foi publicada nos termos do artigo 10 da Lei n.º 20/97, de 1 de outubro, e ao abrigo do artigo 33 da mesma lei, decretada pelo Conselho de Ministro.

Dentro dos regulamentos estabelecidos pelo Conselho de Ministros estão patentes as disposições gerais (definições) sobre os efluentes no seu Capítulo I, as regulamentações sobre a qualidade do ar no Capítulo II, as regulamentações sobre a qualidade da água no Capítulo III, as regulamentações sobre a qualidade do solo no Capítulo IV, as regulamentações sobre as emissões de ruídos no Capítulo V e por fim as disposições finais e transitórias no Capítulo VI. Dentro dessas regulamentações estão inseridos os limites máximos e mínimos na qual a indústria tem a permissão de emitir, em casos de emissão de quantidades acima do estabelecido, já existe do mesmo modo os agravantes a pagar pela emissão dos mesmos.

2.4. A necessidade de tratamento dos efluentes

A escassez dos recursos naturais tem levado a leis ambientais cada vez mais rígidas, e os custos envolvidos com o uso destes recursos vêm se tornando mais crescentes no sector industrial, levando as indústrias a buscar alternativas que minimizem estes custos procurando desta forma reduzir os impactos ambientais (Menezes & Ramos, 2018).

Na indústria, a água é utilizada em muitos processos como matéria-prima, solvente de processos, meio de transporte, agente de limpeza, fonte de vapor, etc., e geralmente parte dessa água é devolvida para a natureza com dejectos, suja, sem condições de uso e, quando chega aos rios, está com alto poder contaminante, ocasionando a sua poluição como é abordado por Costa *et al.* (2009).

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Com o rápido desenvolvimento das indústrias, os tipos e a quantidade de águas residuais estão aumentando rapidamente, e a poluição da água está se tornando cada vez mais extensa e séria, ameaçando a saúde e a segurança dos seres humanos (Han, 2021).

Ainda de acordo com Han (2021) os recursos hídricos podem ser reutilizados por meio do tratamento de águas residuais para melhorar significativamente a taxa de utilização dos recursos hídricos e evitar a expansão da poluição. O conceito de desenvolvimento sustentável é uma importante estratégia de nosso país, que é preconizada tanto econômica quanto ambientalmente.

No mesmo campo de pensamento, Menezes & Ramos (2018) citando a OMS (1973), definem os diferentes tipos de reuso da água, sendo eles:

- **Reuso indirecto:** ocorre quando a água já usada, uma ou mais vezes para uso doméstico ou industrial é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas e utilizadas novamente a jusante, de forma diluída;
- **Reuso directo:** é o uso planeado e deliberado de esgotos tratados para certas finalidades como irrigação, uso industrial, recarga de aquífero e água potável;
- **Reciclagem interna:** é o reuso da água internamente nas instalações industriais, tendo como objectivo a economia de água e o controle da poluição;
- **Reciclagem planeada da água:** ocorre quando o reuso é resultado de uma ação humana consciente, adiante do ponto de descarga do efluente a ser usado de forma directa ou indirecta.

O tratamento eficaz de águas residuais industriais é propício para promover o desenvolvimento sustentável da economia regional e proteger o ambiente ecológico circundante. O ambiente também reflete a direção e o grau de desenvolvimento regional e afecta o nível de desenvolvimento da modernização empresarial (Han, 2021).

A Organização Mundial da Saúde apresentou a seguinte definição de poluição das águas: “a água está poluída quando a sua composição ou o seu estado está de tal modo alterado que já não reúne as condições necessárias (propriedades físicas, químicas e biológicas) para a utilização as quais estava destinada no seu estado natural”. Uma vez assim, é imprescindível a necessidade do tratamento de efluentes líquidos, como esgotos e despejos industriais, antes que estes sejam lançados nos corpos receptores.

2.5. Tratamento de Efluentes Industriais

Existem várias fontes de contaminação da água, por exemplo, residências, indústrias, minas e infiltrações, mas uma das maiores continua sendo o uso em larga escala de água pela indústria. Quatro categorias de água são geralmente distinguidas: (1) águas pluviais (escoamento de superfícies impermeáveis), (2) águas residuais domésticas, (3) águas agrícolas e (4) águas residuais industriais (Crini & Lichtfouse, 2019).

Na mesma zona de conhecimento de Costa *et al.* (2009), Crini & Lichtfouse (2019) afirmam que pode-se afirmar que as indústrias são uma das grandes responsáveis pelo impacto ambiental, em razão dos resíduos gerados pela operação fabril e que uma das formas de poluição é o lançamento de efluentes, tanto do processo produtivo como efluentes sanitários.

Defendendo da necessidade de tratamento Jern (2006) volta a reafirmar que as águas residuais industriais inadequadamente tratadas lançadas nos rios afectariam não apenas a água doce nessas áreas, mas também as águas costeiras e marítimas receptoras.

2.5.1. Classificação dos processos de tratamento de Efluentes Industriais

O tipo de sistema de tratamento de águas residuais projectado para uma instalação industrial será baseado nas características das águas residuais e nas características exigidas das águas residuais ameaçadas. As características das águas residuais são uma função do tipo de indústria e sua fabricação específica ou processo de produção e a maneira (Rowe, 2000).

Para Santos *et al.* (2012) citado pelo de Silva *et al.* (2020), os processos de tratamento podem ser classificados em Físicos, Químicos e Biológicos. Estes podem ser compreendidos no processo de tratamento dos efluentes industriais da seguinte forma:

2.5.1.1. Processos Físicos

São os processos que basicamente removem os sólidos em suspensão sedimentáveis e flutuantes através de processos físicos, como gradeamento (remoção de sólidos grosseiros através de grades mecânicas ou de limpeza manual), peneiramento (remoção, através de

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

peneiras, de sólidos normalmente com diâmetros superiores a 1 mm), separadores de óleo e gorduras (caixa de área), sedimentação e/ou flotação (de Silva *et al.*, 2020).

a) Gradagem

As grades são dispositivos constituídos por barras paralelas e igualmente espaçadas (Figura 3) que se destinam a reter sólidos grosseiros em suspensão e corpos flutuantes. A gradagem é a primeira unidade de uma estação de tratamento de esgoto, sendo que essa unidade, só não deve ser prevista, na ausência total de sólidos grosseiros no afluente a ser tratado.



Figura 3. Grade de contenção de uma estação de tratamento. Fonte: Marcondes (2012).

b) Peneiração

A peneiração tem como objectivo principal, a remoção de sólidos grosseiros com granulometria maior que 0,25 mm. As peneiras podem ser classificadas em estáticas e rotativas (Figura 4). Estas devem ser usadas principalmente, em sistemas de tratamento de águas residuais industriais, sendo que, em muitos casos, os sólidos separados podem ser reaproveitados.



Figura 4. Peneira rotativa. Fonte: Marcondes (2012).

c) Caixas de gorduras

Os líquidos, as pastas e demais corpos não miscíveis com a água, mas em virtude de terem um peso específico menor, logo tenderem a flutuar na superfície, podem ser retidos por dispositivos muito simples – as caixas de gordura. As caixas podem ser circulares ou retangulares.

d) Flotação

A flotação é o movimento ascendente de partículas, provocado pelo aumento das forças de empuxo em relação às gravitacionais. Essas forças de empuxo são causadas, pela adesão de bolhas de ar nas partículas sólidas. A flotação tem sido empregada, nos sistemas de tratamento de águas residuais, para a separação líquido-óleos, líquido-algas e líquido-sólidos suspensos. Os materiais menos densos encaminham-se para a parte superior de um decantador, inviabilizando sua operação; por isso, esses materiais devem ser removidos, através de flotação. Entretanto, os sólidos mais densos que a água, também podem ser removidos por flotação. Com a agregação entre o gás e os sólidos as partículas ficam menos densas tendendo a flotar.

2.5.1.2. Processos Químicos

São considerados processos químicos as operações unitárias que utiliza-se de produtos químicos, tais como: agentes de coagulação, floculação, neutralização de pH, oxidação, redução e desinfecção em diferentes etapas dos sistemas de tratamento; através de reações químicas que promovem a remoção dos poluentes ou condicionem a mistura de efluentes a ser tratada aos processos subsequentes (de Silva *et al.*, 2020).

2.5.1.3. Processos Biológicos

São considerados como processos biológicos, aqueles que necessitam da ação de microorganismos aeróbios ou anaeróbios, na transformação da matéria orgânica, sob a forma de sólidos dissolvidos e em suspensão, em compostos simples como sais minerais, gás carbônico, água e outros, sendo que este processo se subdivide em aeróbios e anaeróbios (Marcondes, 2012).

a) Processos biológico aeróbico

No tratamento biológico aeróbio, os microorganismos, mediante processos oxidativos, degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como "alimento" e fonte de energia, sendo que nesse processo ocorre a utilização de O₂ para que ocorra a biodegradação. Dentre os processos aeróbios o processo de lodo activado é o mais aplicado e também o de maior eficiência, o termo lodo activado designa a massa microbiana floculante que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos a aeração (Marcondes, 2012).

b) Processos biológicos anaeróbicos

O tratamento anaeróbico é baseado em um processo microbiológico, como a fermentação do metano, durante o qual cepas bacterianas devidamente selecionadas convertem os resíduos orgânicos contidos no esgoto em biogás (metano e CO₂). As bactérias envolvidas no processo são encontradas no lodo anaeróbio: floculento e granular (Zajda & Aleksander-Kwaterczak, 2019).

2.5.2. Tipos de Tratamento de Efluentes Industriais

Quando a água está poluída e a descontaminação se torna necessária, a melhor abordagem de purificação deve ser escolhida para atingir os objectivos de descontaminação (conforme estabelecido pela legislação). Um processo de purificação geralmente consiste em cinco etapas sucessivas conforme descrito na figura 5: (1) tratamento preliminar ou pré-tratamento (físico e mecânico); (2) tratamento primário (físico-químico e químico); (3) tratamento secundário ou purificação (química e biológica); (4) tratamento terciário ou final (físico e químico); e (5) tratamento do lodo formado (descarga supervisionada, reciclagem ou incineração). Em geral, as duas primeiras etapas são reunidas sob a noção de pré-tratamento ou etapa preliminar, dependendo da situação (Gunarathne *et al.*, 2018).

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

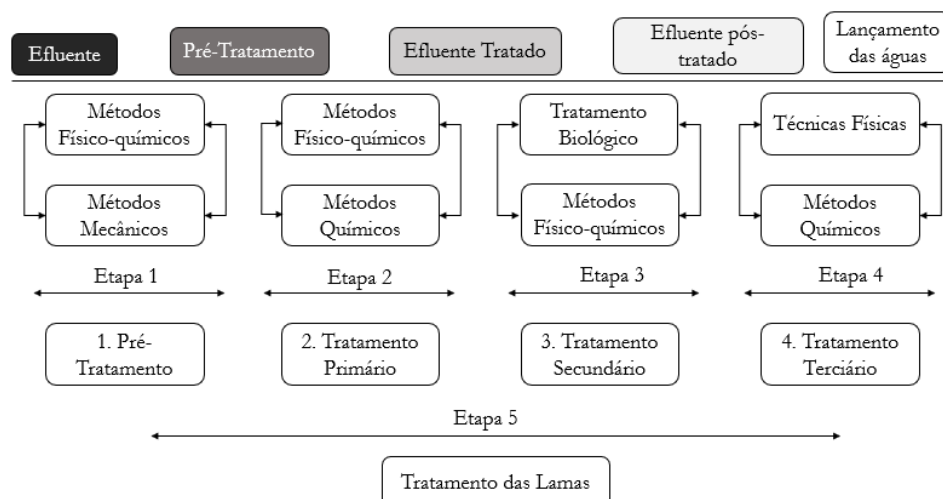


Figura 5. Processos e operações de tratamento de efluentes industriais. Fonte: (Gunarathne *et al.*, 2018).

2.5.2.1. Pré-Tratamento ou Tratamento Preliminar

Com base nos escritos de Costa (2016), o tratamento preliminar tem por objectivo a remoção de sólidos grosseiros (areia, terra, pó de pedra e similares), em caixas de areia; a remoção de sólidos com diâmetro superior a 1 mm em processos subsequentes como: peneiras; sólidos em diâmetros superior a 10 mm utilizando-se a implantação de grades para retenção dos mesmos.

O material colectado nessas telas pode incluir trapos e sacolas plásticas (Figura 6) e estes podem danificar equipamentos mecânicos a jusante, como bombas, prendendo os impulsores. O material colectado nessas prateleiras e telas seria removido regularmente para evitar o desenvolvimento de condições de odor e para evitar o cegamento das telas quando muito material for colectado nelas (Jern, 2006).



Figura 6. Exemplo de triagens coletadas em uma prateleira limpa manualmente. Fonte: Jern (2006).

2.5.2.2. Tratamento Primário

O tratamento primário segue o estágio do tratamento preliminar. O objectivo do tratamento primário é remover sólidos em suspensão sedimentáveis (SS) e normalmente cerca de 60% deles podem ser removidos com sedimentação por gravidade sem auxílio. Embora uma pequena porção do material coloidal e dissolvido possa ser removida com o SS, isso é incidental (Jern, 2006).

Ainda acrescentando, Costa (2016) salienta que o tratamento primário visa à remoção de sólidos sedimentáveis, através de sedimentadores ou flotadores, ou pela associação de coagulação e floculação química para a remoção de matéria orgânica coloidal ou óleos e gorduras emulsionados.

2.5.2.3. Tratamento Secundário

O papel do tratamento secundário é remover o material coloidal e dissolvido remanescente após as etapas de tratamento preliminar e primário. No tratamento de esgoto, o estágio secundário geralmente inclui um processo biológico (Jern, 2006).

Conforme descrito por Marcondes (2012), são considerados como processos biológicos, aqueles que necessitam da acção de microorganismos aeróbicos ou anaeróbicos, na transformação da matéria orgânica, sob a forma de sólidos dissolvidos e em suspensão, em compostos simples como sais minerais, gás carbónicos, água e outros, sendo que este processo se subdivide em aeróbicos e anaeróbicos.

a) Processo Biológico Aeróbico

No tratamento biológico aeróbico, os microorganismos, mediante processos oxidativos, degradam as substâncias orgânicas, que são assimiladas como “alimento” e fonte de energia, sendo que nesse processo ocorre a utilização de O₂ para que ocorra a biodegradação. Dentre os processos aeróbicos, o processo de lodo activado (Figura 7) é o mais aplicado e também o de maior eficiência, o termo lodo activado designa a massa microbiana floculante que se forma quando esgotos e outros efluentes biodegradáveis são submetidos a aeração.



Figure 7. Planta de lodo ativado para tratamento de esgoto. Fonte: Jern, (2006).

b) Processo Biológico Anaeróbico

Nos processos anaeróbicos de tratamento de efluentes são empregados microorganismos que degradam a matéria orgânica presente no efluente, na ausência de oxigênio molecular, tendo como resultado final a produção de metano e dióxido de carbono, deixando na solução aquosa subprodutos como amônia, sulfetos e fosfatos. O processo de digestão é desenvolvido por uma sequência de ações realizadas por uma gama muito grande e variável de bactérias, tendo-se então uma cadeia sucessiva de reações bioquímicas, onde inicialmente acontece a hidrólise ou quebra das moléculas de proteínas, lípidos e carboidratos até a formação dos produtos finais, sendo esses essencialmente o gás metano e dióxido de carbono.

2.5.2.4. Tratamento Terciário

O tratamento terciário destina-se a melhoria da qualidade dos efluentes tratados pelas remoções de cor residual; turbidez (remoção de colóides, metais pesados, nitrogênio, fósforo, compostos orgânicos refractários aos níveis de tratamento anteriores); e desinfecção do efluente tratado. Terciário sugere uma terceira etapa que é aplicada após o processamento primário e secundário. A recuperação de águas residuais consiste em uma combinação de processos de tratamento convencionais e avançados empregados para retornar as águas residuais a qualidade quase original, recuperando a água (Giordano, 2004; Sr. & Junior., 2014).

Em função das características dos efluentes industriais tratados, os processos de tratamento terciários são muitos diversificados; pode-se citar as seguintes etapas: filtração, cloração ou

ozonização para a remoção de bactérias, absorção por carvão activo e outros processos de absorção química para a remoção de cor, redução de espuma e de sólidos inorgânicos tais como: eletrodialise, osmose reversa e troca iônica (Da Costa, 2016).

2.5.3. Tratamento de efluentes usado na Mozal

Assim como outras empresas transformadoras operando em Moçambique, as operações desenvolvidas na Mozal culminam com a produção de águas com características físico-químicas alteradas. E a esse tipo de água gerado nessas empresas o estado moçambicano impede o descarte das mesmas de forma inapropriada, exigindo para estas um tratamento antes do descarte, isto por via a reduzir a quantidade de poluentes dentro dessas águas.

Sendo a Mozal uma empresa que zela pela integridade do meio ambiente, esta predispõe de um sistema de tratamento de efluentes dentro das suas instalações. A Mozal dispõe de um sistema de tratamento que se baseia na diluição dos seus efluentes. Dentro das suas instalações existe um reservatório denominada de “Mix Chamber” (câmara de mistura), onde ocorre a diluição dos seus efluentes. Nesta câmara é introduzida os efluentes que provém das suas produções e que ficam armazenadas em reservatórios (Dam East e Dam West) e uma água “limpa” que é trazida do rio no sistema chamado “Blow Down”. Ocorre a diluição com o objectivo de reduzir a quantidade de flúor (que é a maior preocupação) dentro desses efluentes.

2.6. Impacto dos Efluentes Industriais no meio ambiente

A qualidade dos efluentes de águas residuais é responsável pela degradação dos corpos d'água receptores, como lagos, rios, córregos, etc., a concentração e composição química e microbiológica dos efluentes. Também depende do tipo de descarga, por exemplo, se é a quantidade de sólidos suspensos ou matéria orgânica ou poluentes perigosos como metais pesados e organoclorados, e as características das águas receptoras (Okereke *et al.*, 2016).

As indústrias utilizam matérias-primas, processam-nas e produzem produtos acabados. Além dos produtos acabados, um grande número de subprodutos é produzido após o processamento, mas os industriais os jogam no meio ambiente. Os gases são geralmente liberados na atmosfera, enquanto os líquidos são descarregados em corpos aquáticos como canais, rios ou mar e os

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

resíduos sólidos são despejados na terra ou em corpos aquáticos como é descrito por (Afrad *et al.*, 2020).

Conforme Sharma 1994 citado por Adeolu (2016), o impacto dos efluentes industriais sobre o meio ambiente não se limita apenas aos corpos d'água, mas abrange toda a parte do meio ambiente. Os vários componentes do meio ambiente interagem uns com os outros, portanto, mais cedo ou mais tarde, os danos causados aos corpos de água logo seriam sentidos pela terra e pela atmosfera, o impacto do efluente industrial seria discutido na medida em que afecta cada componente do meio ambiente, a saber:

- Impacto nos corpos d'água (Hidrosfera);
- Impacto nos solos (Litosfera);
- Impactos no ar (Atmosfera);
- Impactos nos Humanos e no Ecossistema.

2.6.1. Impactos dos Efluentes Industriais nos corpos de água (Hidrosfera)

Os ambientalistas expressaram preocupação sobre questões como aquecimento global, destruição da camada de ozônio, crescimento populacional, destruição de florestas tropicais, poluição do ar, poluição da água, esgotamento e contaminação dos lençóis freáticos (Olajumoke *et al.*, 2010). O lançamento de efluentes industriais em corpos hídricos é uma das principais causas de poluição e degradação ambiental em muitas cidades, principalmente em países em desenvolvimento. Muitas dessas indústrias carecem de regulamentações de resíduos líquidos e sólidos e instalações de descarte adequadas para resíduos nocivos. Esses resíduos podem ser infecciosos, tóxicos ou radioativos (Nwosu *et al.*, 2014).

A contaminação do abastecimento de água potável por resíduos industriais é resultado de vários tipos de processos industriais e práticas de descarte (Mathubala *et al.*, 2015). A poluição do ambiente aquático foi definida pela UNESCO/OMS/PNUMA como a introdução pelo homem, directa ou indirectamente, de substâncias ou energia no ambiente marinho que resulte em efeitos deletérios como danos aos recursos vivos, riscos a saúde humana, impedimento de actividades marinhas, incluindo a pesca e deterioração da qualidade do uso da água do mar (Olajumoke *et al.*, 2010).

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Olajumoke *et al.* (2010) salientam ainda que outras práticas de disposição que causam a contaminação da água incluem injeção em poços profundos e disposição inadequada de resíduos em depósitos de superfície.

Os resíduos industriais consistem em substâncias orgânicas e inorgânicas. Os resíduos orgânicos incluem resíduos de pesticidas, solventes e fluidos de limpeza, resíduos dissolvidos de frutas e vegetais e lignina de celulose e papel, para citar alguns. Os efluentes também podem conter resíduos inorgânicos, como sais de salmoura e metais (Mathubala *et al.*, 2015), contêm ainda matérias de algas, matéria orgânica não biodegradável, metais pesados e outros tóxicos que deterioram o meio ambiente e o fluxo receptor (Nwosu *et al.*, 2014).

Poluentes não biodegradáveis são aqueles que não podem ser decompostos por microorganismos e, portanto, persistem no meio ambiente e se tornam tóxicos para a vida. Exemplo inclui metais pesados como mercúrio, chumbo, cádmio, cromo entre outros (Mathubala *et al.*, 2015).

Os níveis de contaminantes na água potável raramente são altos o suficiente para causar efeitos agudos (imediatos) na saúde. Exemplos de efeitos agudos para a saúde são náuseas, irritação pulmonar, erupções cutâneas, vômitos, tonturas e até a morte. Os contaminantes são mais propensos a causar efeitos crônicos a saúde - efeitos que ocorrem muito tempo após a exposição repetida a pequenas quantidades de um produto químico. Exemplos de efeitos crônicos a saúde incluem câncer, danos hepáticos e renais, distúrbios do sistema nervoso, danos ao sistema imunológico e defeitos congênitos (Mathubala *et al.*, 2015).

O chumbo, um dos principais poluentes ambientais, é um veneno para vários órgãos que, além de efeitos tóxicos bem conhecidos, deprime o estado imunológico, causa danos ao sistema nervoso central, rins e sistema reprodutivo. A ingestão de chumbo leva a uma doença conhecida como plumbismo, que foi associada a sintomas como dor de cabeça, irritabilidade, dor abdominal e vários sintomas relacionados ao sistema nervoso, enquanto as intoxicações por cádmio, cobre e zinco apresentaram sintomas como distúrbios gastrointestinais, diarreia, estomatite, tremor, ataxia, paralisia, vômitos, convulsão, depressão e pneumonia (Nwosu *et al.*, 2014).

2.6.2. Impactos dos Efluentes Industriais nos solos (Litosfera)

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Efluentes industriais quando lançados a céu aberto ou em terras agrícolas contaminam o solo com metais pesados e poluentes orgânicos (Singh, 2012). Assim, a contaminação ocorre por elementos tóxicos desde a água até a cadeia alimentar através do solo e das culturas de campo (Afrad *et al.*, 2020).

Às vezes, os efluentes, especialmente o lodo da estação de tratamento de água ou esgoto, são descartados usando-os como corretivos do solo ou apenas indiscriminadamente para lixões. Quando esses efluentes ou lodos (conforme o caso) contiverem materiais tóxicos e metais pesados, passam imediatamente a fazer parte do solo; quando esses materiais tóxicos e metais pesados se tornam ionizados (ou seja, na forma solúvel), eles podem ser colhidos pela raiz da planta e bioacumulados nos tecidos da planta (Adeolu, 2016).

Metais tóxicos (Pb, Ni, Cd e Cr) em efluentes contaminam o meio ambiente e também alteram as propriedades químicas do solo como pH, matéria orgânica do solo (Afrad *et al.*, 2020; Singh, 2012).

2.6.3. Impactos dos Efluentes Industriais no ar (Atmosfera)

Subscrevendo-se aos ideais de Ghosh (2002), Adeolu (2016) afirma que o efluente especialmente quando contém alto DBO e outros poluentes orgânicos, tende a exalar mau cheiro. Isso piora quando os resíduos não são dosados adequadamente com o oxigênio necessário para digerir efectivamente a matéria orgânica complexa em uma forma mais simples. Gases repugnantes como sulfeto de hidrogênio (H₂S), cianeto (CN) entre outros são muito notórios a esse respeito. Com o lançamento descontrolado de efluentes/águas residuais, o indesejável mau cheiro pode se tornar uma ameaça aos habitantes dessa localidade.

2.6.4. Impactos dos Efluentes Industriais nos Humanos e seu Ecossistema

A poluição do meio ambiente ocorre quando o meio ambiente se torna incapaz de processar e neutralizar subprodutos nocivos de actividades naturais, humanas ou industriais (Otutayo *et al.*, 2016).

Os níveis excessivos desses poluentes no meio ambiente estão causando muitos danos à saúde humana e animal, plantas e árvores, incluindo locais de floresta tropical. Efluentes industriais carregam vários tipos de contaminantes, como; metais, matéria orgânica e inorgânica,

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Hidrocarbonetos Aromáticos Policíclicos (PAHs), microorganismos, etc., no ambiente, especialmente nos sistemas aquáticos (Otutayo *et al.*, 2016)

O impacto na saúde humana é o critério mais importante a ser analisado, além do efeito nas águas superficiais e subterrâneas sobre organismos vivos e sedimentos. Os metais, mostraram o maior potencial de risco a saúde. No entanto, a matéria orgânica também trará impacto adverso a saúde humana. A descrição dos efeitos causados por alguns metais na saúde humana são descritos a seguir conforme mostrado por Ho *et al.* (2012).

a) Alumínio (Al)

Altas concentrações de alumínio podem causar danos a função cerebral, como danos a memória e convulsões. Além disso, há estudos sugerindo que o Al está ligado a doença de Alzheimer.

b) Cádmio (Cd)

O Cádmio é prejudicial tanto para a saúde humana quanto para os ecossistemas aquáticos. O cádmio é carcinogênico, embriotômico, teratogênico e mutagênico, podendo causar hiperglicemia, redução da imunopotência e anemia, pois interfere no metabolismo do ferro. Além disso, foi demonstrado que o cádmio no corpo resulta em danos renais e hepáticos e deformação das estruturas ósseas.

c) Ferro (Fe)

O ferro é um elemento essencial em diversos processos bioquímicos e enzimáticos. Envolve o transporte de oxigênio para as células. Porém, em alta concentração, pode aumentar a produção de radicais livres, responsáveis por doenças degenerativas e envelhecimento.

d) Mercúrio (Hg)

O mercúrio pode causar danos cerebrais, doenças cardíacas e renais e pulmonares em humanos. Em concentrações muito baixas, o Hg pode danificar permanentemente o sistema nervoso central humano. Inorgânicos e mercúrio através de processos biológicos, podem ser convertidos em MeHg. O MeHg é orgânico, tóxico e persistente. Além disso, o MeHg pode atravessar as barreiras placentárias e levar a danos cerebrais fetais.

e) Fluoretos

Alta concentração de flúor pode causar fluorose dentária e esquelética, como manchas nos dentes, deformação dos ligamentos e flexão da medula espinhal.

f) Nitratos

Altas concentrações de nitrato causam metemoglobinemia em bebês e podem causar cancro. No sangue, o nitrato converte a hemoglobina em metemoglobina, onde não transporta oxigênio para as células do corpo, o que pode levar a morte por asfixia.

2.7. A Mozal

A Mozal é uma empresa de fundição de alumínio, com capitais sul-africanos e australianos; é um dos grandes projectos de exportação em Moçambique. A fábrica situa-se no parque industrial de Beluluane na Matola, Sul do País, a 20 km da capital Maputo (Figura 8).



Figura 8. Visão geral da fábrica da Mozal.

A South32 é a empresa que opera a Mozal. É uma empresa global de mineração e metal que produz bauxita, alumina (substância pulverulenta branca), minério de alumínio (bauxita), carvão energético e metalúrgico, manganês, níquel, prata, chumbo e zinco em sua fábrica na Austrália, África Austral e América do Sul (Tchamo, 2021).

De acordo com Esty (2003) o projecto teve as seguintes fases:

De 1997 a 1999 – fase de construção - a construção da Mozal teve início em maio de 1998. Nos termos de financiamento, todo o risco de construção da Mozal foi assumido pelos accionistas. A construção da fábrica esteve sob responsabilidade de um consórcio constituído pelas empresas SNC Lavalin-EMS Ltda e Murray & Robertss que também se responsabilizou pela contratação da mão-de-obra, serviços e processos de procurement.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

De 2000 a 2003 – Fase de conclusão mecânica e de operação - a fase de operação foi caracterizada por teste de funcionamento das máquinas e equipamentos dos vários departamentos de produção e conclusão final das obras. A conclusão técnica da Mozal foi a 8 de abril de 2001, com as operações a realizarem acima da expectativa e a melhor conclusão jamais verificada em projectos similares. A entrega do projecto pela empresa construtora à Billiton aconteceu entre dezembro de 2000 a março de 2001. O primeiro lingote de alumínio viria então a ser produzido a 18 de junho do ano de 2000.

O projecto Mozal tem como um dos accionistas uma Join Venture definida entre a Alusaf (Alumínios da África do Sul) e a IDC (Corporação Internacional para o Desenvolvimento). A Alusaf estava interessada em construir uma fábrica de alumínio fazendo uso da disponibilidade da energia eléctrica (maior componente de custos para a produção de alumínio) existente em Moçambique. Das discussões foi criada uma sociedade de propósito específico de nome Mozal (Mozambique Aluminium) que proporcionaria o sul de Moçambique de novas infraestruturas eléctricas e industriais.

O projecto da Mozal foi o primeiro e mais ambicioso dos grandes projectos extractivos de Moçambique, e sua actividade consiste, basicamente, na importação de alumina e coque para processamento e na exportação de lingotes de alumínio fundido. Pensado em 1995 com um orçamento bilionário, durante boa parte da década de 2010 a Mozal foi a empresa com maior facturamento de Moçambique.

Tal sucesso foi amplamente facilitado pelo terminal de alumínio do porto da Matola (nos arredores da capital Maputo), com capacidade de manusear 600 mil toneladas da matéria-prima importada e 250 mil toneladas do material acabado para exportação, e cuja construção estava inclusa no projecto (Neto, 2019).

2.8. Metodologias

Os métodos utilizados no presente trabalho, permitiu não só descrever minuciosamente a pesquisa, assim como também estes serviram como um meio para a introdução dos conhecimentos adquiridos pelo autor dentro da academia.

Assim como é relatado por Marconi & Lakatos (2017), o método é o conjunto das actividades sistemáticas e racionais que, com maior segurança e economia, permite alcançar o objectivo de

produzir conhecimento válidos e verdadeiros. E no mesmo diapasão Gil (2008) define método como sendo o caminho para se chegar a determinado fim, e método científico como sendo como o conjunto de procedimentos que possibilitam chegar a esse conhecimento.

A seguir serão descritos os métodos científicos utilizados no presente trabalho assim como os respectivos tipos de pesquisa.

2.8.1. Métodos científicos

Com base nos escritos de Gil (2008), os métodos científicos podem ser agrupados em duas grandes classes, a saber: **os métodos que proporcionam as bases lógicas da investigação e os métodos que indicam os meios técnicos da investigação**. Os métodos escolhidos no presente trabalho foram de acordo com as informações que se pretendiam transmitir no mesmo. A seguir são detalhados esses métodos.

2.8.2. Métodos que proporcionam as bases lógicas da investigação

Para este tipo de método, foi selecionado o método hipotético-dedutivo como o método ideal, e preciso para se enquadrar no presente trabalho. Como é elucidado por Karl R. Popper (1975, p. 140-141) citado por Marconi & Lakatos (2017), este método parte de um *problema*, ao qual se oferece uma solução provisória, uma *teoria-tentativa*, passando-se depois a criticar a solução, com vista à *eliminação do erro*. Gil (2008) elucida ainda mais este método explicando os processos do método hipotético-dedutivo, afirmando que: quando os conhecimentos disponíveis sobre determinado assunto não são insuficientes para a explicação de um fenômeno, surge o problema. Para explicar a dificuldade expressa no problema, são formuladas conjunturas ou hipóteses. Das conjunturas formuladas, deduzem-se consequências que deverão ser testadas ou falseadas. Falsear significa tentar tornar falsas as consequências deduzidas das hipóteses. Enquanto que no método dedutivo procura-se a todo custo confirmar a hipótese, no método hipotético-dedutivo, ao contrário, procuram-se evidências empíricas para derrubá-las.

Este método se encaixa perfeitamente para o trabalho em questão, pois, como foi elucidado mais acima, o trabalho parte da existência de um problema que se tem em vista a sua resolução, e com o problema em questão são formuladas hipóteses que com base em análises experimentais poderão ser falseadas e outras mesmo poderão ser aceites.

2.8.3. Métodos que indicam os meios técnicos da investigação

Nesta classe foram seleccionados os seguintes métodos: experimental e o método monográfico.

O método experimental é definido por Gil (2008) o método experimental consiste experimentalmente em submeter os objectos de estudo a influência de certas variáveis, em condições controladas e conhecidas pelo investigador, para se observar os resultados que a variável produz no objecto. Atendendo e considerando que o trabalho em questão basicamente se irá produzir resultados com base na submissão das amostras a testes laboratoriais, o uso deste método é justificado pelo simples facto deste poder se utilizar somente quando os objectos em estudo são submetidos a certas variáveis de controlo. Diferente não se procederá neste trabalho, as análises laboratoriais fornecerão dados sobre as nossas amostras, onde estes mesmos dados irão fornecer informações detalhadas das mesmas.

Em relação ao método monográfico, Marconi & Lakatos (2017) define este como sendo aquele método que parte do princípio de que o estudo de um caso em profundidade pode ser considerado representativo de muitos outros ou mesmo de todos os casos semelhantes.

2.9. Pesquisa científica

Como enunciado por Gerhardt & Silveira (2009) a pesquisa científica é o resultado de um inquérito ou exame minucioso, realizado com o objectivo de resolver um problema, recorrendo a procedimentos científicos. A seguir serão descritos os tipos de pesquisa que foram usadas para a realização do presente trabalho.

2.9.1. Quanto à abordagem

Para esta classificação, o trabalho apenas cingiu-se no uso da pesquisa quantitativa. Gerhardt & Silveira (2009) providência uma compreensão precisa deste tipo dizendo que este tipo de pesquisa é aquele que se baseia na obtenção de resultados que podem ser quantificados/enumerados. Como as amostras são grandes e consideradas representativas da população, os resultados destes são tomados como se constituíssem um retrato real de toda a população alvo da pesquisa. A pesquisa quantitativa se centra na objectividade.

O mesmo se enquadrou neste trabalho devido ao tipo de amostra na qual se trabalhou. Tratando-se de amostras líquidas, é impossível retirar toda a população para se realizar o estudo, sendo assim como se procedeu nesse trabalho, apenas amostras representativas foram tomadas, e com estas se obteve resultados que por fim se fez uma generalização para a população toda.

2.9.2. Quanto à natureza

Recorreu-se Pesquisa Aplicada, que pode ser definida como sendo aquela que objectiva gerar conhecimentos para aplicação prática, dirigidos à solução de problemas específicos, e estas envolvem verdades e interesses locais, como é definido por Gerhardt & Silveira (2009).

2.9.3. Quanto aos objectivos

Fez-se o uso apenas das Pesquisas Explicativas. Para Gil (2008) este tipo de pesquisa preocupa-se em identificar os factores que determinam contribuem para a ocorrência dos fenómenos, ou seja, este tipo de pesquisa explica o porquê das coisas através dos resultados oferecidos. Atendendo e considerando que o presente trabalho resultou da obtenção de resultados laboratoriais e com a posterior interpretação dos mesmos, o método se encaixou perfeitamente naquilo que era a directriz do trabalho.

2.9.4. Quanto aos procedimentos

No que tange a este tipo de pesquisa, o trabalho cingiu-se no uso da Pesquisa Experimental, Bibliográfica e Documental. Gerhardt & Silveira (2009) define a pesquisa experimental como sendo a que segue um planeamento rigoroso. Onde as etapas iniciam pela formulação exacta do problema e das hipóteses, que delimitam as variáveis precisas e controladas que actuam no fenómeno estudado. Ao passo para Gil (2008), a pesquisa experimental consiste em determinar um objecto de estudo, seleccionar as variáveis que seriam capazes de influenciá-lo, definir as formas de controle e de observação dos efeitos que a viável produz no objecto.

Gerhardt & Silveira (2009) define pesquisa bibliográfica como sendo aquela que é feita a partir do levantamento de referências teóricas já analisadas, e publicadas por meios escritos e electrónicos, como livros, artigos científicos, páginas de web sites. E a documental como sendo aquelas que recorre a fontes mais diversificadas e dispersas, sem tratamento analítico, tais como: tabelas estatísticas, jornais, revistas, relatórios, documentos oficiais, cartas, filmes, fotografias.

A partir do uso da técnica experimental foi possível delinear os passos e procedimentos essenciais para a concatenação da parte laboratorial do presente trabalho e com isso facilitar a organização do mesmo. Com a técnica bibliográfica foi possível alicerçar ainda mais os conhecimentos com base em livros, artigos e outros itens do campo dos efluentes industriais.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGIAS DO TRABALHO

3.1. Amostragem e Área de estudo

O presente estudo teve como área de estudo a fábrica da Mozal. Onde para efeitos dos estudos dos efluentes líquidos gerados pela mesma, foram selecionados pontos críticos na qual pudessem descrever melhor o decurso desses efluentes. As amostras foram colhidas em dois pontos principais, a entrada do efluente para o tratamento (Inlet) e a saída do efluente do tratamento (Outle). Teve-se cuidado na escolha dos pontos de amostragem assim como na recolha dos mesmos, isto porque estas amostras deveriam ser representativas.

3.2. Recolha e conservação das amostras

A figura 9 mostra a recolha das amostras nos locais seleccionados. As análises foram conduzidas em duas fases, sendo assim procedeu-se a recolha das amostras por duas vezes em um intervalo de duas semanas.



Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Figura 9. Recolha das amostras em diferentes pontos: (a) entrada do efluente não tratado; (b) saída do efluente diluído.

As amostras foram colectadas em recipientes plásticos (garrafas), contendo como descrição o local e a data da recolha. No que concerne a conservação, logo após a colheita estas foram colocadas em um coleman contendo gelo (Figura 10), isto por forma a conservar as características presentes nas nossas amostras.



Figura 10. Amostras conservadas no coleman.

3.3. Local da realização das análises

Logo que as amostras foram colhidas, estas foram encaminhadas de para a SwissLab onde foram executadas todas as etapas para a quantificação dos parâmetros que ditam a qualidade deste tipo de efluente. Laboratório este que se localiza na Província de Maputo, Cidade da Matola, avenida da Namaacha, e é especializada no controle de qualidade.

3.4. Parâmetros de análise

Para a caracterização dos efluentes nos diferentes pontos da amostragem, foram realizados para tal as seguintes análises: o pH, a Demanda Química de Oxigênio (DQO), os Sólidos Totais Suspensos, o Fluoreto, o Alumínio, o Mercúrio, os Óleos e graxas, o Cloro livre a Temperatura das amostras.

Dentre os parâmetros acima citados, o pH e a temperatura nas amostras foram os primeiros parâmetros a serem determinados isto por conta da sensibilidade dessas características dentro de uma amostra. No que tange aos métodos de análises empregues para a determinação desses

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

parâmetros, foram usados os métodos oficiais dentro da Swisslab, estes por sua vez são padronizados pelas autoridades reguladoras do ramo.

CAPÍTULO IV

4. APRESENTAÇÃO DOS RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste presente capítulo constará informações referentes a empresa que constitui o caso de estudo, onde se fará uma breve descrição da mesma. Ainda no mesmo capítulo serão apresentados aquilo que são os resultados que foram retirados do laboratório. Ainda nesta sessão será feita a discussão dos mesmos resultados obtidos com o objectivo central de responder os objectivos específicos assim como também para se verificar as hipóteses levantadas no presente trabalho.

4.1. Apresentação dos resultados

Os resultados obtidos das análises laboratoriais estão apresentados em forma de tabelas, onde a primeira tabela (Tabela 2) corresponde ao primeiro lote de colheita das amostras, e a segunda (Tabela 3) corresponde ao segundo lote da recolha das amostras. Nestas mesmas tabelas estão inseridos, os tipos de análises, os métodos analíticos, as unidades, os valores limites dos parâmetros e os nomes dos locais da colheita das amostras.

Tabela 2. Resultados da primeira amostragem (25.04.2023)

Parâmetros	Unidades	Valor Limite	Entrada	Saida	Ponto de descarga
pH	Sorensen	6.0 – 9.0	7.98	8.39	8.20
DQO	mg/L	150	75	70	53
STS	mg/L	60	60	40	60
Fluoreto	mg/L	20	40.2	2.85	1.73
Alumínio	mg/L	0.2	0.659	< 0.006 (LQ)	< 0.006 (LQ)
Mercúrio	mg/L	3.5	< 0.001 (LQ)	< 0.001 (LQ)	< 0.001 (LQ)
Óleos e graxas	mg/L	10	< 1.0 (LQ)	< 1.0 (LQ)	< 1.0 (LQ)
Cloro livre	mg/L	0.20	0.01	< 0.01 (LQ)	< 0.01 (LQ)
Temperatura	°C	<=30 °C	24.2	23.7	23.8

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Tabela 3. Resultados da segunda amostragem (12.05.2023).

Parâmetros	Unidades	Valor Limite	Entrada	Saida	Ponto de descarga
pH	Sorensen	6.0 – 9.0	6.98	7.91	7.67
DQO	mg/L	150	64	106	284
STS	mg/L	60	20	60	20
Fluoreto	mg/L	20	52.6	7.38	4.03
Alumínio	mg/L	0.2	22.9	0.01	0.05
Mercúrio	mg/L	3.5	< 0.001 (LQ)	1.54	< 0.001 (LQ)
Óleos e graxas	mg/L	10	< 1.0 (LQ)	< 1.0 (LQ)	< 1.0 (LQ)
Cloro livre	mg/L	0.20	0.06	0.04	<0.02
Temperatura	°C	≤30 °C	24.7	24.5	24.6

Onde: **pH** – Potencial hidrogeniônico; **DQO** – Demanda Química de Oxigênio; **STS** – Sólidos Totais Suspensos; **mg/L** – Miligramas por litro; **LQ** – Limite de quantificação.

Vale repisar que a colheita das amostras para o presente estudo foi efectuada em tempos diferentes como ilustram as datas da tabela 2 e 3. Optou-se por realizar desta maneira a colheita por forma a compreender as como as características desses efluentes muda, evolui ou se desenvolve ao longo do tempo. Não obstante ao facto explicado, a escolha do tempo de colheita também foi com o objectivo de avaliar aquilo que é a eficiência do tratamento ao longo do tempo.

4.2. Discussão dos resultados

Nesta secção foram discutidos e interpretados os resultados obtidos durante a execução laboratorial, onde esta discussão foi baseada nos valores estabelecidos pela legislação sobre a emissão de efluentes (publicada nos termos do artigo 10 da Lei n.º 20/97, de 1 de outubro) assim como em trabalhos relacionados com o tema em questão. Com o objectivo de ilustrar as diferenças entre os valores obtidos nas análises com os valores das legislações e trabalhos

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

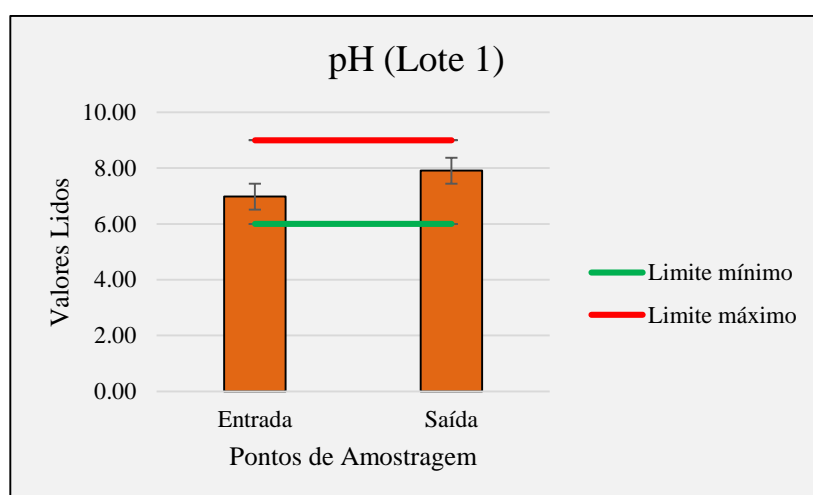
similares, a discussão foi feita baseando-se na comparação das análises dos dois lotes das amostras.

4.2.1. O pH

Em conformidade com o exposto por Okereke *et al.* (2016) e Copaciu *et al.* (2015) a concentração de iões de hidrogênio é um importante parâmetro de qualidade de águas naturais e residuais. É usado para descrever as propriedades ácidas ou básicas das águas residuais, e o mesmo influencia a maioria das reações químicas e bioquímicas.

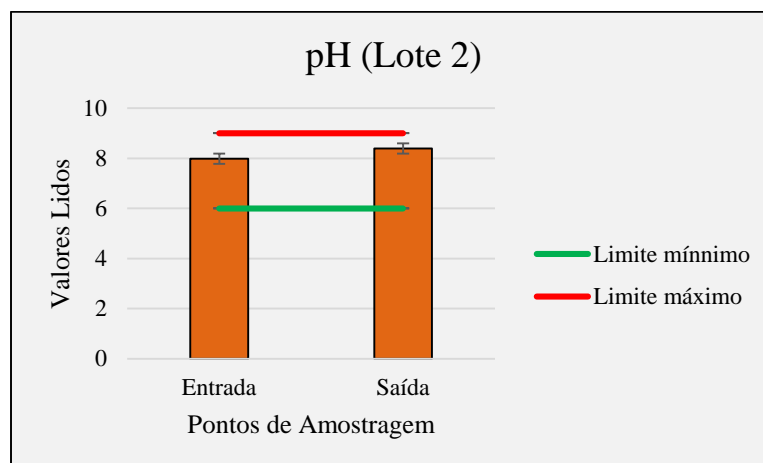
A partir da tabela 2 referente aos resultados das análises do primeiro lote de amostra, é notável a diminuição no que concerne aos valores do pH saindo do tratamento para o ponto de saída (de 7.89 para 8.39). Não fugindo a regra, o segundo lote das análises também se verifica o mesmo comportamento de decréscimo no valor de pH desde o tratamento para o ponto de saída (de 6.68 para 7.91).

Apoiando-se na legislação moçambicana reguladora dos valores limites na qual o efluente de uma indústria de alumínio deve possuir, estão patentes que para uma indústria transformadora como esta os valores de pH nos efluentes não devem extrapolar o intervalo de 6.0 – 9.0. Alienando este valor padronizado com os valores obtidos das análises laboratoriais para ambos os lotes das amostras, é visível que os efluentes retirados pela Mozal possuíram os valores de pH dentro dos limites mínimos e máximos estabelecidos pela norma moçambicana, embora que houve pequenas variações em cifras destes mesmos valores, assim como ilustra os gráficos 1 e 2.



Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Gráficos 1. Gráfico de comparação dos valores de pH das amostras do lote 1. **Fonte:** O autor.



Gráficos 2. Gráfico de comparação dos valores de pH das amostras do lote 2. **Fonte:** O autor.

Ainda em conformidade com os dados nos gráficos acima, é possível notar que de uma forma geral os efluentes gerados na Mozal independentemente do tratamento ou não, estes não ultrapassam o limite máximo estabelecido pela nossa legislação (6.0 – 9.0), o que de certo modo isso pode ser visto com um olhar positivo no que tange aos efeitos que esse efluente pode causar no corpo receptor.

No entanto, não passando despercebido, é possível verificar que para o segundo lote após o tratamento o valor do pH teve um acréscimo, o que não era suposto se verificar. Esse aumento no valor do pH após o tratamento pode ser justificado por diversos motivos de acordo com Jern (2006), a nomear alguns:

- Reações químicas secundárias: mesmo após o tratamento, algumas reações químicas ainda podem decorrer após o processo, como é o caso das interações entre os iões, o que pode ter levado o acréscimo do valor.
- Variação na composição das águas: as águas residuais podem ser afectadas pelos factores externos, como mudança nas actividades da empresa até mesmo nas matérias primas.
- Mudanças nas características físicas: alterações nas características físicas das águas após o tratamento também pode ser um dos motivos por de trás desse crescimento. Características como a temperatura ou a pressão.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

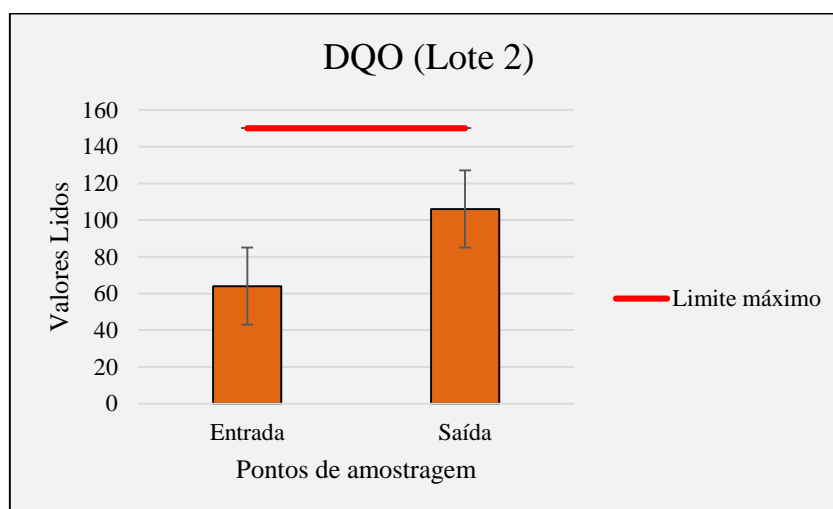
No que concerne a preocupação ambiental em relação ao pH dos efluentes dentro dos corpos receptores Tsujioka & Hamano (2021) faz uma elucidação a cerca dos efeitos das mesmas afirmando que um pH alto ou baixo pode matar peixes, causar esterilidade geral em córregos naturais e inativar os microorganismos essenciais nos processos de tratamento de esgoto.

Ainda no mesmo prisma, Otutayo *et al.* (2016) acrescenta que resíduos de baixo pH são corrosivos para estruturas de aço e concreto em cursos de água ou sistemas de esgoto, e que um efluente meramente ácido pode tornar o solo impróprio para plantio e as águas impróprias para beber ou habitáveis para alguns organismos aquáticos.

4.2.2. A Demanda Química de Oxigênio

A Demanda Química de Oxigênio é um procedimento químico para determinar a quantidade de oxigênio dissolvido necessária por organismos biológicos aeróbicos em um corpo de água para quebrar o material orgânico presente em uma determinada amostra de água a uma determinada temperatura durante um período de tempo específico segundo os escritos de Paul (2011).

Em conformidade com os resultados expostos na tabela 2 referentes ao efluente saído do tratamento (Outlet) para as primeiras amostras assim como para as segundas amostras, é fácil inferir que para este lote a DBO não é um parâmetro na qual pudesse perigar aquilo que eram as características das águas do corpo receptor.



Gráficos 3. Gráfico de comparação dos valores de DQO das amostras do lote 2. **Fonte:** O autor.

No entanto a partir do gráfico acima mostrado é possível notar um aumento na quantidade de DQO na saída do efluente (160 mg/L) em relação a entrada (64 mg/L), pode se colocar algumas observações que possam estar por de trás desse aumento. Conjugados com os ideais de Okereke *et al.* (2016), o aumento dessa quantidade do DQO pode ser explicado por certos acontecimentos como:

- Eficiência do tratamento: o sistema de tratamento poderia não estar aquedado para lidar com o tipo de matéria orgânica presente no efluente em questão, fazendo desse modo com que houvesse uma remoção parcial do mesmo, deixando assim uma quantidade significativa de matéria orgânica.
- Descarga de contaminantes não tratados: poderá ter sido dado o caso de adição de uma fonte de contaminação externa após o processo de tratamento, como vazamentos ou despejos acidentais, o que pode ter acrescido alguma quantidade de matéria orgânica.
- Desvio de fluxo de águas residuais: poderá ter se dado o caso de que uma parte das águas residuais ter sido desviada do seu curso normal e ser directamente juntada com as águas após o tratamento.

De qualquer modo, é sempre recomendável realizar uma avaliação mais detalhada do sistema de tratamento, considerando as características das águas residuais, a eficiência dos processos e as possíveis fontes adicionais de contaminação.

O lançamento de um efluente com elevada quantidade de matéria orgânica, pode acarretar para o corpo de água receptor severas consequências, podendo se citar algumas: perda de ecossistema aquático, morte das espécies aquáticas pela falta de oxigénio, a mudança das reações aeróbicas para as anaeróbicas e por fim podendo culminar com o processo de eutrofização.

4.2.3. Sólidos Totais Suspensos

Para Tsujioka & Hamano (2021) define-se sólidos totais suspensos ou resíduos não filtrável e como sendo o peso seco do resíduo retido pelo filtro. Este é obviamente o material particulado e não as impurezas dissolvidas; embora partículas muito finas e sólidos coloidais não possam ser retidos no filtro.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Observando na tabela 2 os valores obtidos experimentalmente em relação aos sólidos totais suspensos, é possível notar uma igualdade no que tange aos valores dessa característica tanto no efluente de entrada assim como também na amostra após o tratamento. Para esse lote é possível perceber que estes tiveram o valor dos sólidos reduzidos na saída (40mg/L) deste em comparação com a entrada da mesma (60 mg/L).

Ainda no mesmo cenário, para as amostras do lote 2, é possível constatar a partir da tabela 3 que o valor dos sólidos totais retirados do efluente produzido já possuía um valor muito alto (60 mg/L) em comparação como valor que inicialmente foi obtido (20 mg/L).

Esta subida nas quantidades dos sólidos, pode ser justificado por certos acontecimentos, a saber:

- Re-suspensão dos sólidos: poderá se ter dado o caso de que as remoções dos STS não foram por completo, ou seja, uma remoção temporária, fazendo desse modo que os sólidos voltassem a aparecer já no efluente tratado.
- Descarga de materiais adicionais: poderá ter acontecido a adição externa de materiais ao efluente tratado e desse modo a quantidade de sólidos pudesse alterar e apresentar um valor acrescido.

Colocando em confrontação os valores obtidos dos sólidos com o que está padronizado pela norma moçambicana (60 mg/L), fácil é de perceber que para ambos os lotes não houve uma extrapolação de limites, significando desse modo que os efluentes retirados da produção na Mozal cumprem com aquilo que são os requisitos da norma em termos dessa característica em alusão.

Entretanto, há aqui uma necessidade de se preocupar com essa variação dos valores dos sólidos totais para os diferentes lotes. Tratando-se do mesmo sistema de tratamento, era de se esperar que não houvesse uma diferença tão notória no que concerne aos valores, entretanto o contrário se verificou, mostrando dessa maneira que há uma necessidade de monitoramento dessa característica durante o processo de tratamento.

Como elucidado por Grace & Patrick (2015) quando num efluente se verifica altos valores de sólidos suspensos, esses altos valores revelaram que o tratamento desses efluentes não cuidou efectivamente desses sólidos em suspensão. E as altas concentrações de sólidos suspensos

podem se depositar no leito de um rio ou lago e cobrir organismos aquáticos, ovos ou larvas de macroinvertebrados. Este revestimento pode impedir a transferência de oxigênio suficiente e resultar na morte de organismos enterrados e desse modo causar um desequilíbrio no ecossistema aquático.

4.2.4. Temperatura

A temperatura é um factor chave na actividade biológica, uma vez que os microorganismos podem ser psicofílicos, mesofílicos ou termofílicos como relata Messrouk *et al.* (2014).

Pelos dados experimentais obtidos, é possível perceber que o efluente no ponto de saída possuía uma temperatura de 23.7 °C menor em comparação com o valor inicial, como mostra a tabela 2. No mesmo contexto, a amostra do lote 2 no ponto de saída também não fugiu a regra, obtendo-se para este um valor de 24.5 °C, valor menor em relação com o valor medido no efluente no ponto de entrada.

Fazendo uma comparação destes valores obtidos com o valor estipulado pela legislação nacional, fácil é de se perceber que estes estão confortavelmente dentro do limite vermelho estabelecido, indicando desse modo que este efluente não representava nenhum perigo ao corpo receptor no que concerne a característica temperatura. E mais uma vez a Mozal a mostrar que os seus efluentes possuem características que não perigarão qualquer que seja o corpo receptor que esta forem lançados.

A grande preocupação que advém de um efluente com elevada temperatura é a capacidade com que este tem de reduzir a capacidade do corpo receptor solubilizar a água e também de reter a quantidade de oxigênio, como justifica Adebisi *et al.* (2007). E as variações de temperaturas encontradas para ambos os lotes podem ser justificadas pelas diferentes condições climáticas na qual estas se encontravam, afectando desse modo nos valores durante as determinações.

4.2.5. Fluoreto

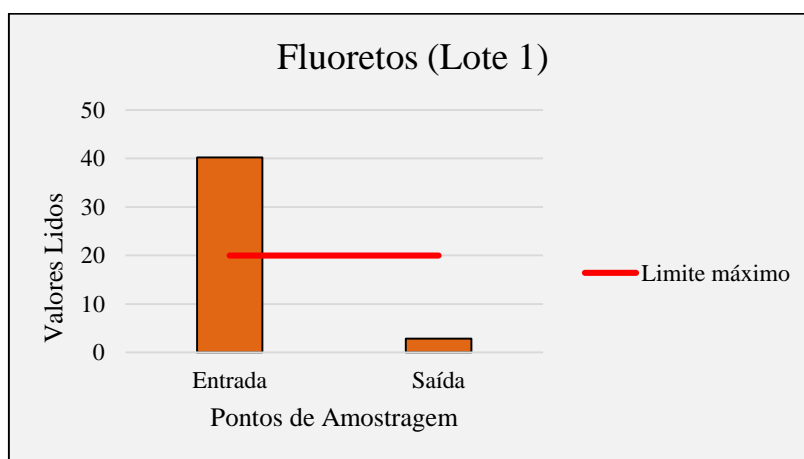
Os fluoretos representam uma das características mais importantes quando o tópico se trata de determinação da qualidade de um efluente. Razão esta que a Mozal oferece a este parâmetro um tratamento muito atencioso no que concerne a sua quantidade dentro dos seus efluentes.

Para Ahmad *et al.* (2022) assim como Muravyeva & Bebesko (2014) confirmam que as indústrias de alumínio são uma das principais fonte de lançamento de efluentes com grandes quantidades de fluoretos para o meio ambiente especificamente para os corpos hídricos.

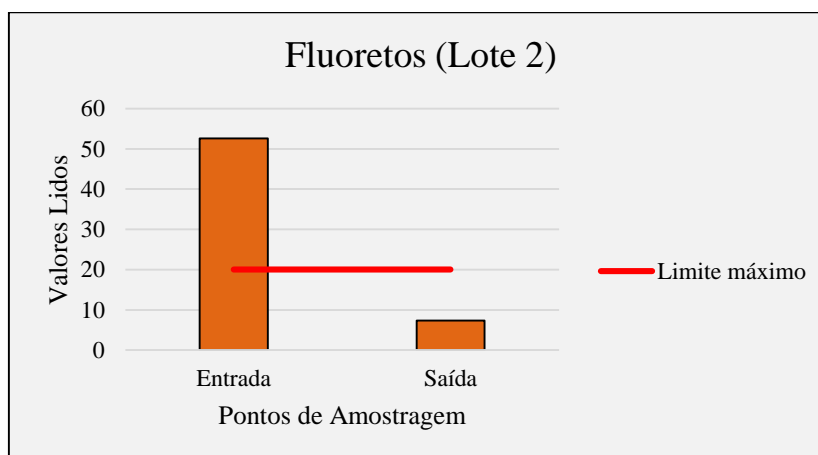
Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Da tabela 2 e 3, consta-se que os fluoretos quantificados nos ambos lotes descreveram um comportamento análogo para todas as amostras, mostrando desse modo a eficiência no processo de remoção desses íons dentro dos efluentes. Não obstante, observou-se um acréscimo para os valores das amostras do segundo lote.

É nítida a redução da quantidade de fluoreto desde o ponto de entrada até o ponto de saída (vide os Gráficos 4 e 5). E fazendo uma comparação desses valores com o valor estabelecido pela legislação, é patente o cumprimento destas com o limite máximo exposto.



Gráficos 4. Gráfico de comparação dos valores de Fluoretos das amostras do lote 1. **Fonte:** O autor.



Gráficos 5. Gráfico de comparação dos valores de Fluoreto das amostras do lote 2. **Fonte:** O autor.

É de se salutar a eficiência no tratamento usado pela Mozal no processo de diminuição da quantidade de fluoretos nos seus efluentes, pois, quantidades elevadas desse anião podem acarretar danos como: toxicidade para os organismos aquáticos dentro do corpo receptor; o desequilíbrio nos ecossistemas aquáticos; a bioacumulação por parte das espécies aquáticas

pela inserção deste anião na cadeia alimentar e também este pode causar dano as culturas e ao solo como é descrito por Muravyeva & Bebeskko (2014).

4.2.6. Clore livre

De acordo com Copaciu *et al.* (2015) o cloreto é um dos principais aniões inorgânicos na água e nas águas residuais.

Como mostrado nas tabelas 2 e 3, os valores dos aniões cloretos foram muito baixos nos pontos de saída dos efluentes em relação ao ponto de entrada dos mesmos, evidenciado desse modo que de facto o tratamento efectuado surtiu um efeito positivo. Esse efeito positivo também se reflete quando estes valores encontrados são colocados em comparação com os valores que estão estipulados na legislação moçambicana. De forma visível e notórias os valores dos aniões cloretos encontrados para ambas as amostras se encontraram dentro do limite permitido.

Quando um efluente com uma elevada quantidade de cloro livre entra em contacto com uma massa de água, efeitos adversos podem se notar nessa massa de água. E dentre os efeitos adversos que estes iões podem causar, é a formação de compostos com um alto nível de toxicidade, a título de exemplo temos as cloraminas, os clorofórmios e os trihalometanos. Não obstante a esse facto acima elucidado, o excesso de cloro livre impõe condições ácidas (baixo pH) a água. A exposição a água com pH baixo pode causar vermelhidão e irritação nos olhos.

4.2.7. Mercúrio

O mercúrio é considerado um elemento não essencial, mas altamente tóxico para os organismos vivos. Mesmo em baixas concentrações, o mercúrio e seus compostos apresentam riscos potenciais devido ao enriquecimento na cadeia alimentar (Kenworthy *et al.*, 1980).

Dos resultados obtidos para ambos os lotes de amostras, é possível perceber que o efluente retirado da Mozal não possui uma quantidade considerável desse elemento tóxico, razão pela qual pelas técnicas usadas não foi possível se quantificar uma quantidade digna de consideração.

Essa quantidade ínfima de mercúrio encontrada nos efluentes das amostras pode ser vista como algo realmente positivo atendendo e considerado a perigosidade que o mercúrio oferece quando encontrado em massas de água. A título de exemplo, o mercúrio é conhecido por interferir no metabolismo e nas funções dos seres vivos, combinando-se com grupos fosforil, carboxil, amidas e aminas, resultando na inibição de enzimas e precipitação de proteínas. E a ingestão

de uma água contendo quantidade desse elemento poderá causar danos neurológicos, incluído irritabilidade, paralisia, cegueira, insanidade, quebra de cromossomos e defeitos congénitos, como é explicado por Alturkmani (2019).

4.2.8. Alumínio

No que concerne as quantidades de alumínio encontradas nos efluentes em estudo se pode tecer os seguintes argumentos: no primeiro lote a quantidade deste elemento foi tão ínfima ao ponto de não poder se ter uma quantificação considerável, como ilustra a tabela 2. Para as amostras do lote 2, é possível perceber a detecção de uma quantidade considerável no efluente de entrada e uma diminuição do mesmo no efluente de saída, mostrando desse jeito a eficiência do processo de tratamento.

Com base em Oliveira (2004), afirma que a quantidade de alumínio que se pode encontrar nos efluentes de uma industria deste tipo está inteiramente correlacionada ao facto de parte da água descartada ser proveniente do sistema de anodização de alumínio, que acarreta partículas desse elemento no meio a ser tratado. Usando este argumento como escudo, se pode justificar a quantidade de alumínio encontrada na entrada na amostra do lote 2.

No que concerne ao cumprimento dos limites estabelecidos pela autoridade moçambicana, os valores obtidos das ambas amostras mostram que estes cumprem de forma inequívoca aquilo que é o padrão estabelecido, tornando os efluentes próprios para o descarte.

4.2.9. Óleos e graxas

Os óleos e graxas referem-se a uma variedade de substâncias orgânicas, incluído hidrocarbonetos, gorduras, óleos, ceras e ácidos graxos de alto peso molecular presentes em águas residuais (Nwankwo *et al.*, 2016).

De forma similar do ocorrido com os resultados das quantidades do alumínio para ambos os lotes, as quantidades de óleos e graxas não estiveram em quantidades alarmantes em ambas as

amostras. Desse forma, pode se dizer que os efluentes em estudo se encontram em quantidades dentro daquilo que é o limite máximo permitido pela legislação moçambicana.

Alturkmani (2019) e Aniyikaiye *et al.* (2019) advertem que se a graxa não for removida das águas residuais, ela pode interferir na vida biológica no corpo de água receptor, inibindo a transferência de oxigênio da atmosfera para a água. A graxa também pode flutuar no topo dos tanques dos tanques de sedimentação e pode até entupir os filtros, interrompendo assim a estação de tratamento. A concentração permitida de óleo mineral e derivados de petróleo na água depende do uso pretendido da água.

4.3. Validação das hipóteses

De modo a dar um juízo final sobre a qualidade dos efluentes produzidos na Mozal, nas primícias do trabalho foram definidas duas hipóteses. Após as análises laboratoriais e a posterior interpretação dos mesmos, já se pode afirmar algo certo sobre os efluentes dessa empresa.

Das hipóteses que foram levantadas no presente trabalho, temos as seguintes:

Hipótese 1: O efluente descartado pela Mozal no Rio Matola apresenta características fora dos padrões para emissão de efluentes líquidos industriais.

Hipótese 2: O efluente descartado pela Mozal no Rio Matola apresenta características dentro dos padrões para emissão de efluentes líquidos industriais.

O presente trabalho se baseou na análise físico-química dos efluentes gerados pela fábrica Mozal, onde para tal em um intervalo de 2 semanas foram colhidos dois lotes de amostras para análise, salientando que estes dois lotes tiveram mesmos pontos de colheita.

Com base nos dados obtidos das análises laboratoriais foi possível observar que para o primeiro lote assim como para o segundo, todas as características analisadas estiveram dentro dos padrões requeridos pela nossa legislação, desse modo aceitando-se a Hipótese 2. De um modo geral, pode se afirmar que os efluentes da Mozal cumprem os requisitos impostos pelas nossas autoridades, havendo ainda a necessidade de aprimorar algumas coisas.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. Conclusões

Conforme os objectivos traçados, o estudo de campo e em concordância com os resultados obtidos laboratorialmente, se pode concluir que:

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

- A Mozal faz uso do método de diluição para a realização do tratamento dos efluentes que saem das suas produções. Onde os seus efluentes são misturados com uma quantidade limpa de água (com menor teor de flúor) e desse modo reduz-se a quantidade do contaminante de maior preocupação na Mozal (o flúor).
- Para os parâmetros físico-químicos analisados no presente trabalho, é importante destacar que para as amostras colhidas em diferentes tempos, as análises revelaram que as características dos efluentes da Mozal não variam de uma forma brusca, apenas em valores ínfimos. Requerendo desse modo apenas um controle contínuo dos mesmos.
- No que concerne ao cumprimento dos padrões estabelecidos dentro do território nacional para os efluentes desse tipo de indústria, foi possível observar que estes efluentes satisfazem na sua maioria os requisitos propostos pelas normas moçambicanas. Sendo assim, a Mozal possui um processo de tratamento de poluentes eficiente, razão pela qual se pode inferir que os efluentes descartados para o Rio Matola não alteram aquilo que são as características daquela massa de água.

5.2. Recomendações

Tendo se analisado em pormenor os efluentes gerados pela Mozal, e das conclusões retiradas, à Mozal recomenda-se:

- A limpeza contínua e sucessiva das represas de água, pois, estes na sua maioria constituem locais de depósitos de grande quantidade de matéria orgânica vindoura dos efluentes.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

- Criação de uma rotina laboratorial para a avaliação e determinação de outros parâmetros dentro dos efluentes gerados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Abrahão, R. (2006). *Impactos do lançamento de efluentes na qualidade da água do riacho mussuré*. Universidade Federal da Paraíba. João Pessoa - PB.

Adebisi, S. ., Amoo, I. A., & Ipinmoroti, K. . (2007). Effluent and Receiving Water Quality near Food Processing Industries in Ibadan Metropolis. *Journal of Food Tecnology*, 1(5), 23–28.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

- Adeolu, A. S. (2016). *Impact of industrial effluent on the environment*. Institute of Ecology and Environmental Studies Obafemi Awolowo University.
- Afrad, M. S. I., Monir, M. B., Haque, M. E., Barau, A. A., & Haque, M. M. (2020). Impact of industrial effluent on water, soil and Rice production in Bangladesh: a case of Turag River Bank. *Journal of Environmental Health Science and Engineering*, 18(2), 825–834. <https://doi.org/10.1007/s40201-020-00506-8>
- Aguiar, M. R. M. P. de, Novaes, A. C., & Guarino, A. W. S. (2002). Remoção de metais pesados de efluentes industriais por aluminossilicatos. *Química Nova*, 25(6b), 1145–1154. <https://doi.org/10.1590/s0100-40422002000700015>
- Ahmad, S., Singh, R., Arfin, T., & Neeti, K. (2022). Fluoride contamination, consequences and removal techniques in water: a review. *Environmental Science: Advances*, 1(5), 620–661. <https://doi.org/10.1039/d1va00039j>
- Alturkmani, A. (2019). Industrial Wastewater. *KNOWLEDGE - International Journal*, June, 595–599. <https://doi.org/10.35120/kij3003595s>
- Amin, A., Ahmad, T., Ehsanullah, M., Irfanullah, I., Khatak, M. M., & Khan, M. A. (2010). Evaluation of industrial and city effluent quality using physicochemical and biological parameters. *Electronic Journal of Environmental, Agricultural and Food Chemistry*, 9(5), 931–939.
- Aniyikaiye, T. E., Oluseyi, T., Odiyo, J. O., & Edokpayi, J. N. (2019). Physico-chemical analysis of wastewater discharge from selected paint industries in Lagos, Nigeria. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 16(7). <https://doi.org/10.3390/ijerph16071235>
- Ayeni, K. I., Misihairabgwi, J. M., Somorin, Y. M., Chibuzor-onyema, I. E., Ezekiel, C. N., Oyedele, O. A., Abia, W. A., Sulyok, M., Shephard, G. S., & Krska, R. (2018). Traditionally Processed Beverages in Africa : A Review of the Mycotoxin Occurrence Patterns and Exposure Assessment. *Comprehensive Reviews in Food Science and Food Safety*, 17. <https://doi.org/10.1111/1541-4337.12329>
- Beltrame, T. F., Beltrame, A. F., Lhamby, A. R., & Pires, V. K. (2016). Efluentes, resíduos sólidos e educação ambiental. *Revista Eletrônica Em Gestão, Educação e Tecnologia Ambiental*, 20, 283–294.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

- Copaciu, F. M., Roba, C., Opriş, O., Bunea, A., & Mireşan, V. (2015). Assessment of Industrial Effluents Quality and their Possible Impact on Surface Water. *Bulletin of University of Agricultural Sciences and Veterinary Medicine Cluj-Napoca. Animal Science and Biotechnologies*, 72(2). <https://doi.org/10.15835/buasvmcn-asb:11436>
- Costa, A. P. J., Silva, A. L. da, & Martins, R. dos S. (2009). Um estudo sobre estações de tratamento de efluentes industriais e sanitários da empresa Dori Almentos LTDA. *REGRAD - Revista de Graduação, UNIVEM*, 2, 6–22. www.univem.edu.br
- Costa, P. A. Da. (2016). *Gestão de efluentes industriais no processo de obtenção de substrato agrícola: estudo de caso*. Universidade Federal do Pará. Belém.
- Crini, G., & Lichtfouse, E. (2019). Advantages and disadvantages of techniques used for wastewater treatment. In *Environmental Chemistry Letters* (Vol. 17, Issue 1, pp. 145–155). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/s10311-018-0785-9>
- de Silva, A. P., Silvello, G. C., Bortoletto, A. M., & Alcarde, A. R. (2020). Chemical composition of sugar cane spirit produced from different distillation methods. *Brazilian Journal of Food Technology*, 23, 1–10. <https://doi.org/10.1590/1981-6723.30818>
- Department of Environmental Malaysia. (2009). Environmental Quality Industrial Effluent Regulations. In *Percetakan Nasional Malaysia Berhad*.
- Firdissa, B., Solomon, Y., & Soromessa, T. (2016). Assessment of the Status of Industrial Waste Water Effluent for Selected Industries in Addis Ababa, Ethiopia. *Journal of Natural Sciences Research Wwww.Iiste.Org ISSN*, 6(17), 1–10. www.iiste.org
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de Pesquisa* (1st ed.). Editora da UFRGS. Porto Alegre.
- Gil, A. C. (2008). *étodos e Técnicas de Pesquisa Social* (6th ed.). Atlas.
- Giordano, G. (2004). Tratamento e controle de efluentes industriais. *Depto de Engenharia Sanitária e Do Meio Ambiente, ...*
<http://xa.yimg.com/kq/groups/24138517/1421219182/name/Apostila+-+Tratamento+de+efluentes+industriais.pdf>
- Grace, O. C. O., & Patrick, O. (2015). Evaluation of some industrial effluents in Jos metropolis, Plateau State, Nigeria. *African Journal of Environmental Science and*

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Technology, 9(6), 566–572. <https://doi.org/10.5897/ajest2015.1877>

Gunarathne, V., Ashiq, A., & Ginige, M. P. (2018). *Green Adsorbents for Pollutant Removal*. 18. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-92111-2>

Habibu, S., Koki, I. B., Tukur, A. I., Gumel, S. M., Ado, A., Ladan, M., & Muhammad, A. A. (2015). A Review on Industrial Effluents as Major Sources of Water Pollution in Nigeria. *Chemistry Journal*, 1(5), 159–164.
<http://jaymakenergy.com/admin/newsdoc/Journalofchemistry.pdf>

Han, Y. (2021). The comprehensive treatment of industrial wastewater and its recovery and utilization technology. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 804(4), 2–7. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/804/4/042056>

Hanchang, S. (2009). Industrial Wastewater- Types, Amounts and Effects. *Point Sources of Pollution: Local Effects and Their Control*, 1, 191–203.

Ho, Y. C., Show, K. Y., Guo, X. X., Norli, I., Alkarkhi, F. M., & Mor, N. (2012). Industrial Discharge and Their Effect to the Environment. *Industrial Waste*.
<https://doi.org/10.5772/38830>

Inamori, Y., & Fujimoto, N. (2000). Microbial/Biological contamination of water. In *Water Quality and Standards* (Vol. 2).

Jern, W. N. (2006). *Industrial Wastewater Treatment*. Imperial College press.

Kanu, Ijeoma and Achie, O. K. (2011). Industrial Effluents and their Impact on Water Quality of receiving rivers in Nigeria. *Journal of Applied Technology in Environmental Sanitation*, 1(1), 75–86.

Kenworthy, J. B., Forstner, U., & Wittman, G. T. W. (1980). Metal Pollution in the Aquatic Environment. In *The Journal of Ecology* (Vol. 68, Issue 2). Springer-Verlag.
<https://doi.org/10.2307/2259434>

Marcondes, J. G. (2012). Tratamento De Efluentes Fema. In *Fundação educacional do municipio de Assis - FEMa*. Fundação educacional do municipio de Assis - FEMa.

Marconi, M. de A., & Lakatos, E. M. (2017). *Fundamentos de metodologia científica* (8th ed.). Atlas.

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

- Mathubala, G., Kalpana Devi, R., & Ramar, P. (2015). Biosorption of thymol blue from industrial wastewater using activated biocarbon from cynodon dactylon plant leaves. *International Journal of ChemTech Research*, 7(7), 2894–2901.
- Menezes, N., & Ramos, G. (2018). A Importância do tratamento de efluentes orgânicos e industriais como mecanismo de reaproveitamento de água em indústrias: Análise do programa das baterias Moura em Belo Jardim. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 21(9), 1689–1699.
- Messrouk, H., Hadj Mahammed, M., Touil, Y., & Amrane, A. (2014). Physico-chemical characterization of industrial effluents from the town of Ouargla (South East Algeria). *Energy Procedia*, 50, 255–262. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2014.06.031>
- Muravyeva, I. V., & Bebeshko, G. I. (2014). Determination of fluorine in aluminum production waste. *Inorganic Materials*, 50(14), 1408–1411. <https://doi.org/10.1134/S0020168514140106>
- Neto, A. G. de J. (2019). New directions of Circulation in Mozambique : the exporting products in the 2010s. *AbeÁfrica: Revista Da Associação Brasileira de Estudos Africanos*, 3(3), 1–16.
- Nwankwo, C. A., Nwaogazie, I. L., & Mohammed, A. (2016). Assessment of the Quality of Effluent Generated by Aluminium Company in Port Harcourt, Nigeria. *INTERNATIONAL JOURNAL OF MULTIDISCIPLINARY SCIENCES AND ENGINEERING*, 5(January 2014).
- Nwosu, U. L., Ajiwe, V. I. E., & Okoye, P. A. C. (2014). Assessment of Heavy Metal Pollution of Effluents from three (3) Food Industries in Nnewi/Ogidi areas of Anambra State, Nigeria. *IOSR Journal of Environmental Science, Toxicology and Food Technology*, 8(11), 13–21. <https://doi.org/10.9790/2402-081131321>
- Okereke, J. N., Ogidi, O. I., & Obasi, K. O. (2016). International Journal of Advanced Research in Biological Sciences Environmental and Health Impact of Industrial Wastewater Effluents in Nigeria-A Review. *Int. J. Adv. Res. Biol. Sci*, 3(6), 55–67. <http://s-o-i.org/1.15/ijarbs-2016-3-6-8>
- Olajumoke, A., Oluwatosin, A., Olumuyiwa, O., & Abimbola, F. (2010). Impact Assesment of Brewery Effluent on Water Quality in Majawe , Ibadan , Southwestern Nigeria .

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Researcher, 2(5), 21–28.

Oliveira, J. P. de. (2004). Caracterização físico-química e microbiológica da água tratada e residual de uma indústria de alumínio: estudo de caso. *Instituto Básico de Biociências*, 10(3), 121–128.

Orhon, D., Babuna, F. G., & Karahan, O. (2009). *Industrial Wastewater Treatment by Activated Sludge*. IWA Publishing.

Otutayo, F. O. ., Oyetade, O. ., Esan, E. ., & F.B, A. (2016). EFFECTS OF INDUSTRIAL EFFLUENT ON THE ENVIRONMENT USING ALLIUM CEPA AND ZEA MAYS AS BIOINDICATORS Odotayo F.O.I, Oyetade O.B, Esan E.B, Adaramola F. B. Department of Basic Sciences, Babcock University, Ilishan- Remo Ogun State, Nigeria. *International Journal of Environment and Pollution Research*, 4(4), 1–12.

Paul, W. (2011). *Impact of industrial effluents on water quality of receiving streams in Nakawa-Ntinda, Uganda*. Makerere University.

Rowe, M. J. (2000). Industrial Treatment. In *Consult Eng (Lond)* (Vol. 40, Issue 1). Chiyoda-Dames & Moore CO., Ltd.

Sarker, B. C. (2013). *ASSESSMENT OF INDUSTRIAL EFFLUENTS QUALITY : A CASE STUDY OF ASSESSMENT OF INDUSTRIAL EFFLUENTS QUALITY : A CASE STUDY OF BHALUKA INDUSTRIAL AREA , MYMENSINGH* (Issue February 2014) [Bangladesh Agricultural University]. <https://doi.org/10.13140/2.1.1914.6565>

Singh, R. (2012). Impact of Sewage and Industrial Effluents on Soil-Plant Health. *Industrial Waste*. <https://doi.org/10.5772/37403>

Sr., M. J. H., & Junior., M. J. H. (2014). Water and Wastewater Technology. In *Bibliothek* (7th ed.). Pearson.

Tchamo, C. M. (2021). The Financial Impact of Mozal Company in Mozambique. In *Frontiers in Neuroscience* (Vol. 14, Issue 1). Instituto Superior de Gestão. Lisboa.

Tsujioka, T., & Hamano, S. (2021). Industrial Effluent. *Intermediate Japanese*, 113–118. <https://doi.org/10.4324/9780203124413-21>

Von Sperling, M. (2015). Wastewater Characteristics, Treatment and Disposal. In *Water Intelligence Online* (Vol. 1, Issue 0, pp. 9781780402086–9781780402086). IWA

Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

Publishing. <https://doi.org/10.2166/9781780402086>

Woodard & Curran, I. (2014). Industrial Waste Treatment Handbook. In *Dairy Science & Technology*, CRC Taylor & Francis Group (2nd ed., Issue June). Elsevier Inc.

Zajda, M., & Aleksander-Kwaterczak, U. (2019). Wastewater treatment methods for effluents from the confectionery industry-An overview. *Journal of Ecological Engineering*, 20(9), 293–304. <https://doi.org/10.12911/22998993/112557>

ANEXOS

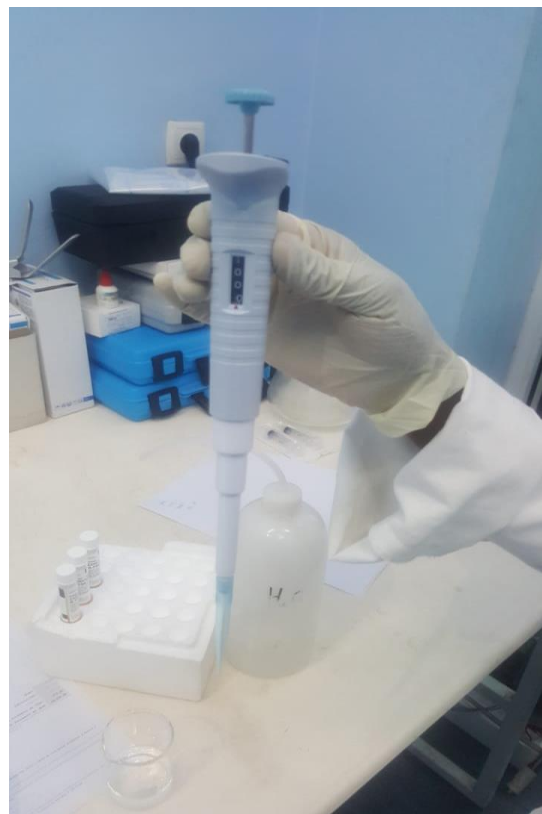
Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

A1. Imagens dos pontos de colheita das amostras



Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

A2. Imagens das análises laboratoriais



Avaliação da qualidade do efluente líquido industrial descartado pela fábrica Mozal no rio Matola

A3. Legislação dos padrões de emissão de efluentes líquidos.

Produção do Alumínio

Parâmetro	Valor	MS
PH	6-9	*
DQO (demanda química de oxigênio)	150	
Sólidos Suspensos totais	50	*
Flúor	20	*
Aumento de temperatura	<=3° C	
Alumínio	0.2	
Mercúrio	3.5	*
Óleos e gorduras	10	*
Cloro Livre	20	*

(*) Parâmetro usado para a avaliação ambiental.

A4. Equipamentos laboratoriais usados

Parâmetro	Equipamento
pH e Temperatura	Benchop Muliparameter (Perkinelmer)
Cloro livre	Photometer HI 97734C
DQO	Block Digestor RS. E Photometer Lovibond M200
Fluoreto	UV Spectrometer T60
Óleo e Graxas	Xenosep SPE e Mufla
STS	Filtração a Vácuo (Bomba de vácuo)