



**UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO**  
**DEPARTAMENTO DE QUÍMICA**  
**CURSO DE LICENCIATURA EM QUÍMICA**

**ROBSON SEVERINO DE SOUZA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM UMA INDÚSTRIA DE  
ENVASE DE REFRIGERANTE E ÁGUA MINERAL UTILIZANDO  
SULFATO DE ALUMÍNIO COM SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO  
ADAPTADO**

**Recife**  
**2024**

**ROBSON SEVERINO DE SOUZA**

**TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM UMA INDÚSTRIA DE  
ENVASE DE REFRIGERANTE E ÁGUA MINERAL UTILIZANDO  
SULFATO DE ALUMÍNIO COM SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO  
ADAPTADO**

Monografia apresentada a coordenação do curso de Licenciatura em Química da Universidade Federal Rural de Pernambuco, como parte dos requisitos para obtenção do título de Licenciado (a) em Química.

Orientadora: Prof(a). Dr(a). Maria José de Filgueiras Gomes

**Recife**

**2024**

## FICHA CATALOGRÁFICA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação  
Sistema Integrado de Bibliotecas da UFRPE  
Bibliotecário(a): Suely Manzi – CRB-4 809

S719t Souza, Robson Severino de.

Tratamento de águas residuais em uma indústria de envase de refrigerante e água mineral utilizando sulfato de alumínio com sistema de homogeneização adaptado / Robson Severino de Souza. – Recife, 2024.

60 f.; il.

Orientador(a): Maria José de Filgueiras Gomes.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal Rural de Pernambuco, Licenciatura em Química, Recife, BR-PE, 2024.

Inclui bibliografia.

1. Química - Estudo e ensino. 2. Resíduos industriais . 3. Água - Purificação - Coagulação . 4. Águas residuais - Purificação - Processo de lodo ativado 5. Homogeneização . I. Gomes, Maria José de Filgueiras, orient. II. Título

CDD 540

# **FOLHA DE APROVAÇÃO**

**ROBSON SEVERINO DE SOUZA**

## **TRATAMENTO DE ÁGUAS RESIDUAIS EM UMA INDÚSTRIA DE ENVASE DE REFRIGERANTE E ÁGUA MINERAL UTILIZANDO SULFATO DE ALUMÍNIO COM SISTEMA DE HOMOGENEIZAÇÃO ADAPTADO**

Aprovado em: 04 de outubro de 2024.

### **Banca Examinadora**

---

Maria José de Filgueiras Gomes – Orientadora

Departamento de Química – Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Severino Carlos Bezerra de Oliveira – 1º avaliador

Departamento de Química – Universidade Federal Rural de Pernambuco

---

Hélcio José Batista – 2º avaliador

Departamento de Química – Universidade Federal Rural de Pernambuco

À Ângela Araújo, por todo amor.  
À Josefa e Felix Martins (*in memoriam*).  
À Ana Beatriz, por todo companheirismo.

## AGRADECIMENTOS

Agradeço à Deus por toda proteção durante todos esses vinte e poucos anos de vida e, se não for pedir muito, que venham muito mais.

Agradeço à minha mãe, Ângela Severina de Araújo, por toda a educação, amor, carinho e confiança que me foi dado todos esses anos. Se não fosse você, hoje eu não teria conseguido chegar aonde estou e, tudo o que tenho, foi graças ao seu esforço nos tempos difíceis. Nunca esquecerei de tudo que fez por mim. Se não fosse você, eu não teria entrado na UFRPE. Obrigado, de coração! Te amo!

Agradeço à minha namorada, Ana Beatriz, por todo apoio, paciência e ensinamento durante o curso. Todo o seu amor me trouxe a vontade de querer crescer junto com você e digo que, o pouco que tenho hoje, foi graças também ao seu suporte nos momentos difíceis. Se não fosse você, eu não teria saído da UFRPE. Te amo!

Agradeço ao meu melhor amigo, Wanderson Nascimento, e também a seu irmão, Wêdson, por esses mais de 20 anos de companheirismo. Nunca esquecerei das jogatinas no *Playstation* e todas as resenhas de quando éramos crianças. Obrigado também à DC games por vender 3 jogos piratas de PS2 por R\$ 5 durante minha infância.

Agradeço à minha orientadora, Maria José, que me apoiou e dedicou seu tempo a elaboração desse trabalho. Sua colaboração foi fundamental para a escrita dessa monografia. De coração, obrigado!

Agradeço aos meus amigos da Rural que fizeram e ainda fazem parte da minha história: Emerson, Cybele, Jeibson, Gabriel, Mary e Giovanna. Nunca esquecerei de vocês! Agradeço aos amigos de escola que ainda estão comigo: Diogo, Paulo, João Pedro e aos irmãos Álvaro e Aldo. Obrigado também aos amigos de Call Of Duty, William (Soriinhaa\_84) e Yago (Yaguin\_fps), pelas noites passando raiva e jogando Warzone.

Agradeço à banda Linkin Park, não somente pelo álbum Meteora, mas por todas as músicas lançadas e por terem voltado a cantar. Um obrigado à Yamaha por ter lançado a Ténéré 700 no Brasil. Obrigado à minha moto, Faara (Ténéré 250), por me levar para todos os lugares com minha namorada na garupa. Ao anime Dragon Ball,

Yu-gi-oh, Naruto entre outros, fica aqui meus agradecimentos, por ter feito parte da minha infância e adolescência. Obrigado ao meu cachorro, Rico, por ser o labrador mais lindo e carinhoso que existe.

Um agradecimento especial aos meus amigos de trabalho Lincon, Silvanete, Manoel, André, Allisson, Edson, Victor, Jossenita, Welton, Fernando, Enio, John, Eduardo, Carlos Santana, Jonathan, Carlos Negreiros e Gerson, por todo o apoio durante a jornada de trabalho. Aprendi muito com vocês e ainda estou aprendendo. Sem vocês esse trabalho não seria possível. Obrigado!

“Eu sou inevitável”.  
Thanos (2018)

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Processo produtivo do refrigerante .....	15
Figura 2 - Fluxograma da produção e envase de refrigerante.....	23
Figura 3 - Calha <i>Parshall</i> .....	26
Figura 4 - Difusores de ar do tanque Equalizador e do RBA.....	27
Figura 5 – Representação de um floco biológico .....	29
Figura 6 - Estrutura do decantador .....	31
Figura 7 – comportamento do ácido hipocloroso em função do pH .....	32
Figura 8 - Calha <i>Parshall</i> .....	38
Figura 9 - Peneira estática .....	38
Figura 10 - Tanque de equalização .....	39
Figura 11 - Compressores de ar .....	40
Figura 12 - Bomba do equalizador.....	40
Figura 13 – Tanque RBA.....	41
Figura 14 – Tanques decantadores e bomba de recirculação/descarte de lodo .....	41
Figura 15 - Filtro de areia .....	42
Figura 16 – <i>Jar test</i> improvisado.....	42
Figura 17 – pHmetro de bancada .....	44
Figura 18 – Amostra sem tratamento (a), amostra com pH corrigido para 6 (1), amostra com o pH corrigido 7 (2), amostra com pH corrigido para 8 (3) .....	45
Figura 19 – Tubulação para homogeneização .....	47
Figura 20 - Incubação para análise de DBO .....	49
Figura 21 – Sistema de homogeneização .....	52
Figura 22 – Efluente tratado (a) efluente sendo descartado para o filtro de areia (b).....	53

## RESUMO

Sabe-se que, com aumento do consumo de bebidas como refrigerantes, sucos, entre outras, há um aumento na produção de efluentes. A falta de tratamento desses efluentes gera grandes impactos ambientais, sociais e econômicos. Os efluentes gerados pelo refrigerante, predominantemente formado por açúcares, sucos, corantes, extratos e ácidos orgânicos, possuem uma grande carga orgânica, o que eleva os valores de demanda biológica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO), que são potenciais poluidores de corpos receptores como rios e lagoas.

O objetivo desse trabalho foi melhorar as condições dos efluentes tratados por lodos ativados, alinhando o tratamento biológico com o físico-químico, em uma indústria de refrigerante e água mineral, utilizando sulfato de alumínio ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) como coagulante e um sistema adaptado para sua homogeneização e, também, para correção do pH.

Em estações de tratamento de efluentes (ETE), que utilizam apenas lodos ativados como forma de tratamento, o  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  pode ser um aliado na melhora das condições do efluente que já passou pelo tratamento de lodos ativados. Porém, para utilização do sulfato de alumínio, é necessário um sistema de homogeneização para misturá-lo ao efluente e para a correção do pH.

A metodologia desse trabalho baseia-se na utilização desse coagulante para a melhoria do efluente final, adaptando um sistema de recirculação que faz a homogeneização do coagulante inorgânico com o hidróxido de sódio para a correção do pH. O sistema funciona sugando o efluente do fundo do decantador e lançando por cima dele próprio, garantindo uma mistura completa entre o coagulante, o hidróxido de sódio e o efluente.

Foram realizados testes em laboratório para saber a concentração correta do coagulante, por meio das análises de turbidez, DQO. A análise de  $\text{DBO}_5$ , que é a análise de DBO em um período de cinco dias, foi realizada apenas no momento do teste em campo, coletando uma amostra antes e depois do processo de coagulação no tanque decantador.

Os resultados obtidos utilizando 10mL de coagulante (20g/L) para cada litro de efluente mostrou uma boa diminuição da turbidez de DQO do efluente já tratado por lodos ativados. Com a adição do coagulante nas amostras, seguido da correção do

pH para 7, houve uma diminuição na turbidez de 362 unidades de turbidez (UT) para 41UT. Já na análise de DQO, houve uma redução de 326mg/L de O<sub>2</sub> dissolvido para 81mg/L. Houve também redução expressiva nos resultados da análise de DBO do efluente tratado no próprio decantador, que foi de 354,6mg/L de O<sub>2</sub> para 183,6mg/L.

Por meio desses resultados ficou evidente que, tanto a adição do coagulante quanto o sistema adaptado de homogeneização, foram efetivos na redução dos parâmetros analisados (turbidez, DQO e DBO). O volume de lodo decantado por coagulação em 10 minutos também se mostrou bem baixo e isso resulta em um descarte mais rápido, tornando todo o processo mais ágil e descartando a necessidade de utilização de um floculante.

**Palavras-chave:** Efluentes, coagulação, sulfato de alumínio, sistema de homogeneização adaptado.

## ABSTRACT

It is well known that with the increased consumption of beverages such as soft drinks, juices, among others, there is an increase in the production of effluents. The lack of treatment of these effluents generates major environmental, social and economic impacts. The effluents generated by soft drinks, predominantly made up of sugars, juices, colorants, extracts and organic acids, have a high organic load, which increases the values of biological oxygen demand (BOD) and chemical oxygen demand (COD), which are potential pollutants of receiving bodies such as rivers and lakes.

The aim of this work was to improve the conditions of effluents treated by activated sludge, aligning biological and physical-chemical treatment, in a soft drink and mineral water industry, using aluminium sulphate ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) as a coagulant and a system adapted for homogenization and pH correction.

In wastewater treatment plants (WWTPs) that only use activated sludge as a form of treatment, ( $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ) can be an ally in improving the conditions of effluent that has already undergone activated sludge treatment. However, the use of aluminium sulphate requires a homogenization system to mix it with the effluent and to correct the pH.

The methodology of this work is based on using this coagulant to improve the final effluent, adapting a recirculation system that homogenizes the inorganic coagulant with sodium hydroxide to correct the pH. The system works by sucking the effluent from the bottom of the decanter and discharging it over itself, ensuring a complete mixture between the coagulant, the sodium hydroxide and the effluent.

Laboratory tests were carried out to determine the correct concentration of the coagulant, using turbidity and COD analyses. The  $\text{BOD}_5$  analysis, which is the analysis of BOD over a period of five days, was only carried out at the time of the field test, taking a sample before and after the coagulation process in the decanter tank.

The results obtained using 10mL of coagulant (20g/L) for each liter of effluent showed a good reduction in the COD turbidity of the effluent already treated by activated sludge. With the addition of the coagulant to the samples, followed by correction of the pH to 7, there was a reduction in turbidity from 362 turbidity units (UT) to 41UT. In the COD analysis, there was a reduction from 326mg/L of dissolved  $\text{O}_2$  to 81mg/L. There was also a significant reduction in the results of the BOD analysis of the effluent treated in the decanter itself, from 354.6mg/L of  $\text{O}_2$  to 183.6mg/L.

These results showed that both the addition of the coagulant and the adapted homogenization system were effective in reducing the parameters analyzed (turbidity, COD and BOD). The volume of sludge decanted by coagulation in 10 minutes also proved to be very low and this results in faster disposal, making the whole process more agile and ruling out the need to use a flocculant.

**Keywords:** Effluents, coagulation, aluminium sulphate, adapted homogenization system.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	15
2	OBJETIVOS .....	17
2.1	OBJETIVO GERAL .....	17
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
3	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1	INDÚSTRIA DE ÁGUA MINERAL E FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTE .....	18
3.2	PROCESSO DO ENVASE DE ÁGUA MINERAL E PRODUÇÃO DE REFRIGERANTE .....	19
3.2.1	Envase de água mineral .....	19
3.2.2	Produção de refrigerante .....	21
3.3	EFLUENTES GERADOS PELA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE E ÁGUA MINERAL .....	23
3.4	LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DE ENFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS	25
3.5	ESTRUTURA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO POR LODOS ATIVADOS	26
3.5.1	Medidor de vazão.....	26
3.5.2	Equalizador.....	26
3.5.3	Reator Biológico Aerado .....	27
3.5.4	Lodos ativados .....	29
3.5.5	Decantador .....	30
3.5.6	Filtro de areia.....	31
3.6	ANÁLISES físico-químicas e microbiológicas.....	32
3.6.1	Cloração .....	32
3.7	DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO.....	33

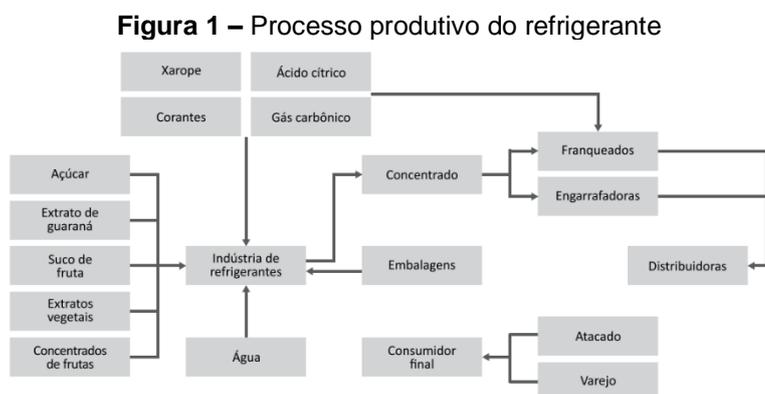
3.8	DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO .....	34
3.9	TURBIDEZ.....	35
3.10	COAGULAÇÃO .....	36
4	METODOLOGIA .....	37
4.1	ESTRUTURA DA ETE .....	37
4.2	ENSAIO COM SULFATO DE ALUMÍNIO.....	42
4.2.1	Ensaio de turbidez com a amostra clarificada por coagulação ....	44
4.2.2	Ensaio de DQO com a amostra clarificada por coagulação .....	45
4.3	Elaboração de um sistema de recirculação para homogeneização do $Al_2(SO_4)_3$ no decantador.....	46
4.4	Aplicação do $Al_2(SO_4)_3$ e do hidróxido de sódio para tratamento do efluente	47
4.4.1	Análise de $DBO_5$ da amostra .....	48
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	49
5.1	CONCENTRAÇÃO UTILIZADA DO SULFATO DE ALUMÍNIO PARA COAGULAÇÃO .....	49
5.2	SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO (HOMOGENEIZAÇÃO) .....	51
5.3	Aplicação do $Al_2(SO_4)_3$ e correção do pH.....	52
5.4	análise de $dbo_5$ do efluente tratado .....	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	55
	REFERÊNCIAS .....	57

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria brasileira de bebidas cresceu bastante nos últimos tempos e construiu um importante setor que gera milhares de empregos (Viana, 2020). De acordo com Euromonitor Internacional (2020, *apud* Viana, 2020), no ano de 2019 a indústria de bebidas não alcoólicas faturou cerca de US\$ 870 bilhões, vendendo cerca de 585 milhões de litros no varejo, tendo um crescimento de 3% nas vendas em relação ao ano de 2017. Nesse mesmo cenário, as águas engarrafadas tiveram um maior destaque, com um aumento de 4% e esse aumento reflete um maior consumo dessas bebidas.

Alinhado a esse crescimento no consumo, tem-se um aumento na geração de efluentes por parte das indústrias de fabricação de refrigerantes e envase de água mineral, e seu descarte indevido é um problema ambiental sério. Archela *et al* (2013) relatou em seu trabalho que o descarte indevido de efluentes industriais em corpos receptores ou em redes de esgoto, sem o tratamento adequado, traz consequências indesejáveis ao meio ambiente.

O refrigerante é uma bebida carbonatada altamente refrescante e sua composição é rica em açúcares, sucos, corantes, extratos, conservantes e ácidos orgânicos (Afonso e Lima, 2009). Dessa forma, os efluentes gerados pelo refrigerante possuem uma grande carga orgânica, o que reflete um aumento na DBO e na DQO, que são potenciais poluidores de corpos receptores como rios e lagoas. A figura 1 ilustra como é uma cadeia produtiva do refrigerante.



Fonte: Serasa Experian (2017, *apud* Viana, 2019).

Portanto, o contato desses efluentes industriais sem o devido tratamento com esses corpos pode causar a morte de vários animais marinhos, sendo os peixes as principais vítimas. Para Kunks (2002) o crescimento industrial trouxe problemas ambientais mais críticos ao longo dos tempos, o que pode ser observado por meio de alterações na água, terra e ar.

Para que os corpos receptores não sofram com contaminação, é necessário um tratamento de efluentes que seja eficaz na remoção dos parâmetros necessários. O aumento da quantidade de lançamento de efluentes em corpos receptores aumenta a carga de matéria orgânica do meio, o que favorece a demanda de gás oxigênio ( $O_2$ ) por causa do aumento da DBO, prejudicando seres vivos, Dias (2008).

Além da Demanda Biológica de Oxigênio, há também outros fatores que contribuem para a degradação de corpos receptores, como o excesso de turbidez. afirmam que, em algumas estações de tratamento de efluentes, utiliza-se o tratamento biológico – lodos ativados - como meio de eliminar boa parte dos contaminantes do efluente (Azevedo Cavalcanti e Oliveira, 2021). Hassemmer e Sens (2002) relatam que os efluentes gerados pela indústria, em grande parte, são tratados por métodos físico-químicos e biológicos convencionais (coagulação química e lodos ativados) considerados eficazes na redução da concentração de carbono orgânico.

Entre os métodos, o tratamento por lodos ativados consiste na agitação dos efluentes com oxigênio atmosférico (método aeróbio) para promover a oxidação e floculação de grande parte da matéria orgânica presente no efluente, sendo um método bastante eficiente (Azevedo Cavalcanti e Oliveira 2021). Esse tipo de procedimento é bastante eficaz para o tratamento em si, mas gera grandes quantidades de lodo que precisam ser descartados para os leitos de secagem e posteriormente, serem utilizados como fertilizantes (Peralta-Zamora, 1997).

Atrelado ao tratamento biológico, pode-se utilizar o tratamento físico-químico como uma alternativa de melhoria do efluente final, utilizando coagulante, como  $Al_2(SO_4)_3$ , para decantar partículas ainda suspensas no efluente clarificado. Há mais de 100 anos o  $Al_2(SO_4)_3$  é utilizado no mundo em diferentes tipos de tratamentos, baseado na coagulação química em que materiais particulados, substâncias orgânicas e coloides são removidos (Bassetti, Bergamasco e Coral, 2009).

Visando a melhoria na turbidez, DBO e DQO remanescente, o objetivo desse trabalho é avaliar o desempenho do coagulante sulfato de alumínio, adaptando um sistema de recirculação no decantador para homogeneização do produto. Esse procedimento ocorreu em uma indústria responsável pela produção de refrigerantes e envase de água mineral, que é responsável por gerar efluentes com características ácidas devido aos ácidos utilizados na produção de refrigerante.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

Melhorar as condições finais do efluente gerado na produção de refrigerante e envase de água mineral e que são descartados em corpos receptores.

### 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a concentração adequada de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  que vai ser empregada no processo de coagulação;
- Desenvolver um sistema de recirculação para homogeneização do  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ ;
- Avaliar a eficiência do processo de coagulação com  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  por meio dos parâmetros de DBO, DQO e turbidez;
- Estimar a concentração do hidróxido de sódio que será utilizada no processo de correção do pH;
- Avaliar volume de lodo coagulado pelo  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  em um tempo de 10 minutos.

### 3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1 INDÚSTRIA DE ÁGUA MINERAL E FABRICAÇÃO DE REFRIGERANTE

Em indústrias de água mineral e refrigerante, a água é o pilar central da empresa, sendo captada por meio de poços com bombas que extraem a água do subsolo e armazenam em tanques reservatórios, onde seguem, posteriormente, para o envase. Segundo a Agência Nacional de Vigilância Sanitária (ANVISA) - RDCNº 717, DE 1º DE JULHO DE 2022, a água mineral é obtida por meio de fontes naturais ou por meio de extração, onde mantém a sua característica e outros constituintes constantes.

Segundo Nunes (2022), a água mineral, que se encontra no subsolo, é considerada uma mistura homogênea que possui sais minerais na sua composição e está sob fiscalização da Agência Nacional de Mineração (ANM), antigo Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM). Logo, para extrair esse recurso, é necessária uma outorga, que confere a permissão para a captação de água mineral em uma determinada área especificada na licença de mineração.

A água utilizada na fabricação do refrigerante é obtida por meio da captação da água contida no subsolo. Ela compõe cerca de 90% do produto e deve atender aos padrões de potabilidade exigidos pelo Ministério da Saúde, apresentando características como: incolor, transparente, insípida, inodora, livre de íons ferro, cloro residual e microrganismos, ter baixo teor de sais de cálcio e de magnésio (Menda, 2011). Coca Cola Brasil (2007, *apud* Difante e Silva, 2007) relata que as indústrias de bebidas não alcoólicas brasileiras consomem, cerca de 1,5 litro de água por litro de bebida produzida, já no mundo o consumo é de 2,54 litros por litro de bebida produzida.

Segundo Menda *et al* (2011) o refrigerante é composto por açúcar que está numa proporção de 8% a 12% e as indústrias de fabricação de refrigerantes são as maiores consumidoras de açúcares no mercado brasileiro. O açúcar é utilizado para fabricação do xarope simples (água e açúcar), que é o início da fabricação do refrigerante. O consumo de bebidas ricas em açúcares contribui para o aumento de doenças crônicas nos indivíduos que a consomem de maneira descontrolada (Siqueira *et al*, 2021).

Os conservantes são parte integrante da matéria-prima do refrigerante, eles retardam a degradação da bebida ao longo do tempo por mofos, leveduras entre outras bactérias. Os conservantes mais comuns são o ácido benzóico, o ácido sórbico e seus respectivos sais de sódio, cálcio e potássio. Outros componentes importantes também são os acidulantes, antioxidantes, aromatizantes, corantes e gás carbônico (CO<sub>2</sub>) (Menda, 2011).

### 3.2 PROCESSO DO ENVASE DE ÁGUA MINERAL E PRODUÇÃO DE REFRIGERANTE

O mercado mundial de água envasada vem apresentando constante expansão segundo Departamento de Produção Mineral (DNPM) e a Associação Brasileira da Indústria de Águas mineral (ABINAM) e nos últimos anos a produção brasileira vem crescendo 20% ao ano e o Brasil já é o sexto maior produtor de água envasada Correia (2013). Ferreira, Riva e Yamanaka (2023) comentam que a água mineral é um dos mais consumidos mundialmente e é essencial para a vida, sendo consumida em embalagens de diferentes volumes como galões de 20L, garrafas de 500mL, entre outras.

Segundo o *Fast Company* a água mineral vendida em garrafas de plástico é uma das bebidas mais populares do mundo, onde a meta é garantir água segura para todos e no ano de 2020, 74% da humanidade já tinha acesso a uma água própria para o consumo.

#### 3.2.1 Envase de água mineral

O Departamento Nacional de Produção Mineral (DNPM) descreve o processo desde a captação até o envase, segundo a Portaria n° 222, de 28 de Julho de 1997, publicado no DOU em 08 de Agosto de 1997 e Resolução n° 173 de 13 de Setembro de 2006 da ANVISA, publicado no DOU em 15 de Setembro de 2006. Para Correia (2013) o processo de envase da água mineral acontece em seis etapas:

- Captação

Instalações são necessárias para a captação da água mineral, de fontes naturais ou por meio de poços artesianos, sem a alteração de suas propriedades. A água é captada de reservatórios subterrâneos – aquíferos – por bombas que asseguram a

não contaminação da água com óleo ou outras impurezas provenientes de seu funcionamento e manutenção.

A casa de proteção da bomba de extração deve ser mantida em boas condições sanitárias, livre rachaduras ou infiltrações e deve contar com tubulações que assegurem a preservação das características da água, como tubulações de inox, PVC (poli-cloreto de vinila) entre outras aprovadas pelo DNPM.

As tubulações, segundo DNPM, de condução da água mineral até o envase devem se situar acima do solo para facilitar a inspeção visual e não podem constar vazamentos.

- Filtração

A filtração é um processo de remoção de partículas maiores, com areia e pedras, por meio de material filtrante e ocorre após a extração da água mineral. Essa operação não visa melhorar a qualidade bacteriológica da água e também não altera suas características físico-químicas da mesma.

- Gaseificação

A gaseificação é a adição de gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ) na bebida durante o envase. Essa atividade é realizada com a água gelada e alta pressão de  $\text{CO}_2$  para aumentar a solubilidade do gás na água. Esse processo é apenas para águas gaseificadas.

- Envase

O envase é o processo de enchimento dos recipientes até o momento de seu fechamento. O envase deve ser realizado por máquinas, evitando o contato humano com o produto e a água envasada deve ser transportada diretamente para a rotulagem, por esteiras.

Os operadores que trabalham no envase devem ter o fardamento completamente limpo e as embalagens utilizadas devem garantir as propriedades físico-químicas da água, sem qualquer alteração.

- Rotulagem

A rotulagem é feita fora da sala de envase e serve como identificação do produto, permitindo seu rastreio. A aprovação dos rótulos é feita pelo Departamento Nacional de Mineração (DNPM) e o mesmo deve conter algumas informações como: nome da fonte, natureza da água, localidade, data e número da concessão de lavra, nome do concessionário, constates físico-químicos, composição química, classificação, volume do conteúdo, carimbo com ano e mês do envasamento, declarar “Água mineral gaseificada artificialmente” quando adicionada de gás carbônico.

- Estocagem

A água mineral envasada deve ser armazenada em local limpo e seco, sobre paletes, estrados ou prateleiras lisas e laváveis, longe da luz solar. Deve ter o espaçamento mínimo entre si, a fim de garantir uma boa ventilação, limpeza e desinfecção se for o caso.

### **3.2.2 Produção de refrigerante**

Para Celestino (2010) o processo de fabricação de refrigerante se divide em dois momentos que vai da fabricação de xarope simples e composto até o processo de diluição e enchimento:

- Xarope simples

O xarope simples é uma solução de água e sacarose granulada à 82°C. A solução é então filtrada com o objetivo de ser clarificada e para retirar possíveis impurezas e logo após, é resfriada a uma temperatura entre 15 e 20°C em trocadores de calor. Esse procedimento é conhecido como a quente e é bastante utilizado na indústria de refrigerantes.

Muitas usinas já comercializam a sacarose líquida – xarope simples – com uma concentração de aproximadamente 50°brix, o que já evita o desperdício de tempo e energia elétrica na dissolução do açúcar.

- Xarope composto

O xarope composto é preparado adicionando alguns insumos ao xarope simples cuja concentração dos ingredientes é estabelecida por testes sensoriais. Os in-

gredientes adicionados dependem do sabor do refrigerante, mas são adicionados aromatizantes, conservantes, acidulantes, bases ácidas, entre outros. Os ingredientes são adicionados cuidadosamente em um tanque de aço inox, sob agitação.

A ordem dos ingredientes deve ser seguida para evitar precipitações e turvação da bebida.

- Processo de diluição do xarope composto

Os ingredientes água e xarope composto são misturados para reduzir a concentração de brix e acidez do xarope à níveis desejáveis. Esses parâmetros são analisados pela equipe do controle de qualidade a fim de garantir um produto dentro dos conformes.

- Carbonatação

O xarope diluído é resfriado para solubilizar mais facilmente o gás carbônico ( $\text{CO}_2$ ). A combinação entre alta pressão de  $\text{CO}_2$  e o xarope diluído em baixa temperatura resulta em uma maior solubilidade do gás no líquido.

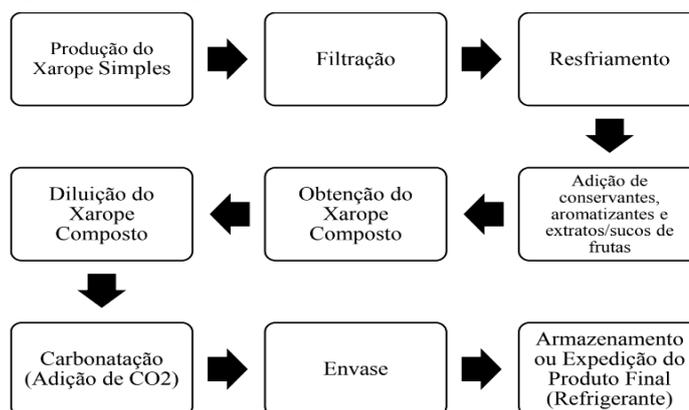
O  $\text{CO}_2$  é medido em “volume” e sua concentração na bebida depende do sabor. Em termos gerais o a carbonatação de refrigerantes é de 3,1 até 3,5 volumes de  $\text{CO}_2$ .

- Envase

O refrigerante é envasado gelado a fim de minimizar a criação de espuma, o que gera um produto com nível baixo. A enchedora recebe a embalagem e faz seu enchimento com a bebida até o nível correto, por conseguinte, a embalagem já com o refrigerante é tampada suavemente a fim de evitar derramamentos.

- Final da industrialização

Por meio de esteiras, as garrafas de refrigerante seguem para a codificação e rotulagem. Após esse processo, as garrafas são alinhadas e passam pela empacotadora, onde são envolvidas por um filme plástico termo-encolhível para virarem pacotes após passarem pelo forno e em seguida, seguem para comercialização. A figura 2 mostra o fluxograma da produção e envase do refrigerante em uma indústria.

**Figura 2** - Fluxograma da produção e envase de refrigerante

Fonte: Silva (2019).

### 3.3 EFLUENTES GERADOS PELA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTE E ÁGUA MINERAL

Em uma indústria de água mineral e fabricação de refrigerante as atividades da xaroparia e linhas de envasamento são as principais responsáveis pela geração de efluentes (Moreira, 1999). Para Moraes (2002) os efluentes gerados também vem das máquinas lavadoras de garrafas, lavagem de pisos e, em alguns casos, do esgoto sanitário. A tabela 01 mostra a caracterização básica de um efluente de uma indústria de refrigerante.

**Tabela 01** - Caracterização do efluente de uma indústria de refrigerante

Parâmetros	Média	Varição
DBO ( mg/L )	1188	940 – 1335
DQO ( mg/L )	2149	1616 – 3434
Resíduo Total ( mg/L )	2003	1704 – 2210
Resíduo Volátil ( mg/L )	1532	1292 – 1724
Resíduo Não Filtrável ( mg/L )	602	351 – 759
Resíduo Não Filtrável Vol. ( mg/L )	495	236 – 655
Nitrogênio Kjeldahl Total ( mg/L )	34,6	22 – 49
Nitrogênio Nitrato ( mg/L )	< 2,0	< 2,0
Nitrogênio Nitrito ( mg/L )	0,16	0,05 – 0,40
Fosfato Total ( mg/L )	6,68	4,0 – 13
Surfactantes ( mg/L )	0,45	0,22 – 0,80
Óleos e Graxas ( mg/L )	87	69 – 115
pH	10,2	8,0 – 12,3
Temperatura (°C)	32,0	28 – 35

Fonte: Moraes (2002).

O efluente pode ser oriundo das águas de sistemas de resfriamento, da lavagem de vasilhames e dos tanques e linhas, conhecido como *Clean-in-place* (CIP) e das resinas de clareamento do açúcar, que empregam ácidos e produtos cáusticos. Além disso, são gerados efluentes líquidos provenientes de lotes defeituosos ou retornados do mercado e derramamentos de produtos, os quais devem ser tratados segundo as normas e padrões estabelecidos pelas Resoluções CONAMA N° 357 e CONAMA N° 430 (Giordano et al, 2004, Consentino, 2006).

A pluralidade das atividades industriais – como envasamento de água e produção de refrigerante - gera efluentes com características distintas que podem contaminar solos e águas. As diferentes composições químicas, físicas e biológicas acompanhadas com os diferentes volumes gerados pela mesma unidade exigem a caracterização do efluente, quantificação, tratamento e armazenamento adequado antes mesmo de seu descarte para o meio ambiente (Lisboa, Silva e WERLANG, 2013).

A limpeza interna dos componentes e tubulações, conhecido como CIP, é um processo importante para o envase de água mineral e para a produção e envase de refrigerante. Consentino (2006) diz que no processo de CIP não há a necessidade de desmontar as tubulações ou equipamentos para limpá-los internamente. A limpeza é realizada com ácidos, produtos cáusticos e enxaguado com água limpa. Esse processo de limpeza interna das tubulações pode gerar efluentes com o pH alto para a ETE, dependendo do produto que foi usado. Também pode ser gerado efluentes com o pH baixo devido a utilização de ácidos nessa atividade.

É de suma importância em uma indústria um processo de limpeza de tubulações e máquinas, mas ao fim dessa atividade, gera-se uma quantidade de efluentes que logo em seguida é direcionado para a ETE. O processo de limpeza é bastante importante para os maquinários da empresa, pois tal processo garante uma maior qualidade à mercadoria produzida, Consentino (2006).

Além do CIP existem outras atividades geradoras de efluentes como regeneração de filtros, esterilizações e descarte de produtos avariados, que geram efluentes ácidos e também básicos e demandam grandes volumes de água. A demanda de água pode ocorrer de diversas formas, desde a limpeza de pisos e máquinas até a sua incorporação no produto, onde essas águas se tornam efluentes líquidos, principais poluentes poluidores de corpos receptores (Lisboa, Silva e WERLANG, 2013)

### 3.4 LEGISLAÇÃO AMBIENTAL DE ENFLUENTES EM CORPOS HÍDRICOS

O descarte de efluentes industriais é controlado por meio de leis, que estabelecem parâmetros para o seu lançamento em corpos receptores. O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) é quem controla, por meio da RESOLUÇÃO N° 430, DE 13 DE MAIO DE 2011, os parâmetros estabelecidos para o descarte de efluentes em corpos receptores.

A RESOLUÇÃO N° 430, de 13 de maio de 2011, dispõe as condições para o lançamento de efluentes em corpos de água. Ela altera parcialmente e complementa a RESOLUÇÃO N°357, de 17 de março de 2005, do CONAMA. O quadro 01 mostra alguns parâmetros físico-químicos que essa resolução estabelece.

**Quadro 01** - Parâmetros físico-químicos para o lançamento de efluentes

TABELA 1	
Parâmetros inorgânicos	Valores máximos
Arsênio total	0,5 mg/L As
Bário total	5,0 mg/L Ba
Boro total (Não se aplica para o lançamento em águas salinas)	5,0 mg/L B
Cádmio total	0,2 mg/L Cd
Chumbo total	0,5 mg/L Pb
Cianeto total	1,0 mg/L CN
Cianeto livre (destilável por ácidos fracos)	0,2 mg/L CN
Cobre dissolvido	1,0 mg/L Cu
Cromo hexavalente	0,1 mg/L Cr <sup>+6</sup>
Cromo trivalente	1,0 mg/L Cr <sup>+3</sup>
Estanho total	4,0 mg/L Sn
Ferro dissolvido	15,0 mg/L Fe
Fluoreto total	10,0 mg/L F
Manganês dissolvido	1,0 mg/L Mn
Mercurio total	0,01 mg/L Hg
Níquel total	2,0 mg/L Ni
Nitrogênio amoniacal total	20,0 mg/L N
Prata total	0,1 mg/L Ag
Selênio total	0,30 mg/L Se
Sulfeto	1,0 mg/L S
Zinco total	5,0 mg/L Zn
Parâmetros Orgânicos	Valores máximos
Benzeno	1,2 mg/L
Clorofórmio	1,0 mg/L
Dicloroeteno (somatório de 1,1 + 1,2cis + 1,2 trans)	1,0 mg/L
Estireno	0,07 mg/L
Etilbenzeno	0,84 mg/L
fenóis totais (substâncias que reagem com 4-aminoantipirina)	0,5 mg/L C <sub>6</sub> H <sub>5</sub> OH
Tetracloroeto de carbono	1,0 mg/L
Tricloroeteno	1,0 mg/L
Tolueno	1,2 mg/L
Xileno	1,6 mg/L

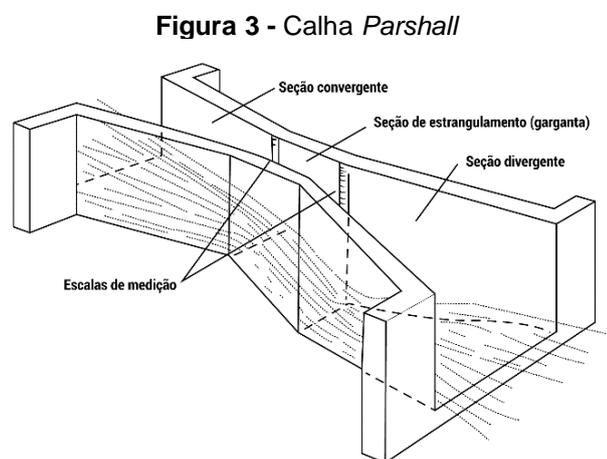
**Fonte:** Resolução CONAMA N°430 (2011).

Ainda segundo a RESOLUÇÃO N° 430, o pH do descarte de efluentes deve se situar entre 5 e 9 e a temperatura do efluente deve estar abaixo de 40°C, não podendo alterar a temperatura do corpo receptor em 3°C no local da mistura. A remoção de DBO no processo de tratamento do efluente deve ser de no mínimo 60%, havendo a possibilidade de diminuição dessa porcentagem por meio de um estudo de autodepuração do corpo hídrico que comprove as metas do enquadramento do corpo receptor.

### 3.5 ESTRUTURA DA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO POR LODOS ATIVADOS

#### 3.5.1 Medidor de vazão

O medidor de vazão é um componente indispensável na estação de tratamento. A calha *Parshall* é o medidor de vazão mais utilizado nas estações de tratamento de efluentes, pois mesmo com uma boa quantidade de tecnologias para executar essa tarefa de medir vazão com mais precisão, ela ainda é a mais utilizada, pois o custo de se adotar outras formas de medir a vazão não é viável para a estação em si (Costa, 2019). A figura 3 mostra o esquema de uma calha *Parshall* que geralmente é utilizada nas estações como medidoras de vazão.



Fonte: Metropole digital (2018).

Segundo *Hidrometer* (2019) esse tipo de medidor de vazão não precisa que a tubulação esteja completamente cheia para que ele possa fazer a medição com precisão e é dividido em seção convergente, seção de estrangulamento e seção divergente. A escala de medição se encontra na seção de estrangulamento, onde unidade de medida é em metros cúbicos por hora ( $m^3/h$ ).

*Hidrometer* (2019) complementa que a calha *Parshall* é utilizada para medir a vazão do efluente de entrada (todo o efluente que vem da fábrica) e medir a vazão do efluente de saída (efluente tratado) e sua precisão é de aproximadamente 3%.

#### 3.5.2 Equalizador

Todo o efluente que vem da fábrica é direcionado para o tanque equalizador. O objetivo desse tanque é promover a homogeneização de toda a massa líquida que vem da fábrica, deixando-a com uma só característica. Para Nunes (2015, apud Marinho, 2017) o tanque equalizador tem como objetivo criar uma uniformidade tanto nas

características físico-químicas quanto na vazão de alimentação da estação. Desse modo, evita-se variações no pH e o efluente é mais bem distribuído para a ETE. A figura 4 mostra os difusores de ar que fazem a agitação por oxigenação do efluente no Equalizador e no Reator Biológico Aerado (RBA).

**Figura 4** - Difusores de ar do tanque Equalizador e do RBA



**Fonte:** Kunz, Pereira e Senna, (2011).

O tanque de equalização promove a mistura de toda a massa líquida por meio de aeradores, difusores de ar, *mixers* entre outros para se chegar em um efluente bruto com características padrão. O pH, por exemplo, é um parâmetro físico-químico que é corrigido, geralmente, nesse tanque. Segundo Nunes (2009) o processo de correção do pH é estabilizá-lo de acordo com o valor desejado. Outro parâmetro que também é comumente corrigido no equalizador são os nutrientes. Segundo Ribeiro (2005, *apud* Almeida *et al*, 2013) ao tanque de equalização pode-se adicionar os nutrientes (fósforo, nitrogênio e potássio), quando necessário, para melhoramento da qualidade final do efluente.

### **3.5.3 Reator Biológico Aerado**

O tanque Reator Biológico Aerado é responsável por fazer o tratamento do efluente que vem do Equalizador utilizando lodos ativados e oxigênio dissolvido (OD) que vem por aeração. O processo biológico de tratamento é bastante utilizado devido a sua eficiência em tratamento de efluentes industriais e a sua capacidade de tratar grandes quantidades de despejos (Kunz, Pereira e Senna, 2011).

A técnica de lodos ativados é utilizada como uma forma de tratamento dos efluentes gerados pela indústria, transformando a carga orgânica em subprodutos menos

complexos como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), água (H<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) entre outros. Para Freire *et al* (2000), os tratamentos biológicos são os mais utilizados, pois possibilitam o tratamento de um grande volume de efluente, oxidando compostos orgânicos à CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub>O com custos relativamente baixos.

O tratamento de efluentes por lodos ativados utiliza as bactérias do lodo para fazerem a degradação da matéria orgânica, com auxílio de oxigênio dissolvido presente no meio e nutrientes. Freire *et al* (2000) ainda diz que lodo biológico utiliza os compostos orgânicos do efluente para a manutenção e aumento da carga microbiana do lodo.

Carbono (C), Hidrogênio (H), nitrogênio (N), oxigênio (O), fósforo (P) e enxofre (S) são os nutrientes principais que compõem as células bacterianas, onde grande parte desses componentes são necessários para manutenção e síntese de material celular (Gerardi, 2006). O quadro 02 mostra, em porcentagem, a composição básica das células bacterianas em peso.

**Quadro 02** – Composição das células bacterianas

Elemento	Composição Média (%)	Varição na Composição (%)
Carbono	50	45 – 55
Oxigênio	20	16 – 22
Nitrogênio	14	12 – 16
Hidrogênio	8	7 – 10
Fósforo	3	2 – 5
Enxofre	1	0,8 – 1,5
Potássio	1	
Sódio	1	
Cálcio	0,5	
Cloro	0,5	
Magnésio	0,5	
Ferro	0,2	
Elementos Traço	0,1	

**Fonte:** Adaptado de Gerardi (2006).

O oxigênio dissolvido é um parâmetro importante para o bom funcionamento de uma estação de tratamento que utiliza um sistema de lodos ativados em Reator Biológico Aerado. Segundo Oliveira, Pereira e Pinto (2000), o oxigênio dissolvido nas águas naturais, é indispensável para os seres vivos, como peixes e bactérias e é de suma importância em reatores de tratamento biológico.

No processo de oxidação da matéria orgânica presente no efluente, o oxigênio dissolvido é utilizado pelas bactérias para fazerem a degradação dela. As bactérias aeróbicas presentes no RBA, com auxílio do OD, consomem a matéria orgânica, principal poluente do efluente, transformando-a em moléculas menos complexas, como gás carbônico (CO<sub>2</sub>), que é liberado para o meio (Catunda,1996).

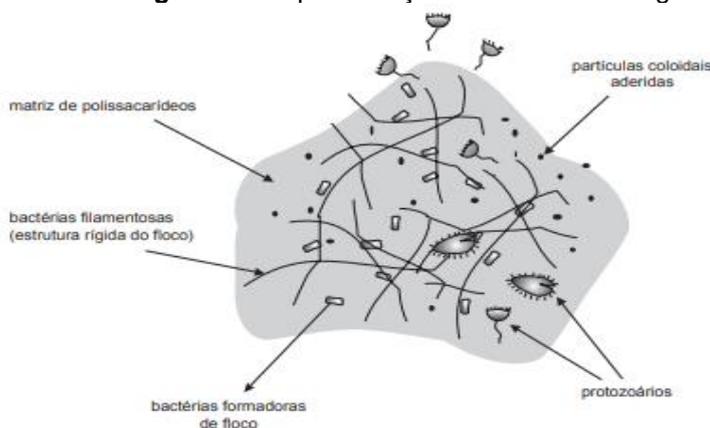
Vale ressaltar que a presença de microrganismos aeróbicos, gera um maior consumo de OD, mas esse parâmetro logo é repostado por aeradores que inflam oxigênio em toda a massa líquida contida no RBA. A maioria dos seres vivos aquáticos utilizam o oxigênio dissolvido para sobreviver e seus níveis são reduzidos quando há a presença de contaminantes orgânicos (Alvarado e Aguilar, 2009).

### 3.5.4 Lodos ativados

O processo de tratamento de efluentes por lodos ativados é amplamente utilizado em escala mundial e foi concebido no Reino Unido, em 1914. Esse sistema demanda uma maior mecanização no seu processo onde, para sua operação, é necessário um maior consumo de energia devido aos compressores de ar, que servem para fornecer oxigênio para o lodo (Von Sperling, 1997).

No RBA, ocorre reações bioquímicas de oxidação da matéria carbonácea contida no efluente, por meio da respiração celular, através da biomassa (lodo) presente no tanque. O efluente que chega no tanque RBA é o alimento dessa biomassa, que utiliza ele como uma fonte de carbono, nitrogênio e fósforo para o crescimento de mais bactérias, o que também aumenta a biomassa contida no tanque (Von Sperling, 1997). A figura 5 ilustra como é um floco de lodo ativado.

**Figura 5** – Representação de um floco biológico



**Fonte:** Von Sperling, 1997.

Há uma diversidade de organismos que podem estar presentes em um floco de lodo biológico e isso inclui fungos, protozoários, bactérias filamentosas, entre outras. A estrutura do floco é dividida basicamente em microestrutura e macroestrutura: a primeira é responsável pela formação do lodo, predominantemente constituída de bactérias filamentosas; a segunda é responsável pela formação do floco, onde inclui-se bactérias formadoras de flocos como fungos, protozoários, entre outras espécies. As bactérias não filamentosas, que são responsáveis por formar o floco, são do gênero *Zooglea*, *Pseudomonas*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes*, *Achromobacter*, *Corynebacterium*, *Comomonas*, *Brevibacterium*, *Acinetobacter*, *Bacillus spp*, dentre outras, e o formato esférico, além da matriz gelatinosa, ajuda na adesão de novos microrganismos, o que aumenta o tamanho do floco biológico (Moreira, 2024).

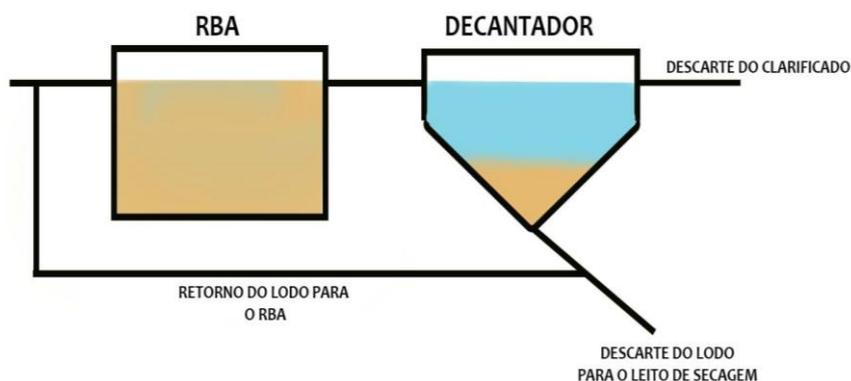
O crescimento exagerado da biomassa presente no RBA resulta em um efluente tratado com uma quantidade de sólidos suspensos indesejada, pois o excesso de lodo diminui a sua capacidade de boa decantação no tanque de decantação. Esse processo é conhecido como lodo excedente, que precisa ser removido do sistema por meio de descartes diários ou semanais (Von Sperling, 1997).

### **3.5.5 Decantador**

O tanque decantador tem como objetivo realizar a decantação do lodo, separando-o do sobrenadante – clarificado ou efluente tratado. Após o tratamento, a mistura lodo/efluente será decantada, no tanque Decantador, onde ocorre a separação da biomassa bacteriana do efluente clarificado. O lodo decantado pode retornar para o tanque RBA ou seguir para os leitos de secagem para (Kunz, Pereira e Senna, 2011).

A figura 5 ilustra como é a estrutura de um tanque decantador, que possui um fundo cônico, para compactar e concentrar o lodo decantado, facilitando o seu retorno para o RBA ou o seu descarte.

**Figura 6** - Estrutura do decantador



Fonte: Autor (2024).

### 3.5.6 Filtro de areia

Segundo Kowata e Ribeiro (1998), a aplicação de filtros no tratamento de águas é um processo utilizado há muito tempo e os diferentes tipos de águas residuais exigem diferentes sistemas de tratamento, adaptados às características dessas águas. Uma das formas de melhorar as condições da água, utilizando técnicas de tratamento simplificadas, é por meio da utilização dos filtros. O filtro de areia serve para a retenção de partículas grandes, que tenham restado processo de decantação. É um dispositivo utilizado por indústrias que serve para remover impurezas por meio da passagem da água por uma camada de areia.

A eficiência do filtro é determinada de acordo com as características da água a ser tratada: se há materiais presentes, se houve uso ou não de coagulantes. Outros fatores importantes também se destacam na eficiência do filtro, como a construção do filtro, operação e manutenção, onde tudo isso contribuiu para um bom funcionamento (Ribeiro e Kowata, 1998). O processo de filtração é bastante simples, onde a água contendo partículas é bombeada para o topo do filtro e espalhada uniformemente por cima dele. A camada de areia retém as partículas sólidas e a água passam por essa camada saindo por debaixo do filtro. A camada areia é limpa utilizando um sistema reverso de fluxo de água limpa, que vem debaixo para cima, removendo as partículas que ficaram retidas no filtro (Mesquita, 2014).

### 3.6 ANÁLISES FÍSICO-QUÍMICAS E MICROBIOLÓGICAS

#### 3.6.1 Cloração

Tanon (2007) fala que a cloração dos efluentes se mostra bastante eficaz e é muito utilizada por meio dos diversos compostos contendo cloro, pois destroem os organismos que causam enfermidades. Essa técnica de cloração, além de desinfecionar o efluente, ainda deixa um residual que garante uma maior segurança ao efluente até chegar ao corpo receptor. O hipoclorito de sódio ( $\text{NaClO}$ ) e o hipoclorito de cálcio ( $\text{Ca}(\text{ClO})_2$ ), em meio aquoso, se dissociam liberando o ânion hipoclorito ( $\text{ClO}^-$ ) como seguem as equações 1 e 2.

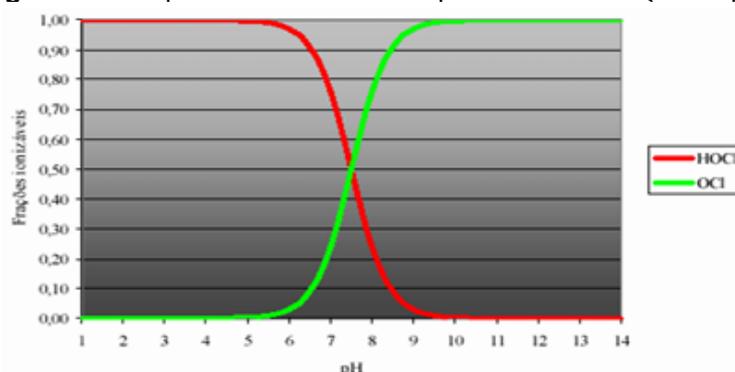


Tanon (2007) salienta que, na temperatura ambiente, a formação do ácido hipocloroso ( $\text{HClO}$ ) acontece rapidamente e a ação desinfetante e oxidante do cloro depende da dissociação do ácido hipocloroso, um ácido fraco, em meio aquoso, como mostrado na equação 3.



A figura 6 mostra como se dá a dissociação do ácido hipocloroso por meio do pH. Nota-se que, para pH inferiores a 6,0, tem-se a predominância do  $\text{HClO}$ , porém a medida que o pH aumenta o ácido se dissocia, aumentando a concentração do íon hipoclorito.

**Figura 7** – comportamento do ácido hipocloroso em função do pH



Fonte: CETESB, (1994).

Essa etapa do processo de cloração acontece logo após o efluente clarificado passar pelo filtro de areia, que é responsável por reter partículas maiores que permaneceram no efluente tratado. Ausland *et al*/ (2002) afirma que, no Brasil, o filtro de areia é utilizado como um pós-tratamento simplificado e seu funcionamento é por meio da aplicação do efluente sobre uma camada de areia e outros materiais como cascalho, carvão, brita e, durante a infiltração do efluente no filtro, há uma maior purificação do clarificado, pois o filtro retém algumas partículas remanescentes.

### 3.7 DEMANDA QUÍMICA DE OXIGÊNIO

A análise da demanda química de oxigênio é de suma importância para uma estação de tratamento de efluentes (ETE). Essa análise quantifica a concentração de matéria orgânica – ou inorgânica que possa ser oxidada - presente na amostra a ser analisada. Para Aquino, Chernicharo e Silva (2006, p. 296), “Dessa forma, causará DQO a amostra que contiver substâncias orgânicas e/ou inorgânicas passíveis de oxidação pelo dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ) em meio ácido”.

O procedimento da análise da amostra acontece por meio de sua oxidação com ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), com dicromato de potássio ( $K_2Cr_2O_7$ ), em bloco digestor, à  $150^\circ C$  por duas horas. Trata-se de oxidar a matéria orgânica em estruturas mais simples, não oxidáveis. Aquino, Chernicharo e Silva (2006) ainda falam que o carbono reduzido é oxidado a dióxido de carbono ( $CO_2$ ) na amostra. A unidade de medida da quantificação de DQO de uma amostra é expressa em mg/L de  $O_2$  consumido no processo para oxidar a matéria orgânica da amostra.

O acompanhamento desse parâmetro é feito no efluente bruto – efluente de entrada - e no efluente de descarte – efluente de saída ou simplesmente efluente tratado -, a fim de monitorar a eficiência da estação em remoção da carga orgânica ao longo do processo no tanque biológico.

A remoção desse parâmetro no processo de tratamento é bastante pertinente. Para Ribeiro e Botari (2022), a matéria orgânica presente no efluente pode ser medida indiretamente pela DQO, e sua presença na amostra fomenta uma diminuição do oxigênio dissolvido em corpos hídricos receptores por meio das bactérias presentes no meio receptor.

Nesse sentido, se o efluente de descarte – efluente tratado – conter uma quantidade significativa de compostos orgânicos, as bactérias presentes nos corpos receptores irão oxidar essa matéria orgânica utilizando o oxigênio dissolvido do meio. Nesse contexto, os organismos vivos do meio irão sofrer com a ausência de oxigênio dissolvido para respirar, causando, assim, a morte de vários peixes e outros seres.

Em uma indústria de refrigerantes e envase de água mineral, a carga orgânica presente no efluente em maior quantidade é o açúcar e alguns corantes que dão aos refrigerantes suas colorações características e geram um efluente com cor e esses corantes precisam ser oxidados antes do seu descarte em corpos receptores.

Segundo Guaratini e Zanoni (2000, p. 75) o lançamento irregular desses resíduos sem tratamento prévio causará impedimento na absorção da luz pelos habitantes vegetais e animais do meio aquático, onde cumulações desses lançamentos podem ser um potencial para contaminação de mananciais e para a água distribuída à população. Fica evidente que os corantes, em corpos receptores, causam danos a fauna e a flora aquática, pois impede os organismos de realizarem suas atividades fotossintéticas, pela baixa penetração da luz solar no meio.

### 3.8 DEMANDA BIOLÓGICA DE OXIGÊNIO

A DBO é um parâmetro, assim como DQO, analisado tanto na entrada do efluente na estação – efluente bruto – quanto na saída do efluente – efluente tratado -, a fim de se obter a eficiência da estação. Segundo o Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA), na resolução N°430 de 13/05/2011, a remoção mínima de DBO do efluente para descarte em corpos receptores é de pelo menos 60% em comparação ao efluente de entrada.

O efluente de entrada terá uma maior concentração de DBO, visto que o efluente contém vários tipos de matéria orgânica e as bactérias presentes no próprio efluente a consomem naturalmente, antes do efluente chegar ao Tanque Biológico Aerado (RBA). Para Dias (2018) a DBO mede a quantidade de oxigênio consumida por microrganismos para realizar a oxidação das moléculas orgânicas presente no efluente.

A análise desse parâmetro é feita medindo o oxigênio dissolvido, com um oxímetro, da amostra inicial. Após isso, a amostra é armazenada, em um frasco específico para DBO junto com alguns nutrientes, em uma incubadora, a uma temperatura de aproximadamente 20°C, por 5 dias, por isso também é chamada de DBO<sub>5</sub>. Ao final desse tempo, a amostra é retirada e novamente é feita a leitura do oxigênio dissolvido. Esse procedimento é feito tanto para a amostra de entrada, que é a amostra presente no tanque Equalizador, quanto no efluente já tratado.

### 3.9 TURBIDEZ

A turbidez é um parâmetro que expressa a dificuldade de um feixe de luz atravessar uma amostra devido às partículas suspensas presente nela. Correia (2008) afirma que a turbidez é o espalhamento da luz quando passa por uma amostra de água, onde quanto maior for o espalhamento do feixe, maior é a turbidez e é causada por materiais sólidos em suspensão na amostra como salite, argila, colóides, matéria orgânica.

Correia (2008) em seu trabalho salienta que a análise desse parâmetro é realizada por turbidímetro, aparelho que lança um feixe de luz (comprimento de onda) na amostra e compara com um feixe de mesma intensidade emitido em uma amostra de concentração padrão. A unidade de medida da turbidez é expressa em Unidades Nefelométricas de Turbidez (UNT) ou Unidades de Turbidez (UT). X também aponta que a cor da água influencia diretamente na turbidez da amostra, visto que essas substâncias que causam cor podem absorver o comprimento de onda emitido pelo aparelho.

Alterações na água podem ser evidenciadas determinando a turbidez, por meio de um monitoramento constante dos corpos receptores. Para Bergamasco *et al* (2010), o acompanhamento da turbidez da água permite evidenciar contaminações em corpos receptores, onde o aumento da turbidez desses leitos que recebem os efluentes tratados influencia diretamente nos organismos aquáticos, que são impedidos de realizarem atividades básicas como fotossíntese.

### 3.10 COAGULAÇÃO

A coagulação tem como finalidade a decantação de partículas que não sofrem ação da gravidade. Segundo Bergamasco (2010) o processo de coagulação tem como objetivo a decantação de materiais coloidais, que são materiais sólidos em suspensão e/ou dissolvidos no efluente. Os coloides são misturas heterogêneas que apresentam pelo menos duas fases, sendo uma denominada fase dispersa, onde a matéria se encontra finamente dividida entre si e misturada à fase contínua, chamada de meio de dispersão.

No processo de coagulação é adicionado ao efluente um agente coagulante que anula forças de repulsão entre as partículas suspensas, que em geral, apresentam a mesma carga e exercem uma força de repulsão entre si. Esse processo de coagulação reduz as forças que exercem repulsão entre esses coloides, formando um coágulo por mecanismos de ligação e adsorção na superfície da partícula coloidal (Bergamasco, 2010).

Bergamasco (2010) salienta em seu trabalho que sais de alumínio, geralmente  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , são bastante utilizados para o tratamento com coagulação. O sulfato de alumínio, assim como sais de ferro, são sais inorgânicos que conferem ao lodo metais pesados ao serem utilizados como agentes coagulantes no tratamento dos efluentes. Os metais desses reagentes precipitam como hidróxidos de alumínio ( $\text{Al}(\text{OH})_3$ ) ou hidróxido de ferro ( $\text{Fe}(\text{OH})_2$ ), que são insolúveis em água.

Para Pavanelli (2011) a coagulação representa a desestabilização das partículas que se repelem por terem carga predominantemente negativa (coloides). Por meio da adição de um produto químico apropriado, como sais de alumínio, ferro ou polímeros sintéticos, seguido por agitação rápida do meio e correção do pH, há uma diminuição nessa força de repulsão entre as partículas. Os coagulantes, basicamente, precipitam os coloides e os sólidos em suspensão sob a forma de coágulos que, por fim, conseguem sofrer ação da gravidade e descer até o fundo do decantador.

## 4 METODOLOGIA

Toda a metodologia, que se divide em: apresentação da ETE, quantificação dos efluentes, procedimentos em laboratório e procedimentos na estação de tratamento, foi realizada em uma empresa localizada na Guabiraba, bairro do Recife, no estado de Pernambuco.

A empresa comercializa água mineral há mais de 30 anos, vendendo garrafões de 20L, garrafas de 500mL, 295mL, 330mL, 1,5L, copo de 200mL, copo de 300mL e água com gás de 500mL. Ela também fabrica e comercializa refrigerantes há mais de 3 anos, de sabores variados como limão, laranja, uva, cola e guaraná, sendo todos os sabores envasados em garrafas de 2L ou 250mL.

Devido aos descartes do efluente gerado no processo, a empresa conta com uma estação de tratamento que é responsável por fazer o tratamento dos efluentes gerados pelo setor produtivo e demais áreas da fábrica, exceto os despejos sanitários. A ETE conta com um sistema de lodos ativados para fazer o tratamento dos despejos enviados para ela e conta com medidor de vazão de entrada, peneira estática, tanque de equalização, reator biológico aerado, tanque de decantação, filtro de areia, medidor de vazão de saída e leitos de secagem para secagem do lodo descartado.

### 4.1 ESTRUTURA DA ETE

Todo o efluente gerado pela fábrica passa primeiramente pelo medidor de vazão de entrada, do tipo calha *Parshall*, para ser registrado o volume total de efluente gerado pela fábrica que vai para estação de tratamento (figura 7).

**Figura 8 - Calha Parshall**

**Fonte:** Autor (2024).

A fim de monitorar e quantificar todo o efluente de entrada, é registrado diariamente todo o volume que passa pela calha. É anotado o início e o término do descarte que vem da xaroparia e demais áreas, bem como o volume de efluente que passou pela calha.

Após passar pela calha, o efluente segue para a peneira estática, que serve para reter os sólidos como tampas, lacres, rótulos, entre outros materiais que podem causar danos às bombas. A figura 8 mostra a peneira estática utilizada para tal finalidade.

**Figura 9 - Peneira estática**

**Fonte:** Autor (2024).

Todo o sólido que é retido é posteriormente retirado pelo operador da ETE. O efluente que passa pela calha cai diretamente no tanque de equalização.

No tanque de equalização, todos os despejos ganham as mesmas características, pois são homogeneizados dentro dele. Nesse tanque é feita a correção do pH do efluente utilizando hidróxido de sódio a 20% e a adição de ureia e ácido fosfórico, que são fontes de nitrogênio (N) e fósforo (P), respectivamente. A figura 9 mostra como é o tanque de equalização utilizado para padronização do efluente recebido.

**Figura 10 - Tanque de equalização**



**Fonte:** Autor (2024).

Toda a massa líquida contida no equalizador é homogeneizada por meio da adição de ar, que é difundido na base do tanque por meio de um sistema de difusores de ar. O tanque equalizador é em concreto, escavado no solo e tem capacidade máxima para  $273\text{m}^3$ , sendo a capacidade útil de  $263,3\text{m}^3$ . Ele conta com uma altura total de 5,2m, sendo uma altura útil de 5,1m. Sua largura é de 5,8m e seu comprimento é de 8,9m.

Todo o ar que é mandado para o tanque de equalização para homogeneização é enviado por aeradores (compressores de ar), que são apresentados na figura 10.

**Figura 11 - Compressores de ar**

**Fonte:** Autor (2024).

A ETE conta com dois compressores de ar. O aerador também faz a homogeneização da massa líquida contida no tanque de aeração que também possui difusores de ar espalhados por todo o fundo da estrutura, que garantem oxigenação em todas as partes do tanque. Cada um tem uma potência de 30Kw, pressão máxima de 660mbar, sendo uma pressão de operação de 600mbar da marca Atlas Copco.

Quando o efluente recebe o devido tratamento preliminar no tanque de equalização, como ajuste de pH e nutrientes, ele segue para o reator biológico aerado (RBA), por meio de bombeamento. A bomba conta com uma vazão de 20m<sup>3</sup>/h, sendo do tipo helicoidal, como mostra a figura 11.

**Figura 12 - Bomba do equalizador**

**Fonte:** Autor (2024).

A figura 12 ilustra o tanque RBA, que tem o objetivo fazer a oxidação das matérias orgânicas presentes no efluente, utilizando gás oxigênio que é enviado do aerador e espalhado pelos difusores de ar presentes no fundo tanque.

**Figura 13 – Tanque RBA**

**Fonte:** Autor (2024).

Esse tanque conta com uma capacidade máxima de  $582,5\text{m}^3$ , tendo uma capacidade utilizável de  $561,3\text{m}^3$ . A largura do tanque é de 8,9m, sendo seu comprimento 11,9m. Sua altura total é de 5,5m e sua altura útil é de 5,3m. Todo o efluente tratado pelo RBA segue para o tanque de decantação por equilíbrio de nível, sem a necessidade de bombeamento.

A estação de tratamento conta com dois tanques decantadores em formato de prisma quadrangular, com a base em formato de pirâmide, onde cada um tanque tem a capacidade útil de  $64,53\text{m}^3$ . A altura do prisma é de cerca de 2,0m e a da pirâmide 4,0m. A Largura e o comprimento medem 4,4m. A figura 13 ilustra como são os dois decantadores, bem como a bomba que remove o lodo decantado do fundo deles.

**Figura 14 – Tanques decantadores e bomba de recirculação/descarte de lodo**

**Fonte:** Autor (2024).

Após a decantação e remoção do lodo - descarte ou recirculação - pelo sistema de bombeamento, o efluente segue para o descarte, que pode ser por bombeamento ou equilíbrio de nível, passando pelo filtro de areia (figura 14).

**Figura 15 - Filtro de areia**

Fonte: Autor (2024).

A composição do filtro conta com uma camada superior de areia média, uma camada de pedregulho, seguido por uma camada de brita fina, outra de brita média e, por fim, uma camada de brita grossa.

#### 4.2 ENSAIO COM SULFATO DE ALUMÍNIO

Visando a melhoria na turbidez, DBO e DQO do efluente tratado, reduzindo a carga orgânica remanescente, foi utilizado sulfato de alumínio como coagulante por meio de testes realizados no próprio laboratório da ETE.

Os primeiros ensaios aconteceram em laboratório. Como não havia equipamento de *jar test*, foi improvisado um, utilizando uma chapa magnética e uma barra magnética para agitação das amostras. A figura 15 mostra como foi improvisado o aparelho para homogeneização do sulfato de alumínio com as amostras.

**Figura 16 – Jar test improvisado**

Fonte: Autor (2024).

Foram realizados cinco testes, cada um em um dia, com três concentrações distintas de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$  e pH. Cada teste contou com 3 béqueres de 1L de amostra e foi utilizado um volume padrão de 10mL dessa solução coagulante para cada litro de amostra, como mostra o quadro 3. Em cada dia foi coletado, no decantador, um volume de efluente tratado por lodos ativados para as análises.

**Quadro 3** – testes de dosagem do coagulante

Teste	Dia	Volume de efluente tratado por lodos ativados para o teste	Volume de coagulante utilizado	Concentração do coagulante	Número da amostra	pH do béquer
1	1	1L	10mL	10g/L	1	6,0
					2	7,0
					3	8,0
2	2			20g/L	1	6,0
					2	7,0
					3	8,0
3	3			30g/L	1	6,0
					2	7,0
					3	8,0
4	4			40g/L	1	6,0
					2	7,0
					3	8,0
5	5			50g/L	1	6,0
					2	7,0
					3	8,0

**Fonte:** Autor (2024).

No teste 1 (primeiro dia), foram separados três béqueres com 1L de efluente, já tratado, coletado do decantador, com o pH em aproximadamente 7. Os três béqueres, sendo um de cada vez, foram para a chapa magnética com uma rotação média de 500rpm, sendo dosado, com uma pipeta, um volume de 10mL do coagulante com concentração 10g/L. Ambas as amostras permaneceram em agitação por 5 minutos entre a adição do coagulante e a correção do pH utilizando um pHmetro de bancada (figura 16), onde o primeiro béquer foi corrigido para pH 6, o segundo para pH 7 e o terceiro para pH 8, com hidróxido de sódio 1%, gota a gota.

**Figura 17 – pHmetro de bancada**



**Fonte:** Autor (2024).

As amostras ficaram em repouso por 10 minutos após a correção do pH, para decantação do lodo coagulado. Foi coletado uma amostra de cada béquer, totalizando 3 amostras com os pHs distintos, para as análises de DQO e turbidez, bem como uma amostra do efluente tratado apenas com lodos ativados.

O mesmo procedimento foi aplicado para os outros quatro testes, sendo respeitado o tempo de 5 minutos para coagulação e correção do pH da amostra, bem como os 10 minutos para decantação do lodo de cada amostra. Os tempos foram cronometrados em relógio, minimizando os erros.

#### **4.2.1 Ensaio de turbidez com a amostra clarificada por coagulação**

O ensaio de turbidez das amostras seguiu como metodologia os procedimentos, de forma adaptada, do *Standard Methods*, edição de número 23, procedimento *Turbidity 2130 B. Nephelometric Method*.

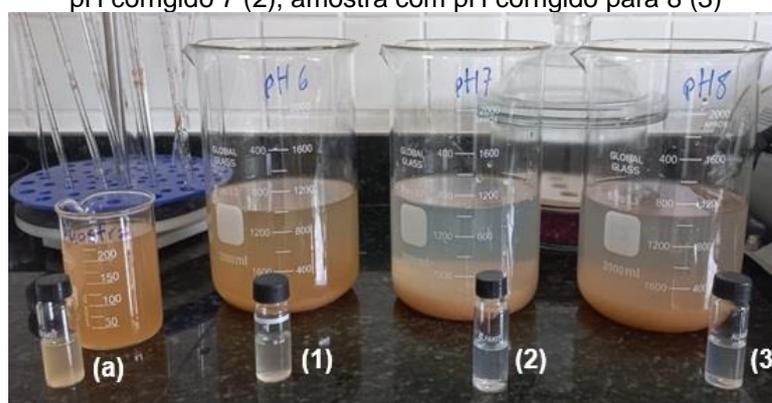
Para o teste 1 (primeiro dia), foi inicialmente preparada uma amostra em branco, utilizando água destilada, enchendo uma cubeta até o nível indicado por ela. Em seguida, o aparelho foi calibrado com o branco. Em seguida, a amostra padrão de 170 unidades de turbidez (UT), que acompanha o equipamento, foi lida para conferir a precisão do equipamento, de acordo com as instruções sugeridas pelo fabricante.

Uma cubeta com amostra sem o tratamento com coagulante foi preparada para a leitura da turbidez, removendo todas as bolhas de ar presentes dentro dela. Com um papel seco e macio, foi retirada toda a umidade e sujeiras presentes na parte

exterior da cubeta. Por conseguinte, a amostra foi inserida no equipamento para ser realizada a leitura de sua turbidez, em unidades de turbidez (UT).

Após a análise da amostra sem o tratamento com coagulante, foram realizadas as análises das 3 amostras da etapa 1, sendo a amostra 1 (pH 6), a 2 (pH 7) e amostra 3 (pH8), respectivamente. Os resultados de turbidez das amostras 1, 2 e 3 foram comparados com o resultado da amostra sem o tratamento por coagulação. A Figura 17 ilustra as amostras dentro das cubetas para o ensaio da turbidez.

**Figura 18** – Amostra sem tratamento (a), amostra com pH corrigido para 6 (1), amostra com o pH corrigido 7 (2), amostra com pH corrigido para 8 (3)



Fonte: Autor (2024).

Seguiu-se o mesmo procedimento para os outros quatro testes, sendo realizado primeiramente a análise de turbidez da amostra sem o tratamento com sulfato de alumínio e, por conseguinte, a análise das outras 3 amostras com o pH 6, 7 e 8, respectivamente.

#### 4.2.2 Ensaio de DQO com a amostra clarificada por coagulação

As análises de DQO seguiram a mesma sistemática da análise de turbidez, sendo feita a análise do efluente sem a coagulação e as 3 amostras da etapa 1 tratadas com coagulante.

O ensaio de DQO das amostras seguiu como metodologia os procedimentos, de forma adaptada, do *Standard Methods*, edição de número 23, procedimento *Chemical Oxygen Demand 5220 D. Closed Reflux, Colorimetric Method*.

O bloco digestor foi aquecido até a temperatura de 150°C e, em 5 cubetas de 16mm, foi adicionado cerca de 1,5mL da solução de digestão, que contém ácido sulfúrico (H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>), dicromato de potássio (K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub>), sulfato de mercúrio (HgSO<sub>4</sub>) e 3,5mL de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> concentrado contendo sulfato de prata (Ag<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>).

As cubetas foram enumeradas de 1 a 5, onde na primeira, foram adicionados 2,5mL de água destilada (branco); na segunda, foram adicionados 2,5mL da amostra sem o tratamento com coagulante; na terceira, foram adicionados 2,5mL da amostra 1, com pH 6; na quarta cubeta, foram adicionados 2,5mL da amostra com pH 7; e na quinta cubeta, foram adicionados 2,5mL da amostra com pH 8. Ambas as amostras foram colocadas no bloco digestor, por 2h a 105°C. Após o fim do tempo, ambas resfriaram em estante até a temperatura ambiente.

Foi utilizado o espectrofotômetro da marca Hanna, modelo HI83399, onde foi utilizado o método DQO gama alta. Após a seleção do método, foi inserida a cubeta do branco no aparelho, e o instrumento foi zerado. Por conseguinte, foi lido a DQO da amostra sem o tratamento com coagulante, seguido pelas amostras 1, 2 e 3, respectivamente. Os resultados foram apresentados pelo aparelho em mg/L de O<sub>2</sub>.

#### 4.3 ELABORAÇÃO DE UM SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO PARA HOMOGENEIZAÇÃO DO Al<sub>2</sub>(SO<sub>4</sub>)<sub>3</sub> NO DECANTADOR

Como a ETE foi projetada para o tratamento dos efluentes utilizando apenas lodos ativados, não havia estrutura para utilização do sulfato de alumínio. Então foi pensado em um sistema de recirculação que, após todo o lodo ser removido do efluente, consiste em puxar o efluente no fundo do decantador e jogá-lo por cima dele mesmo, fazendo a homogeneização do sulfato de alumínio com o hidróxido de sódio por recirculação.

A tubulação que puxa o efluente do fundo do decantador já existia, pois é usada para remoção do lodo decantado, que é puxado por bomba e enviado para o tanque biológico ou, em casos de descarte de lodo, enviados para os leitos de secagem. Foi adaptada apenas uma tubulação após a bomba que puxa o lodo, onde a finalidade dessa tubulação é jogar o efluente por cima dele mesmo, para fazer a homogeneização por recirculação. A Figura 18 mostra a tubulação que foi adaptada.

**Figura 19** – Tubulação para homogeneização



**Fonte:** Autor (2024).

Na ponta da tubulação foi adaptado um cone, conhecido como chapéu chinês, para aumentar o alcance da queda do efluente no momento da recirculação e está centralizado no meio do tanque. A tubulação utilizada para homogeneização é em inox, seguindo o padrão da ETE.

#### 4.4 APLICAÇÃO DO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ E DO HIDRÓXIDO DE SÓDIO PARA TRATAMENTO DO EFLUENTE

Após os testes em laboratório para saber a concentração ideal de sulfato de alumínio e montar o sistema de recirculação para homogeneização do coagulante e do hidróxido de sódio, foram iniciados os testes no tanque decantador.

No primeiro momento, foi enchido o tanque decantador com o efluente tratado no biológico e, após encher e esperar o tempo de decantação, todo o lodo foi recirculado de volta para o biológico. Por conseguinte, foi recirculado um pouco de efluente também, deixando o volume no decantador de aproximadamente  $25\text{m}^3$  de efluente para ser tratado com sulfato de alumínio. Foi coletada uma amostra para ser analisada e comparada por meio da DBO com a amostra no fim do processo.

Em um balde de 20L foi diluído sulfato de alumínio em água, seguindo a diluição correta encontrada em laboratório e multiplicando pelo volume de efluente a ser tratado, que nesse caso foi de  $25\text{m}^3$ . O sistema de recirculação foi ligado e a solução coagulante foi sendo adicionada aos poucos, balde a balde, evitando uma carga de choque muito alta.

Após a dosagem correta do coagulante, foi corrigido o pH para o ideal encontrado em laboratório. Após 1h de homogeneização, o sistema de recirculação foi desligado para decantação, em 10 minutos, do lodo coagulado. Após esse tempo de decantação, o lodo decantado foi enviado para os leitos de secagem e seu volume foi calculado utilizando o tempo de descarte e a vazão da bomba que é de 20m<sup>3</sup>/h.

Foi coletada uma amostra do efluente tratado por coagulação para ser analisada e relacionada com a amostra coletada antes do tratamento por coagulação, sendo realizada a análise de DBO.

#### **4.4.1 Análise de DBO<sub>5</sub> da amostra**

O ensaio de DBO foi realizado apenas nas amostras coletadas antes e depois da coagulação no tanque decantador. Ou seja, não foi realizada análises de DBO das amostras dos 5 testes em laboratório, visto que a análise tem um tempo de cerca de 5 dias e a análise de DQO já nos fornece um resultado rápido e prático.

O ensaio de DBO das amostras seguiu como metodologia os procedimentos, de forma adaptada, do *Standard Methods*, edição de número 23, procedimento 5210 B. *5-Day BOD Test*.

Foi adicionado em um frasco de DBO 0,5mL da amostra coletada antes do tratamento por coagulação e, em outro frasco, 0,5mL da amostra após o tratamento e ambos os frascos tiveram seus volumes completados com água de diluição. Um terceiro frasco foi enchido apenas com água de diluição para conferir se haveria consumo de oxigênio. Por conseguinte, foi utilizado um oxímetro para a leitura do oxigênio dissolvido inicial das três amostras, a fim de se comparar com o oxigênio dissolvido final, após 5 dias de incubação, em uma incubadora da marca alfakit, a 20°C (figura 19).

**Figura 20** - Incubação para análise de DBO

**Fonte:** Autor (2024).

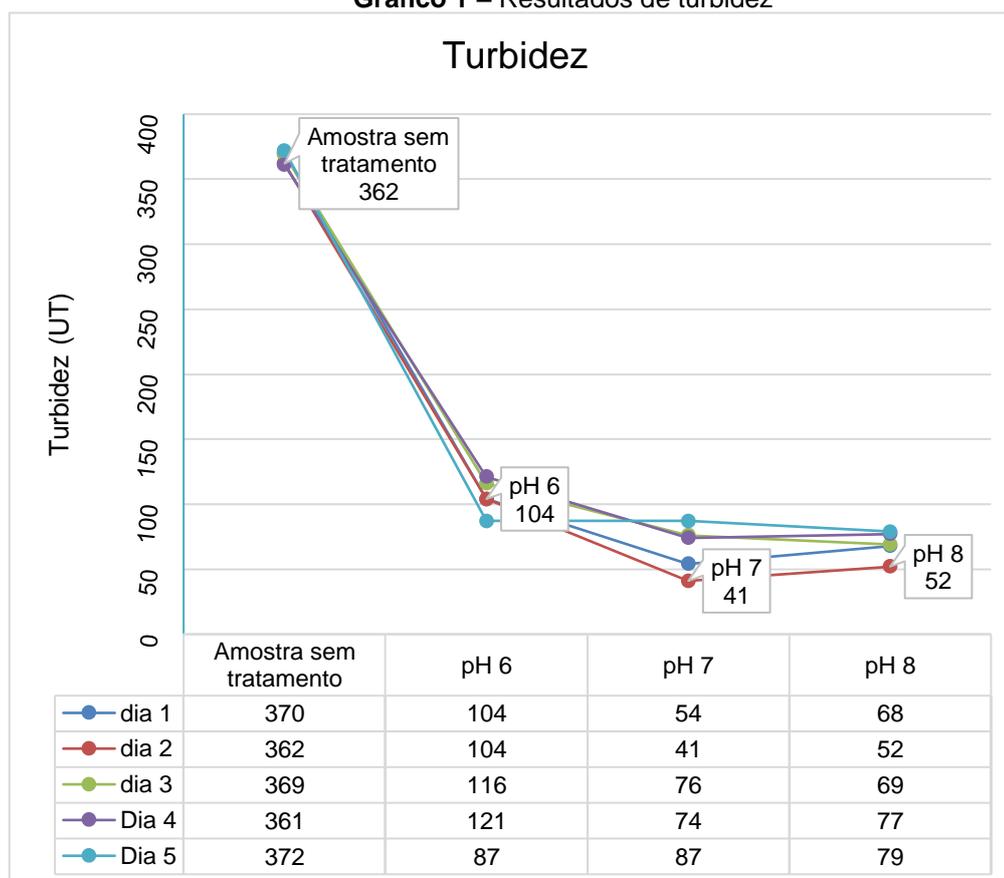
A água de diluição das amostras foi preparada utilizando 1mL/L das seguintes soluções: cloreto de cálcio ( $\text{CaCl}_2$ ) 27,5g/L, cloreto férrico hexahidratado ( $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ ) 0,25g/L, sulfato de magnésio ( $\text{MgSO}_4$ ) 22,5g/L, tampão de fosfato de pH 7,2. A água de diluição foi preparada um dia antes da incubação das amostras. Após os 5 dias de incubação, foi novamente lido o oxigênio dissolvido das amostras utilizando o oxímetro.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 CONCENTRAÇÃO UTILIZADA DO SULFATO DE ALUMÍNIO PARA COAGULAÇÃO

Após os cinco dias de testes os melhores resultados de turbidez e DQO foram obtidos nas amostras do teste 2, utilizando 10mL de uma solução 20g/L de sulfato de alumínio para 1L litro de efluente, com o pH corrigido para 7. O gráfico 1 mostra os resultados de turbidez obtidos nos cinco testes, relacionando com o pH.

Gráfico 1 – Resultados de turbidez

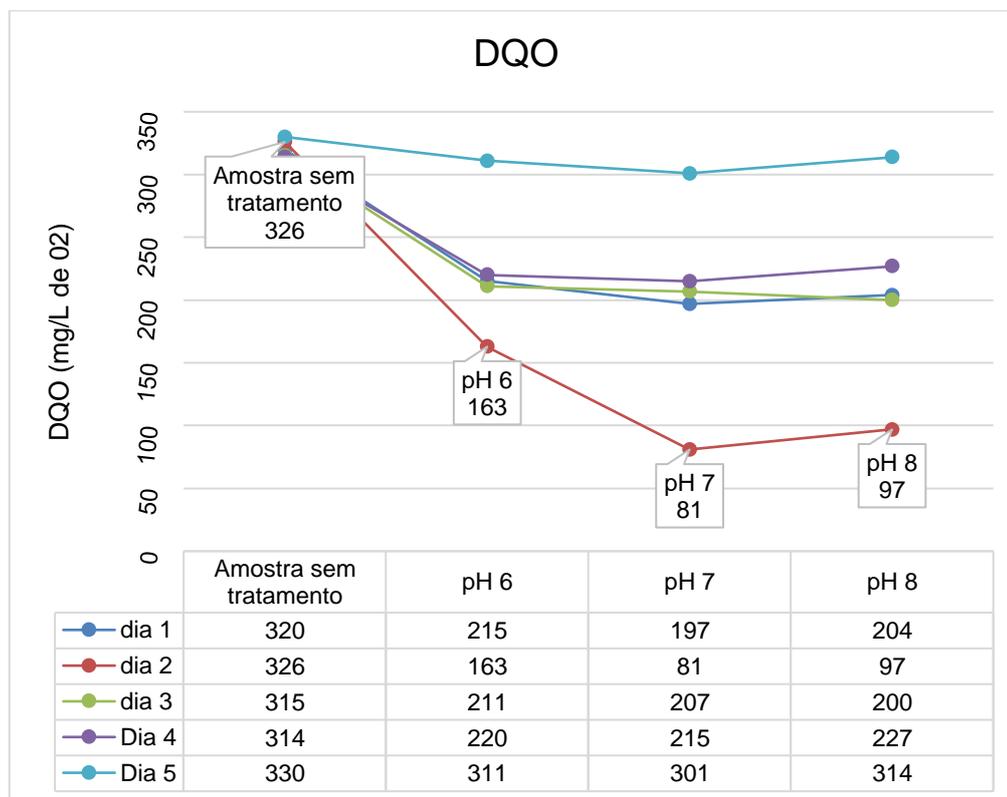


Fonte: Autor (2024).

Os valores de turbidez, como mostrados no gráfico acima, mostram como o pH interfere diretamente na eficácia da coagulação, onde, em pH próximo de 7, todo o alumínio é precipitado em forma de hidróxido insolúvel. A precipitação desse hidróxido de alumínio faz com que as partículas de lodo suspensas, que em geral têm carga negativa e causam um aumento na turbidez, DBO e DQO, se juntem a ele formando um coágulo com peso suficiente para ser decantado por gravidade.

Também foram obtidos os melhores resultados de DQO no teste 2, visto que houve uma melhor coagulação do lodo remanescente no efluente tratado por lodos ativados. Com uma maior decantação do lodo remanescente, sobra pouca matéria orgânica em suspensão na amostra, o que reduz os valores de DQO. O gráfico 2 mostra os resultados de DQO para os cinco testes.

Gráfico 2 – Resultados de DQO



Fonte: Autor (2024).

Por meio desses resultados obtidos, foi utilizado 10mL de uma solução 20g/L de sulfato de alumínio para cada litro de efluente a ser tratado no tanque decantador.

## 5.2 SISTEMA DE RECIRCULAÇÃO (HOMOGENEIZAÇÃO)

O sistema de recirculação trouxe uma maior facilidade para a homogeneização do sulfato de alumínio e do hidróxido de sódio cáustica para a correção do pH. Como o sistema puxa o efluente do fundo do decantador e joga por cima dele mesmo, propõe uma maior homogeneização de toda a massa líquida (figura 20).

**Figura 21 – Sistema de homogeneização**

**Fonte:** autor (2024).

O chapéu chinês instalado na ponta da tubulação joga o efluente para as bordas do tanque, fazendo com que o produto alcance toda a superfície do efluente. Além de facilitar na homogeneização dos reagentes, o sistema de recirculação facilita também em operações básicas na ETE como transferência de efluente de um tanque decantador para o outro, se necessário. Caso o efluente precise ficar parado no decantador por alguns dias, o sistema de recirculação também pode ser ligado para movimentar a massa líquida.

### 5.3 APLICAÇÃO DO $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ E CORREÇÃO DO PH

Se para cada litro de efluente foi utilizado 10mL de uma solução 20g/L de  $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ , logo, para os 25m<sup>3</sup> de efluente que haviam no decantador, foram utilizados 250L da solução. A solução foi adicionada ao efluente em baldes de 20L, totalizando 12,5 baldes e o pH do efluente baixou para aproximadamente 4.

Após a adição do coagulante, o pH foi corrigido com 2 baldes de 20L de hidróxido de sódio a 20%. Nos testes em laboratório, foi utilizado hidróxido de sódio 1% para a correção do pH para 7, mas em campo foi mais efetivo a utilização do hidróxido de sódio em uma concentração maior.

Depois correção do pH, houve homogeneização de toda a massa líquida por 1h e, por conseguinte, desligamento do sistema para decantação do lodo coagulado em 10 minutos.

Após o tempo de 10 minutos de decantação do lodo coagulado, o mesmo foi descartado, sobrando só o efluente tratado que seguiu para descarte. Utilizando a vazão da bomba que é de  $20\text{m}^3/\text{h}$  e o tempo de descarte do lodo que foi de 8 minutos, temos o volume de lodo decantado em 10 minutos que é de aproximadamente  $2,66\text{m}^3$ .

Em seguida ao descarte do lodo, o efluente tratado foi descartado. A Figura 21 mostra o efluente clarificado com o lodo já decantado por coagulação (a) e o mesmo efluente sendo descartado, passando pelo filtro de areia (b).

**Figura 22** – Efluente tratado (a) efluente sendo descartado para o filtro de areia (b)



**Fonte:** Autor (2024).

#### 5.4 ANÁLISE DE $\text{DBO}_5$ DO EFLUENTE TRATADO

Os resultados de  $\text{DBO}_5$  expressam a quantidade de oxigênio dissolvido (OD), em  $\text{mg/L}$ , consumido pelas bactérias para decompor a matéria orgânica em um período de 5 dias, a  $20^\circ\text{C}$ . O quadro 4 mostra os valores de OD inicial e final das amostras e do branco onde, para saber o valor do consumo de oxigênio dissolvido, basta subtrair o OD inicial do final.

**Quadro 4 – valores de oxigênio dissolvido**

	<b>Branco</b>	<b>Amostra antes do tratamento</b>	<b>Amostra após o tratamento</b>
<b>Volume do frasco (mL)</b>	287	295,5	306
<b>OD inicial (mg/L)</b>	7,6	7,5	7,6
<b>OD final (mg/L)</b>	7,5	6,9	7,3

**Fonte:** Autor (2024).

Os resultados de OD inicial e final do frasco que continha apenas a água de diluição (branco) estão muito próximos, sendo a diferença de 0,1mg/L, o que nos mostra uma boa água de diluição para as amostras. O frasco que continha a amostra antes do tratamento por coagulação teve um consumo de 0,6mg/L de OD e no frasco com a amostra tratada por coagulação, houve um consumo de 0,5mg/L, ou seja, um menor consumo de oxigênio para degradar a matéria orgânica da amostra.

Para o cálculo da DBO de cada amostra, o valor do consumo de OD foi multiplicado pelo volume do frasco e dividido pelo volume de amostra, que foi de 0,5mL. Logo, a DBO da amostra antes do processo de coagulação foi de 354,6mg/L e a DBO da amostra tratada por coagulação foi de 183,6mg/L, uma redução do consumo de OD por volta de 51,7%. Isso reflete um bom resultado por meio da utilização do coagulante sulfato de alumínio e também um bom resultado na homogeneização do produto.

## 6 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O início dos testes em laboratório para saber a concentração correta de coagulante foi um pouco complexo devido a grande quantidade de possibilidades de se fazer o experimento, como concentração do coagulante, volume do coagulante, tempo de homogeneização, concentração do hidróxido de sódio para correção do pH, entre outros fatores. Dessa forma, foi estabelecido um volume padrão de coagulante, que foi de 10mL, aumentando apenas sua concentração ao longo dos dias.

A utilização do sulfato de alumínio para a remoção de turbidez, DBO e DQO se mostrou eficaz, visto que os valores para esses parâmetros baixaram consideravelmente, comparando a amostra tratada com coagulante e a não tratada com coagulante.

Notou-se também que não houve a necessidade de adição de floculante após o processo de coagulação, pois o lodo coagulado decantou bem em um tempo de 10 minutos, apresentando um volume de 2,66m<sup>3</sup>. Isso é bastante importante pois é uma decantação bastante rápida e não consome muito tempo de operação.

Inicialmente tentou-se corrigir o pH após a adição do sulfato de alumínio com hidróxido de sódio 1%, porém iria demorar bastante para corrigir, então foi utilizada uma concentração de 20% para elevar o pH do efluente até aproximadamente 7.

Foi optado por realizar a análise de DBO apenas no efluente do teste em campo – antes e depois da coagulação no decantador -, visto que a análise tem duração de 5 dias e iria atrasar os procedimentos. Então foi realizada apenas a análise de DQO e turbidez em laboratório, durante os cinco dias de teste, visto que a DQO já nos fornece um valor aproximado da DBO e é uma análise mais simples e rápida de se fazer.

A análise em bancada foi bem mais simples de ser realizada, pois foi usado apenas 1L de efluente para cada béquer, em cada teste. Já a análise em campo foi bem mais complexa, visto que foram tratados cerca de 25m<sup>3</sup> de efluente no processo de tratamento por coagulação.

O sistema de recirculação no decantador foi uma ideia bastante importante para todo o processo, bem como para os procedimentos corriqueiros da ETE. Todas as estações de tratamento podem adaptar esse sistema para facilitar os

procedimentos em campo. Caso a estação esteja enfrentando problemas com a correção pH, pode-se enviar o efluente para o tanque decantador (que possui, em geral, um volume menor que o tanque biológico) e fazer a correção do pH no próprio decantador, adicionando hidróxido de sódio – ou ácido, se necessário - e fazendo a homogeneização no próprio tanque com o sistema de recirculação.

## REFERÊNCIAS

- AFONSO, J. C.; LIMA, A. C. A Química do Refrigerante. **Química Nova na Escola**, v. 31, p. 2010-2015, 2009.
- ALVARADO, Juan José; AGUILAR, José Francisco. Batimetría, salinidad, temperatura y oxígeno disuelto en aguas del Parque Nacional Marino Ballena, Pacífico, Costa Rica. **Revista de Biología Tropical**, v. 57, p. 19-29, 2009.
- AQUINO, Sérgio F. de; SILVA, Silvana de Queiroz; CHERNICHARO, Carlos AL. Considerações práticas sobre o teste de demanda química de oxigênio (DQO) aplicado a análise de efluentes anaeróbios. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 11, p. 295-304, 2006.
- AUSLAND, G. *et al.* Intermittent filtration of wastewater--removal of fecal coliforms and fecal streptococci. **Water research**, [s. l.], v. 36, n. 14, p. 3507–3516, 2002. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/12230196/>. Acesso em: 20 set. 2024.
- BOUHLEL, Z.; SMAKHTIN, V. Como a indústria da água engarrafada agrava a falta de água para todos. **Fastcompany Brasil**. São Paulo. 2023. Disponível em: <<https://fastcompanybrasil.com/impacto/como-a-industria-da-agua-engarrafada-agrava-a-falta-de-agua-para-todos/>> Acesso em 8 de maio em 2024.
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União. Republica Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011
- BRASIL. Resolução CONAMA Nº 430 de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. **Diário Oficial da União. Republica Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 16 mai. 2011
- CATUNDA, Sebastian Yuri Cavalcanti et al. **Sistema para verificação da qualidade de afluentes de sistemas de tratamento de águas residuárias**. 1996. 80f. Dissertação (mestrado em engenharia elétrica). Universidade Federal da Paraíba – Campina Grande.
- CELESTINO, Sonia Maria Costa. 2010. Produção de Refrigerantes de Frutas. **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**. Distrito Federal: Embrapa Cerrados, 2010. p. 29. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/77769/1/doc-279.pdf>.> Acesso em 10 de maio de 2024.
- CONSENTINO, R. O. Sistemas de Limpeza WIP (Washing in Place) e CIP (Clean-inplace) Instalações Sanitárias para fabricação de líquidos e semi-sólidos – Primeira parte. **Artigos Técnicos: Giltec**. São Paulo: Giltec, 2006.

CORAL, L. A.; BERGAMASCO, Rb; BASSETTI, F. J. Estudo da viabilidade de utilização do polímero natural (TANFLOC) em substituição ao sulfato de alumínio no tratamento de águas para consumo. **KEY ELEMENTS FOR A SUSTAINABLE WORLD: ENERGY, WATER AND CLIMATE CHANGE São Paulo–Brasil**, 2009.

CORREIA, Aislan et al. Análise da turbidez da água em diferentes estados de tratamento. **Encontro Regional de Matemática Aplicada e Computacional**, v. 8, p. 1-5, 2008. Natal/RN.

CORREIA, L. A. S. et al. Processo de extração de água mineral: uma comparação de três empresas alagoanas. **SEGet–Simpósio de Excelência em Gestão e Tecnologia**. 16p. s/d. Disponível em:< [http://www.aedb.br/seget/artigos07/1384\\_Artigo\\_Seget.pdf](http://www.aedb.br/seget/artigos07/1384_Artigo_Seget.pdf)> Acesso em, v. 6, 2013.

DIAS, D. L. Demanda Bioquímica de Oxigênio. **Brasil Escola**. Disponível em: <<https://brasilecola.uol.com.br/quimica/demanda-bioquimica-oxigenio.htm>>. Acesso em: 03 de fev. 2024.

FERREIRA, U. M. P.; RIVA, F. R.; YAMANAKA, C. T. Certificação de Qualidade na Indústria de Água Mineral: Percepção do Consumidor de Porto Velho. **Amazônia, Organizações e Sustentabilidade (AOS)**. v. 12, n. 1, p. 158-173, 2023.

FREIRE, Renato Sanches et al. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química nova**, v. 23, p. 504-511, 2000.

GERARDI, Michael H. Wastewater Bacteria. **Wastewater Bacteria**, [s. l.], p. 1–255, 2006. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/0471979910>. Acesso em: 20 ago. 2024.

Giordano, G. **Tratamento e controle de efluentes industriais**, Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, Universidade Estadual do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro, RJ.

HASSEMER, MARIA ELIZA NAGEL; SENS, MAURÍCIO LUIZ. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico com ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia sanitária e ambiental**, v. 7, n. 1, p. 30-36, 2002.

JUNIOR, Miguel Jafelicci; VARANDA, Laudemir Carlos. O mundo dos colóides. **Química nova na escola**, v. 9, p. 9-13, 1999.

MENDA, M. Refrigerantes. Rio de Janeiro: **Conselho Regional de Química 4ª Região**, 2011. Disponível em:<<https://crq4.org.br/default.php?p=texto.php&c=refrigerantes>>. Acesso em: 12 de fev. 2024.

MESQUITA, Marcio et al. **Desenvolvimento tecnológico de um filtro de areia para irrigação localizada**. 2014. 138P. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas.

MORAES, Valmir de. **Avaliação do desempenho de dois reatores anaeróbios horizontais de leitos fixos (RAHLF), um contendo biomassa auto-imobilizada e outro contendo suporte de espuma de poliuretano, no tratamento de água residual de indústria de refrigerante**. 2002. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo.

MOREIRA, José Márcio Quintão. **Desenvolvimento de modelo para reconhecimento e classificação por imagem de tipos de flocos formadores do lodo biológico utilizando rede neural convolucional-CNN**. 2024. 34 f. Monografia (Ciência de Dados do Instituto de Ciências Exatas e Aplicadas) - Universidade Federal de Ouro Preto, Minas Gerais.

NUNES, Antônio José Ribeiro. Mineração de água mineral: qualidade para o consumo humano e promoção de saúde. **Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação**, v. 8, n. 1, p. 518-536, 2022.

NUNES, G.F.M. Tratamento primário de efluentes, CEFET-MG, 2015. Disponível em: <[http://www.tecquimica.cefetmg.br/galerias/arquivos\\_download/Tratamento\\_Primary\\_de\\_Efluentes\\_-\\_Gisele\\_-\\_Cefet\\_2015.pdf](http://www.tecquimica.cefetmg.br/galerias/arquivos_download/Tratamento_Primary_de_Efluentes_-_Gisele_-_Cefet_2015.pdf)> Acesso em outubro de 2017.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulantes na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo.

PERALTA-ZAMORA, Patricio et al. Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose: tratamento biológico e fotocatalítico. **Química Nova**, v. 20, p. 186-190, 1997.

PEREIRA, Gabrielle Alberta; OLIVEIRA, Gustavo Henrique; PINTO, André Luiz. Avaliação da eficiência da utilização do oxigênio dissolvido como principal indicador da qualidade das águas superficiais da bacia do córrego Bom Jardim, Brasilândia/MS. **Revista Geomae**, v. 1, n. 1, p. 69-82, 2010.

PEREIRA, L. S. F. P.; SENNA, A. J. T.; KUNZ, A. Análise do desempenho de um sistema de aeração por difusor poroso de bolha fina instalado no reator biológico aeróbio (RBA) da estação de tratamento de dejetos suínos (ETDS) da EMBRAPA. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE GESTÃO AMBIENTAL**, 1., 2010, Bauru. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/879541/1/PEREIRAANALISE.pdf>> Acesso em 11 de agosto de 2024.

RCHELA, E.; CARRARO, A.; FERNANDES, F.; BARROS, O. N. F.; ARCHELA, R. S. Considerações sobre a geração de efluentes líquidos em centros urbanos. **GEOGRAFIA (Londrina)**, [S. l.], v. 12, n. 1, p. 517–526, 2010. DOI: 10.5433/2447-1747.2003v12n1p517. Disponível em: <https://ojs.uel.br/revistas/uel/index.php/geografia/article/view/6711>. Acesso em: 31 jan. 2024.

RIBEIRO, José Tarcísio; KOWATA, Emília Akemi. Tratamento de água por filtração direta ascendente para fins de reuso. **Campinas: Editora da Unicamp**, 1998.

RIBEIRO, Marcelo Pinheiro; BOTARI, Alexandre. Eficiência da remoção de DQO, surfactantes e de óleos e graxas totais na estação de tratamento de esgoto vila city na cidade de Paranavaí–Paraná. **Brazilian Journal of Health Review**, v. 5, n. 1, p. 3874-3884, 2022.

SILVA, E. S.; LISBOA, Fabiana Donato; WERLANG, Lovania Maria. Caracterização e acompanhamento da qualidade do efluente em indústrias de bebidas: um estudo de caso. **20º Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Anais... Porto Alegre–**

RS, 2013. Disponível em: < <https://anais.abrhidro.org.br/job.php?Job=1260>> Acesso em 01 jun 2024.

SIQUEIRA, Jordana Herzog *et al.* Consumo de bebidas alcoólicas e não alcoólicas: Resultados do ELSA-Brasil. **Ciência & Saúde Coletiva**, [s. l.], v. 26, p. 3825–3837, 2021. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/csc/a/TFjfxQMn6Qx4Cdtfs-gRh3vv/?lang=pt>. Acesso em: 20 set. 2024

SOUZA, J. A. R et al. Monitoramento do TDH e sólidos grosseiros da ETE da UFS. **XII Encontro de Recursos Hídricos em Sergipe**, Aracaju-SE, 2019. Disponível em: <(abrhidro.org.br)> Acesso em 04 de julho de 2024.

TONON, Daniele. **Desinfecção de efluentes sanitários por cloração visando o uso na agricultura**. 2007. 284f. Dissertação (mestrado em engenharia civil). Universidade Estadual de Campinas – Campinas/SP. Disponível em: [https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30\\_43efbe616b984cce14d62553cde1aa77](https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/UNICAMP-30_43efbe616b984cce14d62553cde1aa77). Acesso em 01 de setembro de 2024.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, v. 35, p. 45-54, 2010.

VIANA, Fernando Luiz E. Indústria de bebidas alcoólicas. **Caderno Setorial ETENE**. Fortaleza: Banco do Nordeste do Brasil, ano 2, n.2, fev.2017. (Série Caderno Setorial Etene,n.02).

VON SPERLING, Marcos. **Lodos ativados**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 1997.

ZANINI, Roberta de Vargas et al. Consumo diário de refrigerantes, doces e frituras em adolescentes do Nordeste brasileiro. **Ciencia & saude coletiva**, v. 18, p. 3739-3750, 2013.