



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO  
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA QUÍMICA

MARIANA DO EGITO ROSÁRIO

**Estudo teórico do tratamento de efluentes de indústria de bebidas visando  
reuso da água no sistema de utilidades**

Recife/PE

2023

MARIANA DO EGITO ROSÁRIO

**Estudo teórico do tratamento de efluentes de indústria de bebidas visando  
reuso de água no sistema de utilidades**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Curso de Engenharia  
Química da Universidade Federal de  
Pernambuco, como requisito parcial para  
obtenção do grau de bacharel em  
Engenharia Química.

Orientadora: Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha

Recife/PE

2023

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

Rosário, Mariana do Egito.

Estudo teórico do tratamento de efluentes de indústria de bebidas visando reuso da água no sistema de utilidades / Mariana do Egito Rosário. - Recife, 2023.

71 p.

Orientador(a): Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal de Pernambuco, Centro de Tecnologia e Geociências, Engenharia Química - Bacharelado, 2023.

1. Efluentes. 2. Filtração direta. 3. Indústria de refrigerantes. 4. Oxidação com cloro. 5. Reuso. I. Palha, Maria de Los Angeles Perez Fernandez. (Orientação).

II. Título.

540 CDD (22.ed.)

MARIANA DO EGITO ROSÁRIO

**Estudo teórico do tratamento de efluentes de indústria de bebidas visando  
reuso de água no sistema de utilidades**

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

Aprovado em: 24/04/2023

**BANCA EXAMINADORA**

---

Profa. Dra. Maria de Los Angeles Perez Fernandez Palha (Orientadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dr. Antônio Carlos Duarte Coelho (1º Examinador)  
Universidade Federal de Pernambuco

---

Prof. Dra. Sônia Melo C. de Albuquerque (2ª Examinadora)  
Universidade Federal de Pernambuco

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente à Deus e Nossa Senhora, por se fazerem presentes na minha vida e iluminarem meu caminho nesta árdua trajetória.

À minha mãe, por embutir em mim desde pequena a importância dos estudos; por ser meu alicerce durante toda a minha vida e principalmente durante a graduação me impulsionando e não me deixando desistir.

Aos meus irmãos Rafael e Augusto, por todo amor que me deram ao longo do curso; e por se orgulharem tanto de mim, o que me impulsiona a ser sempre melhor.

À Bruno, por todo amor, incentivo e paciência que teve comigo; por estar comigo em cada passo dado, lutando e celebrando ao meu lado.

Aos meus amigos de curso, que dividiram comigo esta árdua trajetória. Obrigada por cada momento.

Agradeço especialmente à professora Maria de Los Angeles, que com toda a paciência e carinho me ajudou nos percalços do curso e me proporcionou a oportunidade de estudar sobre este tema e realizar minha tese de conclusão de curso.

Expresso também meus agradecimentos à Universidade Federal de Pernambuco – UFPE que me proporcionou diversas experiências na área da pesquisa e a oportunidade de obter conhecimentos para me tornar uma profissional no ramo da engenharia química.

## RESUMO

A crescente demanda de água e futura escassez deste recurso vem preocupando os setores industriais. O tratamento do efluente gerado e posterior reuso dentro das próprias indústrias vem se tornando uma prática cada vez mais procurada por estes setores. Este presente trabalho de estudo teórico foi realizado com o objetivo de avaliar quais as tecnologias trazem maior eficiência no tratamento de efluentes de uma indústria de bebidas, visando o posterior reuso desta água dentro do processo de utilidades da indústria. Para isso, avaliou-se o resultado de dois estudos realizados em indústrias de refrigerantes, onde o tratamento terciário diferiu, sendo realizado estudos para utilização da filtração direta com utilização de filtros bag e filtro areia, coagulação e floculação, oxidação com cloro e tratamento com resina de troca iônica. Os parâmetros utilizados para avaliação dos tratamentos estudados foram: alcalinidade ao bicarbonato, cálcio, cloretos, DBO, DQO, dureza, ferro, magnésio, manganês, SDT, SST, turbidez e cobre. Os resultados obtidos demonstram uma maior eficiência na filtração direta com uso do filtro areia, sendo ele o mais indicado para remoção dos parâmetros que tornam a água de reuso imprópria para uso. O processo de coagulação e floculação apresentou melhores resultados com a utilização do policloreto de alumínio (PAC) e sulfeto de alumínio. Na etapa final do tratamento, foi visto que a oxidação com cloro apresentou maior eficiência, se comparada a troca iônica via resina. Porém, os potenciais de formação de subprodutos devem ser avaliados para que não haja um efeito reverso de contaminação no sistema da unidade e no corpo receptor.

**Palavras-chave:** efluentes; filtração direta; indústria de refrigerantes; oxidação com cloro; reuso.

## ABSTRACT

The growing demand for water and future scarcity of this resource has been worrying the industrial sectors. The treatment of generated effluent and subsequent reuse within the industries themselves has become a practice that is increasingly sought after by these sectors. This present work of theoretical study was carried out with the objective of evaluating which technologies bring greater efficiency in the treatment of effluents from a beverage industry, aiming at the subsequent reuse of this water within the industry's utilities process. For this, the result of two studies carried out in soft drink industries, where the tertiary treatment differed, is evaluated, with studies being carried out for the use of direct filtration with the use of bag filters and sand filter, coagulation and flocculation, protection with chlorine and treatment with ion exchange resin. The parameters used to evaluate the considered treatments were: alkalinity to bicarbonate, calcium, chlorine, BOD, COD, hardness, iron, magnesium, manganese, TDS, TSS, turbidity and copper. The results showed greater efficiency in direct filtration using a sand filter, which is the most suitable for removing parameters that make reuse water unfit for use. The coagulation and flocculation process showed better results with the use of polyaluminum chloride (PAC) and aluminum sulfide. In the final stage of the treatment, it was seen that the one presented with chlorine was more efficient, revealing the ion exchange via resin. However, the potential for formation of by-products must be evaluated so that there is no reverse effect of contamination in the unit system and in the receiving body.

**Keywords:** effluents; direct filtration; soft drinks industry; oxidation with chlorine; reuse.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição espacial das vazões específicas.....	19
Figura 2	Montagem do sistema de coluna de troca iônica em bancada.....	33
Figura 3	Resina Purolite Aniônica PFA-3-00 (A) e Resina Purolite Catiônica SST-60H (B).....	33
Figura 4	Modelo de demonstração da formação do cloro combinado (cloraminas), oxidação, formação do cloro residual e <i>break point</i> .....	35
Figura 5	Sistema de Coagulação/Floculação/Filtros Bag/Resinas.....	38
Figura 6	Influência do pH na coagulação/floculação do Efluente da ETE .....	42
Figura 7	Influência do pH na coagulação/floculação na faixa entre $6,0 \leq \text{pH} \leq 7,0$ .....	43
Figura 8	Influência da dosagem de PAC na coagulação/floculação .....	44
Figura 9	Comparação visual do efluente tratado antes (1) e após (2) coagulação/floculação.....	46
Figura 10	Filtro bag para remoção de cargas grosseiras do efluente tratado .....	47
Figura 11	Comparação entre as etapas de tratamento do efluente da indústria estudada .....	50
Figura 12	Resultados do ensaio de demanda de cloro na água de estudo.....	53
Figura 13	Cromatografia para o tempo de 30 minutos.....	55
Figura 14	Cromatografia para o tempo de 7 dias.....	55
Figura 15	Resultados turbidez remanescente em função do tempo, para diversos gradientes de mistura rápida .....	58
Figura 16	Resultados cor aparente em função do tempo, para diversos gradientes de mistura rápida.....	58
Figura 18	Resultados ensaio de demanda de cloro da água tratada por filtração direta .....	59
Figura 19	Cromatografia para o tempo de 30 min.....	61
Figura 20	Cromatografia para o tempo de 24 horas .....	61
Figura 21	Comparação tecnologias de tratamento de efluentes realizados por Silva Filho (2009) e Alves (2012) .....	63

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Produção, consumo e indicadores hídricos da indústria de bebida no Brasil .....	21
Tabela 2	Características físicas e dimensões dos filtros bags de 5 e 25 µm .....	30
Tabela 3	Características físicas e dimensões do filtro areia .....	30
Tabela 4	Características físico-químicas das resinas utilizadas no estudo do tratamento do efluente .....	34
Tabela 5	Caracterização do efluente final da ETE .....	39
Tabela 6	Comparação dos valores dos parâmetros avaliados antes e após a filtração em filtros <i>bag</i> e de areia.....	40
Tabela 7	Valores dos parâmetros monitorados no processo de coagulação/floculação. $5,0 \leq \text{pH} \leq 10,0$ – (conc. PAC 2268 mg/L) .....	41
Tabela 8	Valores dos parâmetros monitorados no processo de coagulação/floculação. $6,0 \leq \text{pH} \leq 7,0$ .....	42
Tabela 9	Valores de remoção dos parâmetros de acordo com a variação na dosagem de agente coagulante.....	44
Tabela 10	Caracterização do efluente após coagulação/floculação em pH = 6,0 e 12 mL de solução de PAC /L de efluente tratado.....	45
Tabela 11	Comparação do efluente após filtragem com filtros bag e filtro de areia .....	47
Tabela 12	Parâmetros de caracterização do efluente tratado coagulação/floculação/filtração em filtro de areia/resina de troca iônica.....	48
Tabela 13	Comparação dos parâmetros de caracterização do efluente tratado com valores antes do tratamento sequencial realizado no estudo e após.....	49
Tabela 14	Resultados do monitoramento do afluente da ETE .....	51
Tabela 15	Resultados do monitoramento do efluente da ETE .....	52
Tabela 16	Dosagens em excesso de cloro para determinação do residual livre entre 3,0 e 5,0 .....	54
Tabela 17	Resultados potencial de formação.....	56
Tabela 18	Caracterização físico-química da água tratada por filtração direta e de água tratada por filtração direta pós-oxidada com cloro .....	60
Tabela 19	Resultados Potencial de Formação (24 horas) .....	62

Tabela 20	Comparação valores encontrados nos principais parâmetros de caracterização da água para reuso.....	64
Tabela 21	Resultados da remoção após tratamento do efluente com coagulação/floculação, filtração direta e resina de troca iônica .....	65
Tabela 22	Resultados da remoção após tratamento do efluente com coagulação/floculação, filtração e oxidação com cloro realizado por Alves .....	65

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional das Águas
CNRH	Conselho Nacional de Recursos Hídricos
CONAMA	Conselho Nacional de Meio Ambiente
COT	Carbono Orgânico Total
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
DVB	Divinilbenzeno
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
FLA	Filtros de Laboratório de Areia
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i> (Unidade Nefelométrica de Turbidez)
OMS	Organização Mundial de Saúde
PAC	Policloreto de Alumínio
PET	Polietileno Tereftalato
pH	Potencial Hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
PROBEB	Associação Portuguesa de Bebidas Refrescantes Não Alcoólicas
PVC	Policloreto de Vinilo
SS	Sólidos Sedimentáveis
SST	Sólidos Suspensos Totais

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>14</b>
1.1 OBJETIVO GERAL.....	16
<b>1.1.1 Objetivos específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>2. REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>17</b>
2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA.....	17
2.2 ÁGUA NAS INDÚSTRIAS.....	19
2.3 INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES.....	22
<b>2.3.1 Processo Produtivo.....</b>	<b>22</b>
<b>2.3.1.1 Dissolução de Açúcar.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1.2 Tratamento do açúcar cristal.....</b>	<b>23</b>
<b>2.3.1.3 Preparo do xarope composto.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1.4 Dissolução e Carbonatação.....</b>	<b>24</b>
<b>2.3.1.5 Envase.....</b>	<b>24</b>
2.3.2 Uso de água e geração de efluentes na indústria de refrigerantes.....	25
2.4 O REUSO DE ÁGUA.....	27
2.4.1 Aspectos gerais do reuso de água.....	27
2.4.2 Tecnologias de Tratamento para Reuso .....	29
<b>2.4.2.1 Filtração.....</b>	<b>29</b>
<b>2.4.2.1 Coagulação e Floculação.....</b>	<b>31</b>
<b>2.4.2.1 Resinas de Troca Iônica.....</b>	<b>32</b>
<b>2.4.2.1 Processos Oxidativos.....</b>	<b>34</b>
<b>3. MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>37</b>
<b>4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>	<b>38</b>
4.1 TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES VISANDO O REUSO – UM ESTUDO DE CASO.....	38
<b>4.1.1 Caracterização do efluente da estação de tratamento.....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.2 Testes de Filtração.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.3 Coagulação/Floculação.....</b>	<b>40</b>
<b>4.1.3.1 Determinação do pH ótimo para coagulação/floculação.....</b>	<b>41</b>
<b>4.1.3.2 Dosagem do agente de coagulação (PAC).....</b>	<b>43</b>
<b>4.1.4 Resinas de Troca Iônica.....</b>	<b>48</b>

4.2 APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA PARA REUSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES.....	50
<b>4.2.1 Resultados do monitoramento do efluente gerado pela indústria.....</b>	<b>50</b>
<b>4.2.2 Resultados do ensaio de demanda de cloro.....</b>	<b>53</b>
<b>4.2.3 Resultados do potencial de formação de subprodutos .....</b>	<b>54</b>
<b>4.2.4 Ensaios de tratabilidade por filtração direta .....</b>	<b>56</b>
<b>4.2.4.1 Cloreto Férrico.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.4.2 Policloreto de Alumínio (PAC).....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.4.3 Sulfato de Alumínio.....</b>	<b>57</b>
<b>4.2.3 Resultados da otimização de mistura rápida com sulfato de alumínio.....</b>	<b>58</b>
4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS.....	62
<b>5. CONCLUSÃO.....</b>	<b>67</b>
<b>6. REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A água é utilizada na maioria das indústrias para uma ampla gama de aplicações. Atualmente processos e sistemas que usam este bem estão sendo submetidos a regulamentos ambientais cada vez mais rigorosos sobre o lançamento de efluentes e há uma demanda crescente de água doce. Essas mudanças aumentaram a necessidade do gerenciamento de água visando a minimização de águas residuais (HSINE; BENHAMMOU; PONS, 2010).

Mesmo que  $\frac{3}{4}$  da superfície da Terra seja coberto por água, 97,5% encontram-se nos mares e oceanos e não se prestam para a maioria das atividades agrícolas e dessedentação humana e animal, devido aos elevados teores de sais. A água doce, portanto, corresponde a apenas 2,5% do total disponível (BRITO; SILVA; PORTO, 2007).

Dentre todos os parâmetros estudados para garantir a qualidade da água de efluente, pode-se definir alguns para caracterização de corpos hídricos, águas residuárias ou para consumo, como cor, turbidez, temperatura, condutividade elétrica (físicos), pH, oxigênio dissolvido e matéria orgânica (químicos).

Para o abastecimento, o qual requer água da melhor qualidade, ou seja, água potável, e também para o lançamento em corpos hídricos, os parâmetros de qualidade da água são imprescindíveis. Nos casos de corpos d'água com usos múltiplos, a qualidade da água deve atender os diversos usos previstos. Dessa forma, existem legislações no Brasil que classificam as águas em classes de acordo com seus usos e ainda definem padrões de lançamento de maneira tal que, a adição de substâncias e impurezas não prejudique os legítimos usos que delas são feitos (BARBOSA, 2019).

O setor industrial é considerado o principal responsável pelo aumento da dificuldade na obtenção de água de qualidade para suprir as necessidades da sociedade, devido não só ao fato de o setor industrial usá-la em grandes quantidades, mas principalmente pelo volume e qualidade que são devolvidas ao meio ambiente (TORRES et al., 2018).

Dependendo do processo industrial, a água pode ser tanto matéria-prima, incorporada ao produto final, como em indústria de bebidas, como um composto auxiliar na preparação de matérias-primas, fluido de transporte, fluido de aquecimento

e/ou resfriamento e nos processos de limpeza de equipamentos e de setores da indústria, ou seja, como água de processo (MIRANDA, 2017).

Em busca de um consumo cada vez menor, aumentou-se a procura por tecnologias que tornassem o tratamento dos efluentes gerados por estas indústrias mais eficazes, tornando possível assim o reuso da água dentro do processo produtivo.

As indústrias de bebidas geram efluentes líquidos com elevada carga de matéria orgânica biodegradável, de modo que, quando lançados diretamente nos cursos de água, provocam sua poluição. Com isso grandes investimentos tiveram que ser feitos, transformando uma necessidade, que antes era classificada como um transtorno, em uma possibilidade de um retorno, perante a sociedade através do melhoramento da imagem da empresa (SILVA, 2018).

Nas indústrias de refrigerantes, é muito importante o processo de reuso da água. Essa reutilização pode ser decorrente de ações planejadas ou não. A água de reuso tratada é produzida dentro das estações de tratamento e pode ser utilizada para inúmeros fins, como geração de energia, refrigeração de equipamentos, em diversos processos industriais (ANDRES JUNIOR, 2015)

Segundo Barbosa (2019), a grande vantagem da utilização da água de reuso é a de preservar a água potável, reservando-a exclusivamente para o atendimento das necessidades que exijam a sua potabilidade para o abastecimento humano. Outra vantagem relevante do reuso é a eliminação de descarga de esgotos nas águas superficiais, já que há um tratamento na água e os produtos resultantes do processo são destinados a locais adequados, sem contar a economia financeira que tal prática representa as indústrias e domicílios que a praticam.

Porém, para que a água tratada dos efluentes atinja certo nível de qualidade para que seja considerada apta para uso são necessários tratamentos especializados. Desta forma, é de extrema importância que se realizem estudos mais profundos sobre os principais métodos de tratamento de água de efluentes industriais com a finalidade de reuso.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

É no contexto de busca por formas de redução do consumo de água que se propõe um estudo das principais tecnologias utilizadas nas indústrias de bebidas com o fim de tratamento das águas dos efluentes para reuso. Desta forma, este trabalho tem por objetivo geral realizar o estudo teórico dos métodos de tratamento de efluentes com foco no reuso da água e avaliar a possibilidade de aplicação em uma indústria de refrigerantes instalada no Cabo de Santo Agostinho - Pernambuco.

### 1.1.1 Objetivos específicos

- Analisar o diagnóstico dos efluentes gerados por uma indústria de bebida;
- Avaliar a caracterização dos efluentes;
- Apresentar as principais tecnologias de tratamento dos efluentes com fim de reutilização da água em uma indústria de refrigerantes, nos processos de utilidades.

## 2. REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 DISPONIBILIDADE HÍDRICA

A água é um recurso que proporciona vida para a humanidade, pois ela mantém a existência no planeta, sustenta a biodiversidade e a produção de alimentos, suportando todos os ciclos naturais. As grandes civilizações do passado e do presente, bem como as do futuro, dependem e dependerão da água para sua sobrevivência biológica, econômica e desenvolvimento cultural (OLIVEIRA, SILVA, CARNEIRO, 2013).

Antes da existência do *Homo sapiens* no planeta Terra a água era utilizada exclusivamente para manter o funcionamento dos ecossistemas. A presença da espécie humana, o desenvolvimento da agricultura (sobretudo da agricultura irrigada) e da indústria, e a diversificação dos usos múltiplos deste bem introduziram novos tipos de apropriação dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Tal fato produziu o chamado estresse hídrico (conflito crescente entre os diversos usos de água) ou escassez de água (desequilíbrio entre disponibilidade e demandas) (TUNDISI, 2014).

Em regiões em que há falta de água, há níveis baixos de suprimento em relação ao mínimo indispensável às necessidades básicas de vida. Escassez, estresse e falta de água estão relacionados com a segurança coletiva da população: segurança para a produção de alimentos, para o abastecimento público com água potável e contra a contaminação dos suprimentos de água e ameaças à saúde pública (ANA, 2009).

No Brasil, para que seja realizada a gestão dos recursos hídricos foi instituída a Lei Federal nº. 9.433 (BRASIL, 1997) que, entre outras medidas, instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, e criou o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos. Esta política tem como objetivos principais assegurar a atual e as futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos e a prevenção e a defesa contra eventos hidrológicos críticos de origem natural ou decorrentes do uso inadequado dos recursos naturais.

No contexto da água doce, a Organização Mundial de Saúde - OMS e o Conselho Nacional de Meio Ambiente – CONAMA, por meio da Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, classificam as águas quanto ao teor de sais como:

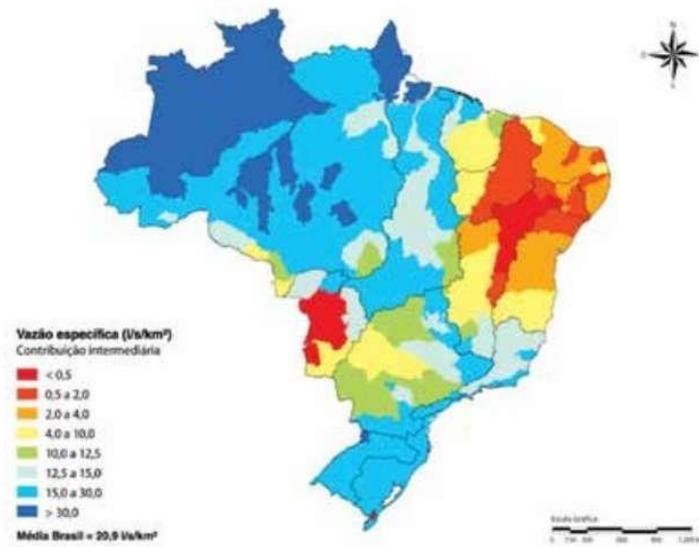
- Água doce: água com salinidade igual ou inferior a 0,50%;
- Água salobra: águas com salinidade superior a 0,5‰ e inferior a 30‰;
- Água salina: água com salinidade igual ou superior a 30‰.

Não se deve confundir água doce com água potável. Padrões de qualidade da água variam em função do uso, como consumo humano, animal, irrigação, transporte, navegação, produção de energia, entre outros. A Portaria nº 518, de 25 de março de 2004, do Ministério da Saúde, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, define como água potável: água para consumo humano cujos parâmetros microbiológicos, físicos, químicos e radioativos atendam ao padrão de potabilidade e que não ofereça riscos à saúde (BRASIL, 2004).

Estima-se que mesmo o planeta possuindo uma distribuição superficial de 70% de água, apenas 3% desta água é considerada como doce. No entanto, desta pequena porcentagem, 2,4% encontram-se em regiões de acesso restrito ou em geleiras. Somando-se um pouco mais de 0,5% em condições de acesso, presentes na atmosfera, lagos e rios (ZUFFO, AGUILERA, 2022).

Mesmo contando com um abastecimento de água doce maior, se comparado ao resto do mundo, o Brasil ainda sofre com escassez de água. Isto ocorre devido à má distribuição dos recursos hídricos subterrâneos no país, A Figura 1 apresenta a distribuição espacial das vazões específicas no território brasileiro. As vazões específicas representam a disponibilidade de água nas diferentes bacias hidrográficas do Brasil e reforçam a diversidade da distribuição no território nacional. Conforme destaca o relatório da ANA (2011) “apesar de o Brasil possuir grande oferta de água em termos globais, existe uma distribuição desigual dos recursos hídricos”. Destaca-se, a grande disponibilidade hídrica na Amazônia, e a escassez de água na região Nordeste do Brasil (TUNDISI, 2014).

FIGURA 1 – Distribuição espacial das vazões específicas.



Fonte: ANA, 2009.

De acordo com o Manual de Usos Consuntivos da Água no Brasil criado pela Agência Nacional das Águas (ANA, 2019), o consumo pelas indústrias figura em 3º lugar entre os maiores no Brasil em 2017, correspondendo à 8,8% do consumo total no país. Ficando atrás apenas das demandas para irrigação e uso animal, que consomem 68,4% e 10,8% respectivamente.

A busca por soluções para um monitoramento e gerenciamento adequados desses recursos deverá ser a prioridade dos órgãos gestores, a exemplo da outorga de direito de uso e cobrança pelo uso da água, com base no conceito usuário-pagador e poluidor-pagador. A cobrança pelo uso e/ou poluição dos recursos hídricos deverá induzir o uso racional, estimulando o usuário a adotar medidas para evitar desperdícios e reduzir impactos tanto na quantidade quanto na qualidade dos recursos hídricos, à semelhança da redução do consumo de energia elétrica imposta pelo governo federal, a partir de 04 de junho de 2001 (BRITO, SILVA, Porto, 2007).

## 2.2 ÁGUA NAS INDÚSTRIAS

Na indústria, a água apresenta diversos tipos de uso, os principais são apresentados a seguir (SAUTCHUK *et al*, 2004):

a) Consumo humano: água utilizada em ambientes sanitários, vestiários, cozinhas e refeitórios, bebedouros, equipamentos de segurança ou em qualquer atividade doméstica com contato humano direto;

b) Matéria-prima: como matéria-prima, a água será incorporada ao produto final, a exemplo do que ocorre nas indústrias de cervejas e refrigerantes, ou a água é utilizada para obtenção de outros produtos, por exemplo, o hidrogênio por eletrólise da água;

c) Uso como fluido auxiliar: a água, como fluido auxiliar, destaca-se para a preparação de suspensões e soluções químicas, compostos intermediários, reagentes químicos, veículo, ou ainda, para as operações de lavagem.

d) Uso para geração de energia: transformação da energia cinética, potencial ou térmica, acumulada na água, em energia mecânica e elétrica.

e) Uso como fluido de aquecimento e/ou resfriamento: nestes casos a água é utilizada como fluido de transporte de calor para remoção do calor de misturas reativas ou outros dispositivos que necessitem de resfriamento.

f) Outros usos: utilização de água para combate ao incêndio, rega de áreas verdes ou incorporação em diversos subprodutos gerados nos processos industriais, seja na fase sólida, líquida ou gasosa.

A indústria brasileira de bebidas destaca-se como exemplo de uma indústria tradicional que soube aproveitar bem as oportunidades geradas pelo crescimento econômico brasileiro até 2014 e pela emergência de uma nova classe de consumo no país. Reconhecendo aquele quadro econômico favorável, as empresas do setor investiram em capacidade produtiva, obtiveram ganhos de produtividade e ampliaram a variedade de produtos ofertados. Como consequência, a produção do setor cresceu proporcionalmente mais do que o produto interno bruto (PIB) (CERVIERI JUNIOR, 2017).

A indústria nacional de bebidas apresenta elevada produção (a fim de atender notadamente a demanda interna) culminando em significativo consumo de recursos hídricos (ROSA, CONSENZA, LEÃO, 2006). A água é o composto majoritário em todas as bebidas, conforme Tabela 1. Além de matéria-prima, a água é empregada em diversas atividades, especialmente no processo produtivo, entrando direta ou

indiretamente em todas as etapas: resfriamento/aquecimento (caldeiras), lavagem (como fluido auxiliar) e ainda é utilizada indiretamente para diluição/afastamento/depuração de efluentes, sendo, portanto, consumida em grande quantidade. Tornando-se um recurso extremamente importante para a indústria de bebida (CAVALCANTE, MACHADO, LIMA, 2013).

Tabela 1. Produção, consumo e indicadores hídricos da indústria de bebida no Brasil

Bebida	Consumo per capita anual médio no Brasil (L/hab)	Produção nacional (1 bilhão de L/ano)	Percentual de água	Indicador de consumo (média do segmento)
Refrigerante	74,5	14,148	78 - 90%	2 - 14
Cerveja	52,8	10,34	-	3 - 30
Água envasada	39,5	7,5	-	-
Suco	0,6 a 0,8	0,476	82 - 98%	-
Vinho	1,6	0,23	75 - 90%	-
Cachaça	6,2	1,2	0,5	30

Fonte: Adaptado ABIR (2011).

O uso da água em cada uma das etapas do processo sofre grande variação em função das práticas operacionais de cada instalação. De acordo com levantamentos realizados em indústrias em diversos países, os maiores consumos de água ocorrem nas áreas de utilidades e de lavagem de garrafas (SANTOS, RIBEIRO, 2005).

O tipo de vasilhame onde se acondiciona a bebida é fator de grande influência no consumo de água da indústria, uma vez que latas e garrafas descartáveis dispensam a etapa de lavagem. Por outro lado, as indústrias ou linhas de produção que trabalham com garrafas retornáveis, necessitam de grandes volumes de água para alimentação das lavadoras de garrafas. O consumo de água na operação de lavagem de garrafas está diretamente ligado à tecnologia empregada neste equipamento (CASADO et al, 2007).

O consumo médio de água apresentado pelo setor de bebidas está entre 1,5 e 4,5 litros (UNIDO, 2014). Porém, para a Associação Portuguesa de Bebidas

Refrescantes Não Alcoólicas (PROBEB) um consumo acima de 3 litros é considerado alto, entretanto, de acordo com indicadores ambientais na indústria de bebidas não alcoólicas da associação, houve uma redução de 10,4% no período de 2009 a 2011, atingindo consumo médio de 2 litros de água por cada litro de bebida produzida (CUNHA, 2019). Já para a Santos e Ribeiro (2005), na produção de refrigerantes, devido à predominância da utilização de embalagens descartáveis, é comum encontrar unidades industriais operando com índices de consumo de 2,5 a 3,5 l água /l bebida.

Observando-se os dados, nota -se que, o consumo pode variar bastante de acordo com os parâmetros de produção, bem como, as práticas de gerenciamento hídrico das indústrias, o que torna de grande importância o desenvolvimento de estudos referentes a melhores formas de uso e de reuso desta água.

## 2.3 INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES

### 2.3.1 Processo Produtivo

Os refrigerantes são bebidas industrializadas, não alcoólicas, produzidas a partir da mistura da água com concentrados aromatizados e açúcar ou adoçante. Podem ser encontrados nos sabores cola, guaraná, laranja, limão, uva, framboesa, canela, entre outros (BNDES, 2006).

O processo de produção do refrigerante consiste basicamente na mistura das quatro matérias primas principais: Água, Açúcar cristal, concentrado para adição do sabor (extrato de sucos, conservantes, estabilizantes, acidulantes, corantes, entre outros) e gás carbônico. A produção em si da bebida se divide em 5 etapas, que serão detalhadas nos tópicos seguintes:

Dissolução do açúcar cristal;

Tratamento do açúcar cristal (filtração, clarificação e desodorização);

Preparo do xarope composto;

Carbonatação;

Envase.

### **2.3.1.1 Dissolução de Açúcar**

Dissolução do açúcar: A dissolução do açúcar cristal tem como produto final o xarope simples. O processo compõe-se no aquecimento prévio de água potável à temperatura média de 60°C à 75°C e adição de açúcar cristal em um tanque composto de agitador para que haja a correta homogeneização.

### **2.3.1.2 Tratamento do açúcar cristal**

Após a dissolução o xarope simples apresenta um aspecto de cor amarelado e odor característico. Para obter-se o xarope tratado inicialmente realiza-se a filtração com filtro de areia do xarope para retirar quaisquer resíduos sólidos advindo do açúcar.

Posteriormente o xarope filtrado passa para a etapa de clarificação. O produto passa por resinas aniônicas e segue para coluna catiônica para eliminação de eventuais amins desprendidas pela resina aniônica, caso seja necessário. Este processo de descoloração ocorre por troca iônica entre os componentes corantes do açúcar que têm estrutura aniônica e a resina (PUROLITE, 2022 E JUNK, PANCOAST, 1973). Ao longo do uso os sítios ativos das resinas começam a ficar totalmente preenchidos com os componentes colorantes do açúcar, diz então que a resina está saturada necessitando de um processo de regeneração para reativar os sítios antes disponíveis.

Para retirada do odor do xarope, o mesmo passa por um filtro de carvão ativado. Nesta etapa o xarope filtrado e descolorido passa pelo filtro de carvão ativado que por meio da adsorção retira os componentes de odor do xarope. Da mesma forma que a resina de troca iônica, o carvão ativado também sofre saturação dos seus sítios ativos sendo necessária a regeneração de sua carga.

Ao fim destas três etapas o xarope tratado passa por uma filtração com filtros bags para que seja retida quaisquer resíduos provenientes das etapas posteriores.

### **2.3.1.3 Preparo do xarope composto**

Consiste inicialmente no resfriamento do xarope simples para temperaturas entre 20°C e 25°C. Posteriormente têm-se a adição dos componentes saborizantes do refrigerante e outros aditivos componentes da fórmula, tais como conservantes, acidulantes, antioxidantes, aromas, extratos, entre outros aditivos. Segundo a Santos e Ribeiro (2005), “os aditivos incorporados ao xarope simples para a obtenção do xarope composto é que distinguem os refrigerantes entre si, conferindo as características organolépticas e propriedades químicas adequadas a sua conservação”.

### **2.3.1.4 Dissolução e Carbonatação**

Para transformar o xarope composto em refrigerante é necessário diluir a mistura (xarope) em água tratada, até uma concentração de 10°Brix, variando de acordo com o tipo de produto a ser obtido. Em seguida, o refrigerante propriamente dito, passa por uma etapa de carbonatação, onde quantidades controladas de gás carbônico são injetadas na bebida.

### **2.3.1.5 Envase**

Nesta etapa a bebida é envasada em garrafas PET ou de vidro. O processo é realizado em máquinas enchedoras que garantem o envase com mínima perda de bebida e dióxido de carbono. Nos casos das embalagens retornáveis, antes do envase em si as garrafas passam por um processo de limpeza.

O processo de limpeza pré envase das garrafas é composto por extrator de canudos e lavadora. No extrator de canudos ocorre a remoção de quaisquer resíduos físicos da garrafa. Seguindo para etapa da lavadora as garrafas são lavadas com solução de detergente cáustico com temperatura, tempo de contato e concentração definidos pelo produto utilizado. Após lavagem as garrafas são enxaguadas com água clorada. A solução cáustica descartada é encaminhada para um tanque de armazenagem onde será novamente reconcentrada e o efluente gerado é enviado para a ETE da indústria.

Após envasado o refrigerante passa por uma máquina arrolhadora e segue para paletização e armazenamento. Onde posteriormente será realizada a expedição das caixas vendidas.

### **2.3.2 Uso de água e geração de efluentes na indústria de refrigerantes**

Como já levantado anteriormente, muitos são os usos necessários para a água em uma indústria de bebidas. No caso da fabricação do refrigerante, a qualidade da água necessita seguir padrões internos e de legislação, para que a água enviada para as linhas de produção garanta os padrões de potabilidade para consumo humano e supra as necessidades de processo (GALVÃO, 2010).

Para assegurar a qualidade do refrigerante a água utilizada como matéria prima precisa atender algumas características, tais como: baixa alcalinidade (80 ppm de  $\text{CaCO}_3$  como limite máximo), teores de sais dentro das especificações, isenção de metais pesados, baixo teor de dureza total, entre outros. A água deve ser incolor, insípida, inodora, livre de precipitados e de cloro residual (MIRANDA, 2011).

As indústrias de bebidas, de maneira geral, requerem grandes quantidades de água potável, o que gera grandes quantidade de águas residuárias durante diferentes processos (CUNHA, 2019). Para Imoobe & Koye (2011), grande parte das vazões de efluentes geradas nas indústrias de refrigerantes são ocasionadas pelos despejos de águas de lavagem de tanques das linhas de garrafas de vidro e tanques de preparo de xaropes, presentes nas linhas de produção do refrigerante. Outras fontes, como: lavagem das máquinas, equipamentos e tubulações do setor de envasamento e descargas dos tanques de solução de soda caustica das lavadoras de vidro, também geram grandes vazões de efluentes (SANTOS, RIBEIRO, 2005).

A ampla linha de diferentes produtos deste ramo faz com que haja a produção de diferentes efluentes sendo, conseqüentemente, a heterogeneidade uma outra característica que aumenta a complexidade do resíduo (FOGAÇA, 2016).

Os resíduos líquidos produzidos neste tipo de operação industrial têm uma característica comum de possuírem alta carga orgânica (até 20.000 mg  $\text{O}_2/\text{L}$  DQO) como principal poluente (YAMANAKA, 2005), causada pela elevada concentração de glicose e frutose. A presença dos ácidos cítrico, málico e tartárico são responsáveis

pelo baixo pH e a significativa acidez do efluente (GURAK et al., 2010). Há ainda outros tipos de substâncias que geram contaminação, como sólidos suspensos e sedimentáveis provenientes da lavagem dos frutos.

Segundo Cunha (2019), os efluentes de indústria de refrigerantes são constituídos por sólidos em suspensão, substâncias orgânicas, pH elevado, DQO, DBO, nitratos, fosfatos, sódio e potássio. Mancuso e Santos (2003) afirmam que os efluentes gerados na indústria de bebidas são ricos em açúcares, possuem pH alcalino, temperatura ambiente, elevada carga orgânica (DBO, DQO e sólidos totais) devido ao açúcar do xarope e dos extratos vegetais utilizados na formulação das bebidas.

Devido ao grande volume e sua variedade qualitativa, os efluentes das indústrias de bebidas podem promover considerável impacto ambiental caso sejam incorporados à rios e lagos sem prévio tratamento. Para impedir a contaminação a Resolução CONAMA nº 357 de 2005 dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes. Estabelece que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nos corpos de água, após o devido tratamento e desde que obedeçam às condições, padrões e exigências da resolução.

Outras normas foram criadas também para padronizar o controle dos efluentes gerados e emitidos. Destaca-se também a Portaria nº 327 de 1997 que aprova o Regulamento Técnico sobre "condições higiênicos-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos", definindo que os estabelecimentos devem dispor de um sistema eficaz de eliminação de efluentes e águas residuais, o qual deve ser mantido em bom estado de funcionamento.

De forma geral, a caracterização dos efluentes é determinante para o tipo de tratamento que podem ser físicos, químicos ou biológicos, ou ainda a combinação deles. A partir da variabilidade de processos, as tecnologias que podem ser aplicadas são avaliadas a partir das restrições legais dos parâmetros e custo efetivo (FONSECA, 2020).

Os processos físicos contam basicamente com processos de separação de misturas, como filtração, decantação, evaporação, centrifugação. Tem como principal objetivo a remoção de sólidos suspensos, sedimentáveis e grosseiros, além de serem usados comumente como pré-tratamentos e/ou polimentos finais, aliados aos outros tipos de tratamentos (FOGAÇA, 2016).

Nos processos químicos é realizada a adição de produtos químicos. Os processos químicos podem ser utilizados para melhorar a eficiência de outros processos de tratamento, por exemplo, a remoção de sólidos sedimentáveis pode ser melhorada com a adição de coagulantes, ou também a remoção da umidade do lodo por centrifugação pode ser mais eficiente com a adição de polieletrólitos (JORDÃO, PÊSSOA, 2005).

Os processos biológicos utilizam microrganismos para degradar os poluentes, simulando o que acontece na natureza, através de etapas anaeróbias, aeróbias, lagoas com leito fixo e lodos ativados, são sistemas de tratamento muito comuns quando há elevada carga biodegradável (FOGAÇA, 2016).

## 2.4 O REUSO DE ÁGUA

### 2.4.1 Aspectos gerais do reuso de água

A conservação da água engloba uma série de ações ligadas à redução de consumo e desperdício de água e, ao aumento da eficiência na utilização desse recurso juntamente com a evolução de técnicas apropriadas de reciclagem e reuso de água que sejam economicamente viáveis, seguras e garantam acima de tudo a segurança e saúde de seus usuários (CAMPOS, 2013).

O reuso de água nas indústrias está ganhando importância devido à competição crescente entre elas e a normas ambientais cada dia mais severas. A água já não é vista como um bem gratuito. Devido ao grande crescimento da industrialização, aliado ao problema da escassez de água potável, há um aumento na demanda do consumo de água tratada para uso nas indústrias, provocando também um aumento da necessidade de seu reuso (Guerra Filho, 2006).

O reuso pode ser definido como uso de água residuária ou água de qualidade inferior tratada ou não. O artigo 2º da Resolução nº 54 de 28 de novembro de 2005,

do Conselho Nacional de Recursos Hídricos – CNRH define água de reuso como água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas e define água residuária como: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratados ou não.

Segundo Mancuso e Santos (2003), o reuso de água pode ocorrer de forma direta ou indireta e pode ser:

- Reuso direto: constitui-se no uso planejado de esgoto tratado para uso em irrigação, industrial, recarga de aquífero e água potável;
- Reuso indireto: ocorre quando a água já é reutilizada várias vezes para uso doméstico ou industrial e é descarregada nas águas superficiais ou subterrâneas.
- Reciclagem interna: é o reuso interno da água nas instalações industriais, objetivando a economia de água e o controle da poluição.

Com expressivos volumes nos indicadores de consumo de água e vários pontos de geração de efluentes, é notório que o volume de efluentes gerados em indústrias de refrigerantes seja considerável. De acordo com Kasmi et al. (2016), a indústria de bebidas não alcoólicas, tais como bebidas gaseificadas e sucos produzem 0,5 L de esgoto para cada 2 L de água consumido no processo de fabricação das bebidas. Em uma fábrica de refrigerantes em Bangkok, Haydar et al. (2015) concluíram que, aproximadamente, 75,7% da água utilizada na produção da bebida tornam-se esgoto (CUNHA, 2019).

De acordo com Hespanhol (2003) a grande demanda de água do setor industrial que pode ser associada à reposição por água de reuso são as torres de resfriamento, caldeiras, irrigação de áreas verdes, lavagem de pisos e equipamentos.

De acordo com Mierzwa e Hespanhol (2005), a água deve apresentar características químicas, físicas e biológicas adequadas para cada tipo de reuso a ser estudado e implantado. A implantação do reuso não substitui integralmente a necessidade de água em uma planta industrial, pois há limitações técnicas e operacionais, que restringem a utilização em sistemas fechados, portanto, se faz necessária uma avaliação das características da água e dos efluentes gerados, além

de conhecimento dos padrões de emissão dos efluentes, segundo a legislação vigente.

## **2.4.2 Tecnologias de Tratamento para Reuso**

Na literatura podem ser encontrado o emprego de diversas tecnologias para tratamento da água de efluentes visando reuso. Dentre eles pode-se destacar: adsorção em carvão ativado, oxidação com ozônio, dióxido de cloro e peróxido de hidrogênio, separação por membranas e troca iônica (ALVES, 2012).

Segundo Galvão (2010), na indústria de bebidas, existem várias possibilidades de reuso de água e efluentes dentro da maioria dos processos envolvidos na produção de refrigerantes. Algumas ações de recuperação de água são mais simples, como por exemplo, a recuperação de água de contra lavagem dos filtros de carvão e areia, existentes no tratamento de água em indústrias de bebidas.

Segundo Di Bernardo et al. (2005), a seleção de uma tecnologia adequada ao tratamento de uma água deve ser escolhida em função da qualidade da água bruta, porém é necessária atenção ao fato do uso da pré oxidação com cloro em águas que apresentam matéria orgânica dissolvida, ou cor real, podendo haver a formação indesejada de subprodutos orgânicos halogenados, tais como trihalometanos e ácidos haloacéticos, tóxicos ao ser humano.

### **2.4.2.1 Filtração**

A filtração é um importante processo no tratamento de efluentes, comumente utilizada para remoção de flocos biológicos residuais em efluentes sedimentados do tratamento secundário, e para remoção de precipitados residuais de sais de metais ou precipitação de fosfatos com cal. A filtração é utilizada como operação de pré-tratamento antes do efluente alimentar as colunas de carvão ativado. Este processo combina mecanismos físicos e químicos de remoção de sólidos, sendo por isso usando normalmente como uma etapa final, imediatamente antes da desinfecção e da disposição final e reuso. O processo de filtração consiste na passagem do efluente através de leito de material granular para remoção de sólido, o que exige eventuais

lavagens com água contracorrente para remoção do material retido (MANCUSO, SANTOS, 2003).

Silva Filho (2009) realizou o estudo da filtração como tecnologia inicial para remoção da turbidez e sólidos suspensos no efluente de uma indústria de refrigerantes. Para filtragem utilizou-se filtros bag de 25 e 5  $\mu\text{m}$ , cujas especificações técnicas estão contidas na Tabela 2. Utilizou-se também filtro areia empregando-se sílica de baixa granulometria, conforme as características indicadas na Tabela 3.

Tabela 2 – Características físicas e dimensões dos filtros bags de 5 e 25  $\mu\text{m}$

Elemento Filtrante modelo	POXL5 P01E-WW	POXL25 P02E
Material	Feltro agulhado em polipropileno	
Dimensões	18 cm (diâmetro) x 41 cm (comprimento)	18 cm (diâmetro) x 81 cm (comprimento)
Micragem nominal	5 $\mu\text{m}$	25 $\mu\text{m}$
Permeabilidade ao ar	200 a 300 L/dm <sup>2</sup> .min	400 a 600 L/dm <sup>2</sup> .min
Máxima temperatura de operação	90°C	
Resistência termoquímica	Meio aquoso, solventes alifáticos, sistemas alcalinos e ácidos	
Resistência à tração transversal	900 N/5cm (min.)	700 N/5cm (min.)
Resistência à tração longitudinal	700 N/5cm (máx.)	530 N/5cm (máx.)

Fonte: Silva Filho adaptado (2009).

Tabela 3 – Características físicas e dimensões do filtro areia

Camada	Diâmetro das partículas	Altura do leito (m)
Filtrante	0,45 – 0,55 mm	0,30
	3,36 – 1,19 mm	0,15
Torpedo	1/4" – 1/8"	0,10
Seixos rolados	1/2" – 1/4"	0,10
	3/4" – 1/2"	0,10
	1 1/2" – 3/4"	0,15

Fonte: Silva Filho adaptado (2009).

Alves (2012) também realizou estudo utilizando filtragem direta do efluente gerado por uma indústria de refrigerantes. Para esta tecnologia foram utilizados filtros chamados de FLA (filtros de laboratório de areia), confeccionados em acrílico ou em PVC, com diâmetro interno de 19 mm, seção de tubo de 30 a 40 cm, contendo areia caracterizada com grãos medindo de 0,3 a 0,59 mm de acordo com a turbidez da água bruta.

#### **2.4.2.2 Coagulação e Floculação**

Segundo Di Bernardo et al. (2011), a coagulação constitui o processo mais importante para a produção de água filtrada com qualidade satisfatória, principalmente quando se aplica uma das técnicas de filtração direta. É um processo que consiste na desestabilização das partículas coloidais ou neutralização das moléculas de matéria orgânica dissolvidas, realizado em unidade de mistura rápida, as quais podem ser hidráulicas ou mecânicas

Testes de coagulação/floculação foram realizados por Silva Filho (2009) no laboratório da indústria de refrigerantes utilizando-se um *Jar Test* de bancada (especificação – Quimis – Modelo Q305D6 44x94x25 com regulador eletrônico de velocidade entre 15 e 180 rpm e gradiente de velocidade aproximadamente entre 5 e 600 s<sup>-1</sup>).

O agente coagulante utilizado foi o policloreto de alumínio – PAC (15% v/v – Panfloc-AB). O tempo e a velocidade máxima (início do teste) e mínima foi de 5 minutos e 60 rpm e 20 min e 30 rpm, respectivamente. Após período de agitação, aguardou-se durante 20 minutos para sedimentação (SILVA FILHO, 2009).

No estudo realizado por Alves (2012) os coagulantes utilizados para o ensaio foram: cloreto férrico líquido comercial, policloreto de alumínio (PAC) e sulfato de alumínio. Definiu-se a dosagem correta e o melhor coagulante para o tratamento proposto, para isso avaliou-se os parâmetros de pH, turbidez e cor aparente.

### **2.4.2.3 Resinas de Troca Iônica**

Resinas de troca iônica são produtos sintéticos, constituídas, em geral, de copolímeros de estireno com divinilbenzeno (D.V.B.), que colocados na água, poderão liberar íons sódio ou hidrogênio (resinas catiônicas) ou cloretos ou hidroxila (resinas aniônicas) e captar desta mesma água, respectivamente, cátions e ânions, responsáveis por seu teor de sólidos dissolvidos (cloretos, silicatos e sulfatos de sódio, magnésio e cálcio e combinados de  $Fe^{+2}$  e  $Fe^{+3}$ ) indesejáveis a muitos processos industriais. Os íons presentes na água são substituídos por uma quantidade equivalente de outras espécies iônicas, sendo retidos em uma fase sólida imiscível denominada resina.

Por se tratar de uma fase sólida insolúvel, as resinas apresentam capacidade limitada. Em cada partícula de resina existe um número limitado de sítios ativos, de modo que quando todos estes sítios ativos são ocupados diz que a resina está saturada. Como este processo envolve uma reação de equilíbrio químico, as resinas podem ter a sua capacidade recuperada (MIERZWA, HESPANHOL, 2005).

Silva Filho (2009) realizou o teste da filtração do efluente por coluna de troca iônica. A montagem do sistema de coluna em bancada é mostrada na Figura 2 abaixo. As resinas utilizadas foram adquiridas na *Purolite do Brasil* e estão ilustradas na Figura 3 abaixo, e suas características físico-químicas estão contidas na Tabela 4.

Figura 2– Montagem do sistema de coluna de troca iônica em bancada



Fonte: SILVA FILHO (2009).

Figura 3 – Resina Purolite Aniônica PFA-3-00 (A) e Resina Purolite Catiônica SST-60H (B)



(A)

(B)

Fonte: SILVA FILHO (2009).

Tabela 4 – Características físico-químicas das resinas utilizadas no estudo do tratamento do efluente

<b>Características</b>	<b>Resina Catiônica Purolite SST60-H</b>	<b>Resina Aniônica Purolite PFA-300</b>
Estrutura da matriz do polímero	Base de poliestireno e divinilbenzeno, tipo gel	Base de poliestireno e divinilbenzeno, tipo gel
Aspecto físico	Partículas esféricas	Partículas esféricas de cor âmbar
Grupo funcional	Ácido sulfônico	Quaternário de amônio tipo II
Forma iônica original	H <sup>+</sup>	Cloreto, Cl <sup>-</sup>
Diâmetro médio das partículas	0,60 - 0,85 mm	0,52 - 0,62 mm
Temperatura limite de operação (forma H <sup>+</sup> )	120°C	35°C
Temperatura limite de operação (forma Na <sup>+</sup> )	140°C	85°C

Fonte: Silva Filho (2009) adaptado.

#### **2.4.2.4 Processos Oxidativos**

Conforme Teixeira e Jardim (2004), este tipo de processo caracteriza-se por transformar a grande maioria dos contaminantes orgânicos em dióxido de carbono, água e ânions inorgânicos, por meio de reações de degradação que envolvem espécies transitórias oxidantes, principalmente os radicais livres.

Do ponto de vista químico, uma reação de oxidação/redução é aquela que envolve transferência de elétrons entre os reagentes. Para que isso ocorra, deve-se ter um elemento que perde elétrons (se oxida), enquanto outro elemento ganha elétrons, ou seja, reduz-se. Sob uma ótica do tratamento de água, a oxidação química é uma forma de transformar moléculas ambientalmente indesejáveis em outras moléculas menos tóxicas, para que estas possam ser assimiladas de modo mais harmonioso nos ciclos da natureza (CARVALHO, 2010).

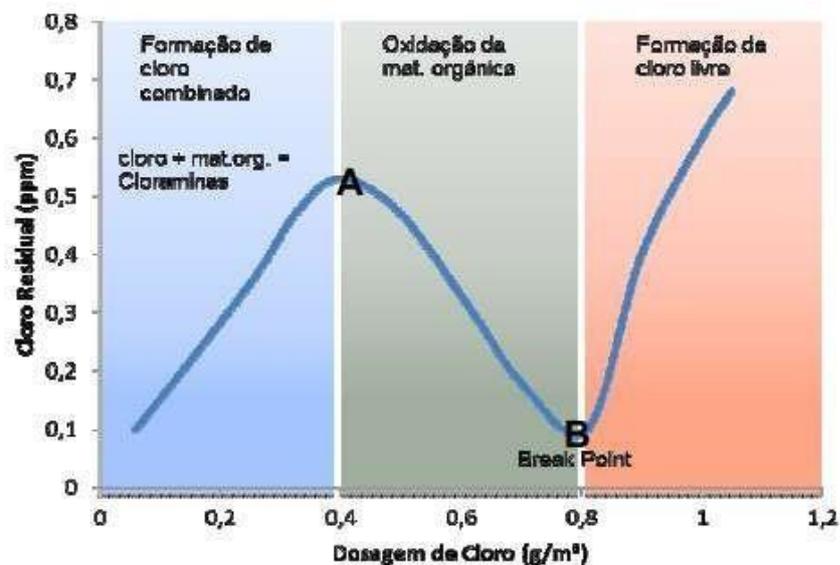
Diferentes agentes oxidantes podem ser utilizados para o tratamento de água de abastecimento. Atualmente, tem havido um crescente interesse pelo uso de desinfetantes alternativos que minimizam a formação de trihalometanos. Entre eles estão o cloro, o ozônio (O<sub>3</sub>), o permanganato de potássio (KMnO<sub>4</sub>) e o dióxido de cloro (ClO<sub>2</sub>), entre outros (SANCHES et al., 2003). Contudo, o agente oxidante

historicamente mais empregado no tratamento de água tem sido o cloro, tanto nas formas de cloro gasoso ( $\text{Cl}_2$ ) como nas formas de hipoclorito de sódio ( $\text{NaOCl}$ ) e hipoclorito de cálcio ( $\text{Ca(OCl)}_2$ ) (SOUZA, 2014).

Nos processos de oxidação com cloro a análise do cloro residual possibilita a determinação da quantidade ideal de cloro a ser dosada para oxidação do efluente, sendo equivalente ao primeiro ponto após o *break point*. A continuação da adição de cloro resultará em um excessivo aumento do cloro residual livre, já que toda demanda de cloro pela água foi satisfeita (ALVES, 2012).

A obtenção do cloro residual em função da dosagem de cloro deve seguir uma curva parecida com a apresentada na Figura 4. No início da mistura o cloro inserido forma o cloro residual combinado, pois reage a com matéria orgânica, com compostos redutores e com a amônia presentes no efluente, formando as cloraminas. O nitrogênio amoniacal consome o cloro na formação das cloraminas e o ponto máximo é atingido quando toda a amônia disponível se combinou como cloro para formação de cloro residual combinado. Na Figura 4 observa-se o ponto A, onde ocorre o topo da combinação do cloro com a matéria orgânica (ALVES, 2012).

Figura 4 – Modelo de demonstração da formação do cloro combinado (cloraminas), oxidação, formação do cloro residual e *break point*



Fonte: ALVES (2012).

Por serem compostos quimicamente instáveis, quando a curva atinge o ponto máximo de formação, ponto A, e ainda existe a continuação da adição de cloro à água, tem-se o início da destruição das cloraminas, chamada de oxidação (declínio da curva no gráfico), formando produtos inertes, como  $N_2$  e HCl.

A partir do declínio visto na Figura 4 o cloro residual, agora sob forma de cloro residual livre, aumenta proporcionalmente com a quantidade de cloro aplicada. O ponto mínimo de inflexão é atingido depois da destruição das cloraminas e é chamado de *break point*, o qual ocorre no término da oxidação e o início do processo de elevação dos teores de cloro residual (ponto B da Figura 4).

### **3. MATERIAIS E MÉTODOS**

Este TCC de caráter teórico foi realizada comparando-se os resultados de dois artigos científicos escritos por Alves (2012) e Silva Filho (2009). Tais trabalhos buscam compreender a viabilidade da aplicação de tecnologias que permitam o reuso de água de efluentes em uma indústria de refrigerantes.

O presente estudo foi realizado visando a implementação de uma destas tecnologias em uma fábrica de refrigerantes localizada no Cabo de Santo Agostinho – Pernambuco, com objetivo de reuso no sistema de utilidades da fábrica, com utilização nos processos de caldeira e torre de resfriamento.

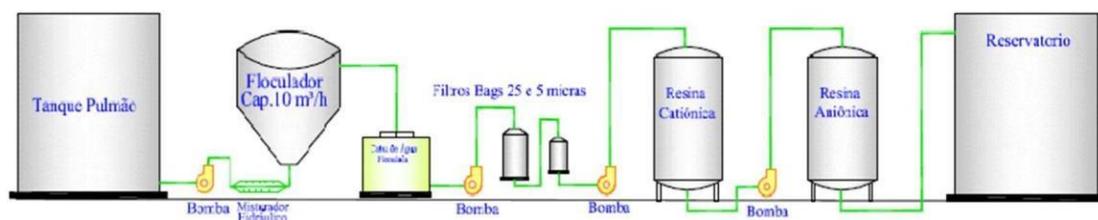
## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados adquiridos durante a execução dos experimentos contidos nos artigos que serviram como base para o presente trabalho.

### 4.1 TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE DE UMA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES VISANDO O REUSO – UM ESTUDO DE CASO

No estudo realizado por Silva Filho (2009) o efluente gerado de uma indústria de refrigerantes após passar pelos tratamentos primários foi caracterizado e tratado pelos processos de floculação/coagulação, filtração e tratamento por troca iônica. Os resultados encontrados são apresentados nos próximos tópicos.

Figura 5 - Sistema de Coagulação/Floculação/Filtros Bag/Resinas



Fonte: Silva Filho (2009).

#### 4.1.2 Caracterização do efluente da estação de tratamento

A indústria estudada por Silva Filho (2009) tem uma estação de tratamento de efluentes própria. Foi realizado então a caracterização deste efluente após ser tratado. O efluente foi caracterizado nos seguintes parâmetros: alcalinidade ao bicarbonato, alcalinidade total, alumínio, cálcio, cloretos, condutividade, Carbono Orgânico Total (COT), DBO, DQO, dureza, ferro, fosfatos, magnésio, manganês, nitrogênio amoniacal, óleos e graxas, oxigênio dissolvido, pH, Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), sílica, SST, sulfatos, sulfetos, surfactantes, tetracloreto de carbono, turbidez, cobre, dureza total. Os resultados encontrados para cada um destes parâmetros são encontrados na Tabela 5.

Tabela 5 – Caracterização do efluente final da ETE

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados</b>	<b>Padrão Resfriamento</b>	<b>Padrão Caldeira</b>
<b>Alcalinidade ao Bicarbonato</b>	850	24	170
<b>Alcalinidade Total</b>	850	350	350
<b>Alumínio</b>	< 0,1	0,1	5
<b>Cálcio</b>	< 0,5	50	--
<b>Cloretos</b>	76,9	300	--
<b>Condutividade</b>	1827	--	3500
<b>COT</b>	8,5	200	--
<b>DBO</b>	< 6	25	--
<b>DQO</b>	45	75	5
<b>Dureza</b>	< 5	300	350
<b>Ferro</b>	0,2	0,5	1
<b>Fosfatos</b>	3	4	--
<b>Magnésio</b>	< 0,5	0,5	--
<b>Manganês</b>	< 0,01	0,5	--
<b>Nitrogênio amoniacal</b>	3,7	1	0,1
<b>Óleos e graxas</b>	0,8	--	1
<b>Oxigênio Dissolvido</b>	5,4	--	--
<b>pH</b>	7,3	7,0 - 8,5	7,0 - 10,0
<b>SDT</b>	1109	500	700
<b>Sílica</b>	5	50	30
<b>SST</b>	13	100	10
<b>Sulfatos</b>	0,8	200	--
<b>Sulfetos</b>	0,011	10	--
<b>Surfactantes</b>	< 0,1	1	--
<b>Tetracloroeto de Carbono</b>	< 1	--	--
<b>Turbidez</b>	9,2	50	--
<b>Cobre</b>	< 1	--	0,5
<b>Dureza Total</b>	< 5	--	350

Fonte: Silva Filho Adaptado (2009).

A partir da caracterização do efluente tratado pela ETE da indústria estudada por Silva Filho (2009) observa-se o não atingimento de parâmetros visando a reutilização em torres de resfriamento (alcalinidade total, alcalinidade ao bicarbonato, nitrogênio amoniacal e sólidos dissolvidos totais). Também não foram atendidos os parâmetros para utilização em caldeiras (alcalinidade total, alcalinidade ao bicarbonato, DQO, nitrogênio amoniacal, SDT e sólidos suspensos totais).

### 4.1.3 Testes de Filtração

Neste tópico são apresentados os resultados da filtração direta do efluente estudado. Foram utilizados para este experimento filtros do tipo *bag* e filtro areia. Os resultados da caracterização após filtração são apresentados na Tabela 6, onde o efluente foi analisado a partir dos parâmetros: pH, SDT, SST e Turbidez.

Tabela 6 – Comparação dos valores dos parâmetros avaliados antes e após a filtração em filtros *bag* e de areia

Amostras	pH	SDT (mg/L)	Remoção (%)	SST (mg/L)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Efluente Tratado	7,3	1109	--	13	--	9,2	--
Filtrado dos filtros <i>bag</i>	7,2	1005	9,4	8	38,5	7,5	18,5
Filtrado do filtro areia	7,2	859	22,5	2	84,5	2,6	71,7

Fonte: Silva Filho (2009).

Ao analisar a Tabela 6 observa-se que não houve redução considerável dos sólidos dissolvidos (9,4%) no emprego dos filtros *bag*, já os sólidos suspensos e turbidez houve uma remoção considerável, de 38,5% e 18,5% respectivamente. Para a finalidade de reuso estudada por Silva Filho (2009) observa-se que os parâmetros de SDT e turbidez ainda não atenderam as especificações necessárias.

O filtrado pelo filtro areia obteve uma maior remoção dos parâmetros estudados. Porém, o valor de SDT ainda continuou 18% acima do valor de referência para reuso em torres de resfriamento (500 mg/L). No caso de reuso em caldeiras, o filtrado obtido no filtro areia atendeu aos padrões relativos aos três parâmetros estudados: SDT, SST e turbidez.

### 4.1.4 Coagulação/Floculação

Durante o estudo realizado por Silva Filho (2009) observou-se que mesmo com os valores de SST e turbidez que foram apresentados na Tabela 6 estarem atendendo

aos limites impostos para água de reuso, a presença de materiais suspensos era visível no efluente. Desta forma, caso os materiais não fossem removidos, resultariam em problemas operacionais nas unidades subsequentes de tratamento ou de reuso.

Silva Filho optou pela utilização de técnica de coagulação e floculação para remoção das matérias ainda presentes no efluente. Na coagulação-floculação foram monitorados três parâmetros: cor, SST e turbidez. Nos próximos tópicos serão apresentados os resultados de cada uma das etapas desta tecnologia.

#### 4.1.4.1 Determinação do pH ótimo para coagulação/floculação

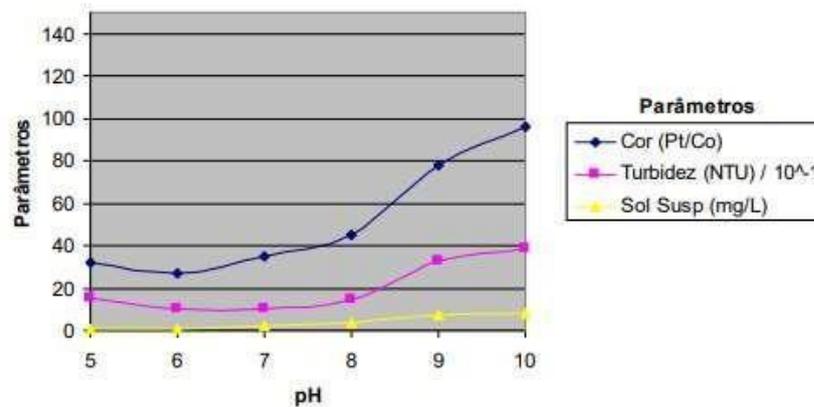
Silva Filho (2009) realizou a análise para determinação do pH ótimo, obtendo os resultados apresentados na Tabela 7. A Figura 6 mostra a influência do pH na coagulação/floculação através dos valores de turbidez, SST, SDT e cor aparente (SILVA FILHO, 2009).

Tabela 7 – Valores dos parâmetros monitorados no processo de coagulação/floculação.  $5,0 \leq \text{pH} \leq 10,0$  – (conc. PAC 2268 mg/L)

Amostras	pHi	pHf	Cor (Pt-Co)	Remoção (%)	SST (mg/L)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Efluente tratado	7,3	7,3	202,0	--	24,0	--	11,0	--
Clarificado da coagulação/floculação	5,0	4,9	32,0	84,2	1,0	95,8	1,5	85,8
	6,0	5,9	27,0	86,6	1,0	95,8	1,0	90,6
	7,0	6,7	35,0	82,7	2,0	91,7	1,0	90,6
	8,0	7,6	45,0	77,7	4,0	83,3	1,5	85,8
	9,0	8,4	78,0	61,4	7,0	70,8	3,3	68,9
	10,0	9,5	96,0	52,5	8,0	66,7	3,9	63,2

Fonte: Silva Filho (2009)

Figura 6 – Influência do pH na coagulação/floculação do Efluente da ETE



Fonte: SILVA FILHO (2009).

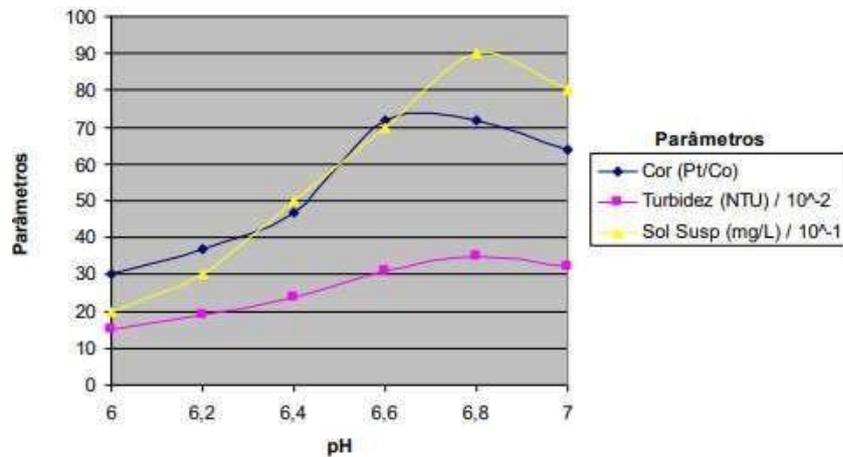
Analisando-se a Figura 6, observa-se que a melhor condição de coagulação/floculação é apresentada no pH entre 6,0 e 7,0, para os quais obteve-se uma maior remoção dos parâmetros estudados. Com o objetivo de determinar o valor exato do pH ótimo para a coagulação/floculação, foi realizado o mesmo teste, porém variando o pH entre 6,0 e 7,0. Os resultados podem ser vistos na Tabela 8 e Figura 7 (SILVA FILHO, 2009).

Tabela 8 - Valores dos parâmetros monitorados no processo de coagulação/floculação.  $6,0 \leq \text{pH} \leq 7,0$ 

Amostras	pHi	pHf	Cor (Pt-Co)	Remoção (%)	SST (mg/L)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Efluente tratado	7,7	7,7	185,0	--	22,0	--	9,00	--
Clarificado da coagulação/floculação	6,0	5,8	30,0	83,8	2,0	90,9	0,15	98,3
	6,2	5,9	37,0	80,0	3,0	86,4	0,19	97,9
	6,4	6,2	47,0	64,6	5,0	77,3	0,24	97,3
	6,6	6,3	72,0	61,1	7,0	68,2	0,31	96,6
	6,8	6,6	72,0	61,1	9,0	59,1	0,35	96,1
	7,0	6,8	64,0	65,4	8,0	63,6	0,32	96,4

Fonte: Silva Filho (2009).

Figura 7 – Influência do pH na coagulação/floculação na faixa entre  $6,0 \leq \text{pH} \leq 7,0$



Fonte: Silva FILHO (2009).

Analisando-se a Figura 7 pode-se perceber que o pH onde houve maior redução dos parâmetros de cor, turbidez e sólidos suspensos foi o pH de 6,0. Desta forma, pode-se concluir que este pH de 6,0 pode ser considerado como o pH ótimo para ocorrência da coagulação/floculação (SILVA FILHO, 2009).

O resultado encontrado por Silva Filho pode ser validado com os resultados encontrados por Andres Junior (2015), que realizou ensaios de coagulação/floculação usando como coagulante o  $\text{FeCl}_3$  e obteve um pH ótimo de 5,5

#### **4.1.4.4 Dosagem do agente de coagulação (PAC)**

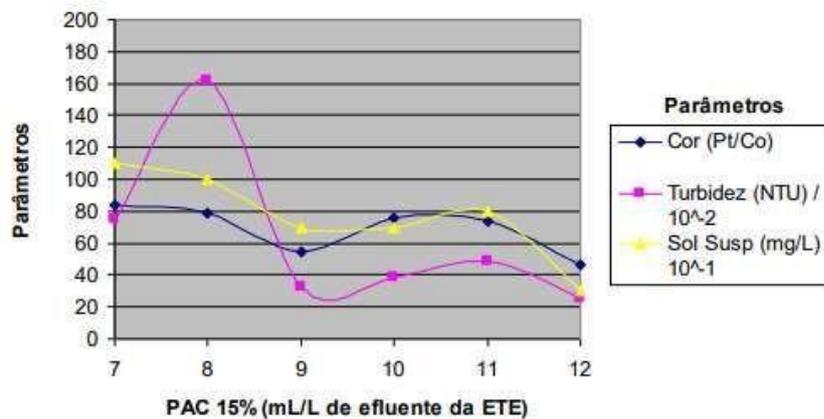
Já com os dados de pH ótimo para coagulação, Silva Filho (2009) realizou a análise da quantidade ideal de dosagem do agente coagulante (PAC). Os parâmetros utilizados para caracterização do efluente foram cor aparente, sólidos suspensos totais e turbidez. Os resultados obtidos podem ser analisados na Tabela 9 e Figura 8.

Tabela 9 – Valores de remoção dos parâmetros de acordo com a variação na dosagem de agente coagulante.

Amostras	Dosagem mL - PAC 15% v/v / L de efluente	Dosagem PAC (mg/L de efluente)	Cor (Pt-Co)	Remoção (%)	SST (mg/L)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Efluente tratado	--	--	180,0	--	21,0	--	10,70	--
Clarificado da coagulação/floculação	7,0	1323,0	84,0	53,3	11,0	47,6	0,75	93,0
	8,0	1512,0	79,0	56,1	10,0	52,4	1,62	84,9
	9,0	1701,0	55,0	69,4	7,0	66,8	0,32	97,0
	10,0	1890,0	76,0	57,8	7,0	66,8	0,38	96,4
	11,0	2079,0	74,0	58,9	8,0	61,9	0,48	95,5
	12,0	2268,0	46,0	74,4	3,0	85,7	0,25	97,7

Fonte: Silva Filho (2009).

Figura 8 – Influência da dosagem de PAC na coagulação/floculação



Fonte: SILVA FILHO (2009).

Ao realizar a análise da Figura 8 pode-se observar que a dosagem do agente coagulante PAC que obteve maior sucesso na diminuição dos parâmetros estipulados foi a de concentração 2.268 mg/L de efluente. Ou seja, realizada na dosagem de 12 mL de solução de PAC a 15% (v/v) / L de efluente.

Determinados o pH e concentração de agente coagulante ideais, foram conduzidos novos ensaios por Silva Filho (2009) nas condições especificadas, isto é: pH = 6,0 e dosagem de PAC = 12 mL/L de efluente tratado. Avaliou-se então a

eficiência de remoção dos parâmetros exigidos a reutilização do efluente. Na Tabela 10 são apresentados os resultados obtidos por Silva Filho (2009).

Tabela 10 – Caracterização do efluente após coagulação/floculação em pH = 6,0 e 12 mL de solução de PAC /L de efluente tratado.

<b>Parâmetros</b>	<b>Resultados do efluente tratado da ETE</b>	<b>Resultados após coagulação/floculação</b>
<b>Alcalinidade Total</b>	850	169
<b>Alcalinidade ao Bicarbonato</b>	850	169
<b>Alumínio</b>	< 0,1	0,1
<b>Cálcio</b>	< 0,5	0,558
<b>Cloretos</b>	76,9	298
<b>COT</b>	8,5	5,5
<b>DBO</b>	< 6	6
<b>DQO</b>	45	22
<b>Dureza</b>	< 5	< 5
<b>Ferro</b>	0,2	0,1
<b>Fosfatos</b>	3	< 1
<b>Magnésio</b>	< 0,5	< 0,5
<b>Manganês</b>	< 0,01	< 0,01
<b>Sufactantes</b>	< 0,1	< 0,1
<b>Nitrogênio amoniacal</b>	3,7	1,9
<b>pH</b>	7,3	5,6
<b>SDT</b>	1109	1429
<b>Sílica</b>	5	5
<b>SST</b>	13	2
<b>Sulfatos</b>	0,8	737,5
<b>Sulfetos</b>	0,011	0,005
<b>Turbidez</b>	9,2	0,75
<b>Cobre</b>	< 1	< 0,005
<b>Condutividade</b>	1827	2450
<b>Óleos e Graxas</b>	0,8	< 1
<b>Tetracloro de Carbono</b>	< 1	< 1

Fonte: Silva Filho Adaptado (2009).

Na Figura 9 pode-se observar a diferença visual do efluente tratado, antes e após a coagulação/floculação.

Figura 9 – Comparação visual do efluente tratado antes (1) e após (2) coagulação/floculação com agente PAC



Fonte: Silva Filho (2009).

Silva Filho (2009) analisou que os parâmetros que necessitavam ser reduzidos se tratavam, na maioria, de cátions (amônio) e ânions (bicarbonatos, sulfatos). Desta forma, uma opção para remoção destes componentes seria o tratamento com resinas de troca iônica.

Para que não houvesse contaminação das resinas houve necessidade de adição de uma filtração direta. Onde estudou-se a utilização de dois filtros, sendo eles o filtro *bag* (Figura 10) e o filtro areia, antes da entrada do efluente no filtro de resina, evitando assim a deposição de carga indesejada na resina. Na Tabela 11 pode-se comparar os resultados obtidos com os dois tipos de filtros empregados.

Figura 10 – Filtro bag para remoção de cargas grosseiras do efluente tratado



Fonte: Autor (2023).

Tabela 11 – Comparação do efluente após filtragem com filtros bag e filtro de areia

Amostras	pHi	pHf	SDT (mg/L)	Remoção (%)	SST (mg/L)	Remoção (%)	Turbidez (NTU)	Remoção (%)
Clarificado da coagulação/floculação	5,6	5,6	1429	--	2	--	0,75	--
Coagulação/floculação/filtro bag	5,6	5,6	1144	19,9	2	0	0,62	17,3
Coagulação/floculação/filtro areia	5,6	5,5	674	52,8	1	50	0,43	42,7

Fonte: Silva Filho (2009).

Com a análise da Tabela 11 pode-se observar que houve remoção de sólidos dissolvidos, sólidos suspensos e turbidez na utilização dos dois tipos de filtros, *bag* e areia. Porém, os valores de redução foram superiores quando se empregou o filtro de areia.

#### 4.1.5 Resinas de Troca Iônica

Como indicado no item anterior, Silva Filho (2009) analisou o impacto da adição de outra etapa de tratamento para remoção dos parâmetros de caracterização do efluente para reuso em caldeiras e torres de resfriamento. Na Tabela 12 pode-se observar os valores encontrados após tratamento sequencial de coagulação/floculação/filtração em filtro de areia/resina de troca iônica.

Tabela 12 – Parâmetros de caracterização do efluente tratado coagulação/floculação/filtração em filtro de areia/resina de troca iônica

<b>Parâmetros</b>	<b>Efluente após o tratamento sequencial</b>
<b>Alcalinidade Total</b>	268
<b>Alcalinidade ao Bicarbonato</b>	0
<b>Alumínio</b>	< 0,01
<b>Cálcio</b>	< 0,5
<b>Cloretos</b>	135
<b>COT</b>	< 5
<b>DBO</b>	< 2
<b>DQO</b>	< 5
<b>Dureza</b>	8
<b>Ferro</b>	< 0,01
<b>Fosfatos</b>	< 0,02
<b>Magnésio</b>	< 0,5
<b>Manganês</b>	< 0,01
<b>Surfactantes</b>	0,15
<b>Nitrogênio amoniacal</b>	< 0,1
<b>pH</b>	8,1
<b>SDT</b>	34
<b>Sílica</b>	5
<b>SST</b>	2
<b>Sulfatos</b>	1
<b>Sulfetos</b>	< 1
<b>Turbidez (NTU)</b>	0,31
<b>Cobre</b>	< 0,005
<b>Condutividade (µS/cm)</b>	140
<b>Óleos e Graxas</b>	< 1
<b>Tetracloroeto de Carbono</b>	< 1

Fonte: Silva Filho (2009).

Outra comparação que pode ser realizada é do efluente após o tratamento já existente na indústria e o efluente após tratamento terciário de coagulação/floculação/filtração com filtro areia/resina de troca iônica estudado por Silva Filho (2009). Observando-se a Tabela 13, percebem-se resultados satisfatórios de redução de diversos parâmetros importantes na determinação da qualidade da água, como, turbidez (96,6%), condutividade (92,3%), SDT (96,9%), SST (84,6%), DQO (88,9%), DBO (66,7%), entre outros.

Tabela 13 - Comparação dos parâmetros de caracterização do efluente tratado com valores antes do tratamento sequencial realizado no estudo e após

Parâmetros	Resultados do Efluente Final da ETE	Efluente após o tratamento sequencial	Remoção (%)
Alcalinidade Total	850	268	68,5
Alcalinidade ao Bicarbonato	850	0	100
Alumínio	< 0,1	< 0,01	> 90,0
Cálcio	< 0,5	< 0,5	--
Cloretos	76,9	135	--
COT	8,5	< 5	> 41,2
DBO	< 6	< 2	> 66,7
DQO	45	< 5	> 88,9
Dureza	< 5	8	--
Ferro	0,2	< 0,01	> 95
Fosfatos	3	< 0,02	> 99
Magnésio	< 0,5	< 0,5	--
Manganês	< 0,01	< 0,01	--
Surfactantes	< 0,1	0,15	--
Nitrogênio amoniacal	3,7	< 0,1	> 97
pH	7,3	8,1	--
SDT	1109	34	96,9
Sílica	5	5	--
SST	13	2	84,6
Sulfatos	0,8	1	--
Sulfetos	0,011	< 1	--
Turbidez (NTU)	9,2	0,31	96,6
Cobre	< 1	< 0,005	> 99
Condutividade	1827	140	92,3
Óleos e Graxas	0,8	< 1	--
Tetracloroeto de Carbono	< 1	< 1	--

Fonte: Silva Filho (2009).

Silva Filho (2009) também realizou a análise comparativa entre o aspecto visual do efluente em todas as etapas de tratamento listados neste trabalho. Apresentando na Figura 11 o efluente bruto (1), efluente após tratamento na ETE (2), efluente obtido após coagulação/floculação/ filtração com filtro areia (3), e do tratamento sequencial: coagulação/floculação/filtração com filtro areia/ resina de troca iônica (4).

Figura 11 – Comparação entre as etapas de tratamento do efluente da indústria estudada



Fonte: Silva Filho (2009).

## 4.2 APLICAÇÃO DE TECNOLOGIA PARA REUSO DE ÁGUA NA INDÚSTRIA DE REFRIGERANTES

No estudo realizado por Alves (2012) o efluente gerado de uma indústria de refrigerantes após passar pelos tratamentos primários foi caracterizado e tratado pelos processos de coagulação/floculação, filtração direta e oxidação por cloro. Os resultados encontrados são apresentados nos próximos tópicos

### 4.2.1 Resultados do monitoramento do efluente gerado pela indústria

Alves (2012) realizou a caracterização dos afluentes e efluentes vindos da ETE respectivamente, os dados relativos aos resultados das coletas realizadas estão apresentados nas Tabelas 14 e 15 mostradas abaixo.

Tabela 14 – Resultados do monitoramento do afluente da ETE

Parâmetros	Unidade	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6	Coleta 7	Coleta 8
pH	adimensional	4,38	5,76	4,85	4,76	4,64	4,58	4,91	5,31
Condutividade	$\mu\text{S}/\text{cm}$	242	569	662	795	497	850	212	615
Cor Aparente	uH	263	824	1.280	2.310	858	1.724	720	1.052
Cor Real	uH	187	17	268	71	6	533	13	142
Turbidez	uT (UNT)	283	99,3	252	444	134	610	157	175
Res. Sedimentáveis	mL/L.h	15	0,7	28	<1	11	130	35	14,35
Sólidos Totais	mg/L	1.007	3.991	1.410	2.015	1.461	2.458	1.388	2.701
Sólidos Totais Fixos	mg/L	296	807	854	1.368	745	1.383	643	830
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	711	3.184	556	647	716	1.075	745	1.870
Sólidos Susp. Totais	mg/L	330	56	220	260	197	252	114	138
Sólidos Susp. Fixos	mg/L	90	11	52	76	17	110	12	31
Sólidos Susp. Voláteis	mg/L	240	45	168	184	180	142	102	106
Sólidos Dissolvidos	mg/L	677	3.935	1.190	1.989	1.264	2.206	1.400	2.563
Sólidos Dis. Fixos	mg/L	206	796	802	1.292	728	1.273	1.127	799
Sólidos Dis. Voláteis	mg/L	471	3.139	388	463	536	933	273	1.764
DQO	mg $\text{O}_2/\text{L}$	6.010	5.715	1.661	3.232	3.523	6.682	2.150	3.688
DBO	mg $\text{O}_2/\text{L}$	4.521	4.306	1.393	2.260	3.260	4.810	1.826	2.850
Dureza Total	mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	42	42,3	49,9	46,3	35	54,2	28,5	46,1
Alcalinidade Bicarbonato	mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	70	527	247	505	336	334	652	387
Alcalinidade Carbonato	mg $\text{CaCO}_3/\text{L}$	0	0	0,0	0	0,0	0	35,3	0,0
Sulfato	mg $\text{SO}_4/\text{L}$	8,56	9,96	24,8	21,4	14,3	26,1	63,2	17,3
Cloretos	mg $\text{Cl}^-/\text{L}$	45,7	47,6	370	290	75	20,9	155	208
Sódio	mg Na/L	34,1	147	368	280	200	459	384	257
Potássio	mg K/L	23,8	18	0,6	21,5	20,4	30,9	3,78	9,3
Ferro	mg Fe/L	6,7	3,34	4,25	6,4	2,3	35	4,48	3,79
Manganês	mg Mn/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,11	<0,01	<0,01
Cobre	ma Cu/L	0,36	0,31	0,39	0,25	0,38	0,43	0,07	0,35
Zinco	mg Zn/L	0,38	0,14	0,23	0,26	0,19	0,43	0,14	0,19
Cálcio	mg Ca/L	7,02	5,01	8,81	5	4,72	6,29	3,45	6,91
Magnésio	mg Mg/L	3,54	3,48	3,6	3,2	2,02	11,49	2,71	3,54
Chumbo	mg Pb/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
Cádmio	mg Cd/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Fonte: Alves (2012)

Tabela 15 – Resultados do monitoramento do efluente da ETE

Parâmetros	Unidade	Coleta 1	Coleta 2	Coleta 3	Coleta 4	Coleta 5	Coleta 6	Coleta 7	Coleta 8
<b>pH</b>	adimensional	7,49	8,75	7,6	7,23	7,84	7,22	7,08	7,53
<b>Condutividade</b>	µS/cm	1.664	1.085	1.178	1.163	986	1.758	213	1.372
<b>Cor Aparente</b>	uH	84	151	185	175	101	91	66	96
<b>Cor Real</b>	uH	33	35	5	64	5	67	26	65
<b>Turbidez</b>	uT (UNT)	8,37	10,8	13,9	13,3	5,84	6,73	4,28	6,28
<b>Res. Sedimentáveis</b>	mL/L.h	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
<b>Sólidos Totais</b>	mg/L	2.081	1.856	1.788	1.817	1.567	2.042	1.449	1.805
<b>Sólidos Totais Fixos</b>	mg/L	1.832	1.596	1.678	1.755	1.533	1.874	1.031	1.704
<b>Sólidos Totais Voláteis</b>	mg/L	149	260	110	62	34	168	418	101
<b>Sólidos Susp. Totais</b>	mg/L	15,3	13	32,5	12,6	31	22	50	27
<b>Sólidos Susp. Fixos</b>	mg/L	3,33	2	5	2,1	7	2	8	5
<b>Sólidos Susp. Voláteis</b>	mg/L	12	11	27,5	10,5	24	20	42	22
<b>Sólidos Dissolvidos</b>	mg/L	2.066	1.843	1.756	1.804	1.536	2.020	1.399	1.778
<b>Sólidos Dis. Fixos</b>	ma/L	1.929	1.594	1.673	1.753	1.526	1.872	1.023	1.699
<b>Sólidos Dis. Voláteis</b>	mg/L	137	249	82,5	51	10	148	376	79
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	330	346	74	136	177	85	261	131
<b>DBO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	277	232	23	50	128	26	77	77
<b>Dureza Total</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	30	38,1	40,7	31,1	42	33,8	36,9	37,9
<b>Alcalinidade Bicarb</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	1.199	1.380	1.055	956	967	945	956	956
<b>Alcalinidade Carb.</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	152	105	0	0	70,5	161	35,3	116
<b>Sulfato</b>	mg SO <sub>4</sub> /L	14,8	25	27,9	20	22,5	22,1	36,1	22,3
<b>Cloretos</b>	mg Cl <sup>-</sup> /L	364	334	602	310	236	58,2	128	147
<b>Sódio</b>	mg Na/L	355	303	670	560	122	802	498	462
<b>Potássio</b>	mg K/L	29,7	32	1,1	31,2	15,2	10,6	3,75	12,9
<b>Ferro</b>	mg Fe/L	1,62	2,24	1,43	1,49	1,43	0,4	1,2	0,91
<b>Manganês</b>	mg Mn/L	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,08	0,007	<0,01	0,07
<b>Cobre</b>	ma Cu/L	0,29	0,43	0,36	0,27	0,36	0,11	0,06	0,23
<b>Zinco</b>	mg Zn/L	0,13	0,09	0,03	0,09	0,03	0,05	0,02	0,04
<b>Cálcio</b>	mg Ca/L	5,38	6,8	7	4,6	8,37	5,13	3,83	6,75
<b>Magnésio</b>	mg Mg/L	2,7	2,18	2,67	2,4	2,09	1,79	1,72	1,94
<b>Chumbo</b>	mg Pb/l	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01
<b>Cádmio</b>	mg Cd/L	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001	<0,001

Fonte: Alves (2012).

Os parâmetros encontrados do afluente da ETE mostram uma alta variação de DBO ao longo das coletas, de 1.800 a 4.500 mg O<sub>2</sub>/L, baixos valores de resíduos sedimentáveis e pH relativamente ácido. Estes parâmetros são esperados devido aos efluentes gerados em indústria de bebidas serem ricos em açúcares dos xaropes e dos extratos vegetais utilizados nas formulações das bebidas (VICENTE, 2019).

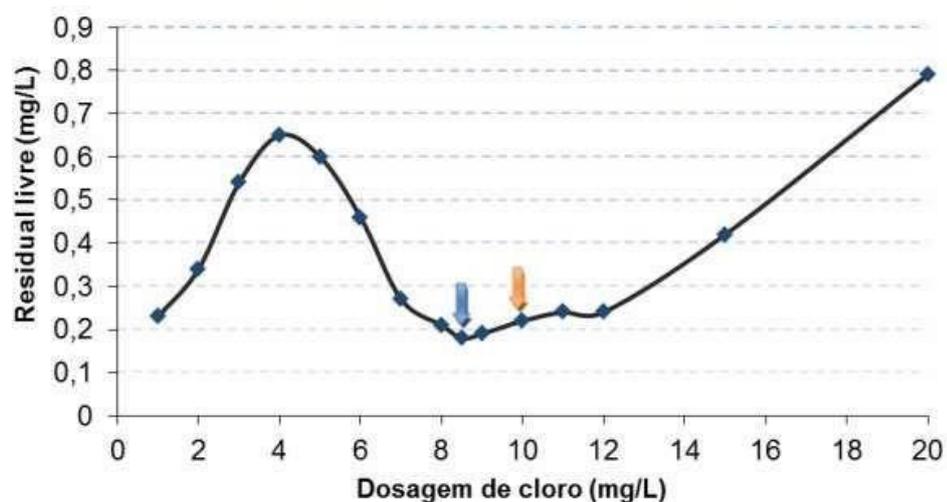
De acordo com os resultados encontrados na tabela 15, onde são apresentados os valores encontrados na caracterização do efluente da ETE. Observa-se que as amostras estudadas não apresentaram variações no resultado, mostrando a baixa variabilidade no processo de tratamento. Alves (2012) destaca os baixos valores de

turbidez, que são fundamentais para definição do tratamento físico químico do estudo, e cor aparente corrobora para execução da tecnologia de oxidação com cloro.

#### 4.2.2 Resultados do ensaio de demanda de cloro

Para o ensaio de demanda de cloro foi utilizado por Alves (2012) o efluente proveniente da saída da ETE. Por se tratar de um efluente com baixo teor de carga orgânica, a realização do teste teve como intuito determinar a dosagem ideal, e não excessiva, de cloro, para que obtenha uma redução de cor e minimize a formação de subprodutos. Este ponto, como visto em tópicos anteriores foi obtido pela teoria do *break point*, conforme Figura 12.

Figura 12 – Resultados do ensaio de demanda de cloro na água de estudo.



Fonte: Alves (2012).

Analisando-se a Figura 12, pode-se observar a formação de cloro residual combinado até aproximadamente 0,7 mg  $Cl_2/L$ . A partir daí têm-se o início da etapa de oxidação do efluente, com a redução gradativa do cloro residual. O ponto encontrado para o *break point* foi entre as dosagens de 8 e 10 mg  $Cl_2/L$ , apresentando uma concentração de cloro residual de 0,2 mg  $Cl_2/L$  (ALVES, 2012).

### 4.2.3 Resultados do potencial de formação de subprodutos

Para determinação do potencial de formação de subprodutos, Alves (2012) realizou preliminarmente a análise de dosagem de excesso de cloro que após 7 dias de contato, em temperatura de 25 °C, resultasse em um teor de cloro residual entre 3,0 e 5,0 mg/L. As dosagens de cloro foram realizadas seguindo a Tabela 16, resultando em 3,7 mg/L de cloro residual livre em uma dosagem de 35 mg/L Cl<sub>2</sub>.

Tabela 16 – Dosagens em excesso de cloro para determinação do residual livre entre 3,0 e 5,0.

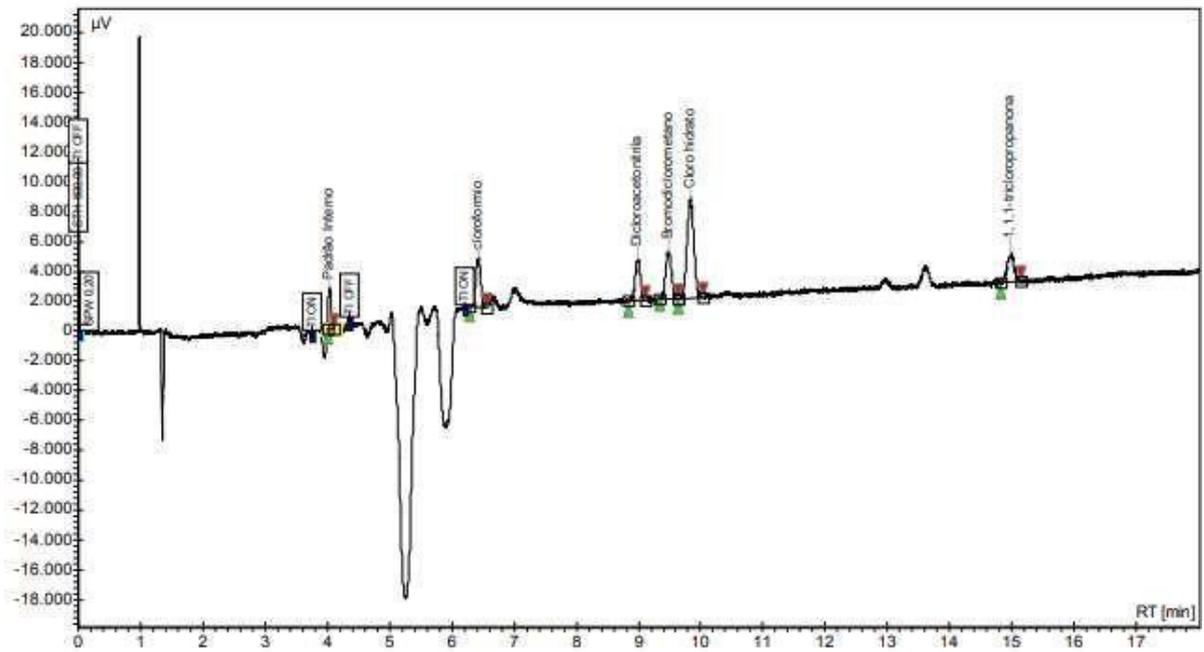
Dosagem mg/L Cl <sub>2</sub>	Cloro residual livre mg/L Cl <sub>2</sub>
25	0,25
30	0,23
35	3,7
40	3,3
50	14

Fonte: Alves (2012).

Realizou-se então a análise cromatográfica para os tempos de contato de 30 minutos e 7 dias, os resultados dos subprodutos obtidos por Alves (2012) são mostrados nas Figuras 13 e 14.

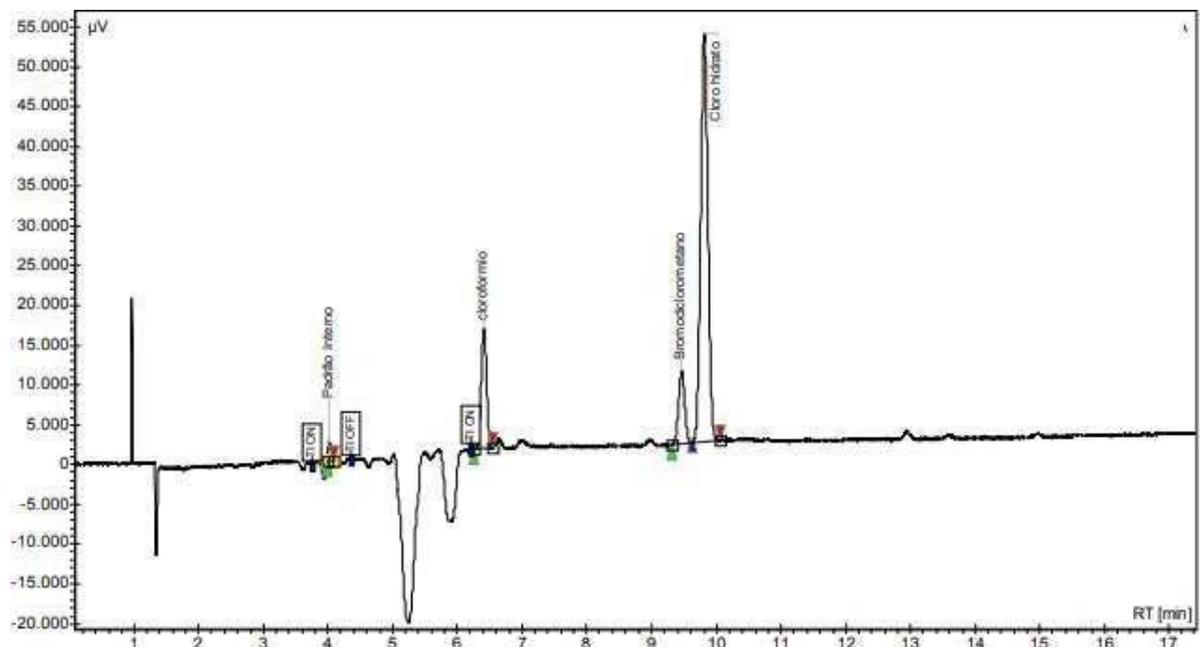
A partir da análise dos cromatogramas observa-se a formação dos subprodutos clorofórmio, bromodiclorometano e cloro hidrato nos dois períodos estudados. A Dicloroacetona e 1,1,1 – Tricloropropanona não foram formados no tempo de contato de 7 dias.

Figura 13 – Cromatografia para o tempo de 30 minutos.



Fonte: Alves (2012).

Figura 14 – Cromatografia para o tempo de 7 dias



Fonte: Alves (2012).

Desta forma, Alves (2012) realizou o cálculo do ponto de formação (PF), que se refere à diferença da quantidade encontrada no potencial de formação encontrado em 7 dias corridos e os primeiros 30 minutos, os dados encontrados são apresentados na Tabela 17.

Tabela 17 – Resultados potencial de formação

Subprodutos	Tempo 30 min	Tempo 7 dias	Potencial (variação) $\Delta$ PF ( $\mu\text{g/L}$ )
Clorofórmio ( $\mu\text{g/L}$ )	109,1	572,42	463,32
Dicloroacetoneitrila ( $\mu\text{g/L}$ )	8,94	0	Não gerou potencial positivo
Bromodiclorometano ( $\mu\text{g/L}$ )	18,03	64,84	46,81
Cloro hidratado ( $\mu\text{g/L}$ )	58,17	562,7	504,53
1,1,1 – Tricloropropanona ( $\mu\text{g/L}$ )	13,79	0	Não gerou potencial positivo

Fonte: Alves (2012).

Ao analisar a Tabela 17 observa-se que a água do estudo possui um potencial de formação do Clorofórmio (463,32  $\mu\text{g/L}$ ) e Cloro hidratado (504,53  $\mu\text{g/L}$ ), porém não apresenta potencial de formação para Dicloroacetoneitrila e 1,1,1 – Tricloropropanona. Desta forma, apesar da redução do DBO e DQO a técnica de oxidação ainda não é o suficiente para tratamento da água de efluente visando reuso, visto o alto potencial de formação de subprodutos.

#### 4.2.4 Ensaio de tratabilidade por filtração direta

Alves (2012) realizou análises para avaliação da tecnologia de filtração direta, testando os coagulantes cloreto férrico, policloreto de alumínio e sulfato de alumínio. Para avaliação da eficiência dos coagulantes foi realizada análise dos parâmetros de cor e turbidez.

#### **4.2.4.1 Cloreto Férrico**

Alves (2012) realizou o estudo da cor e turbidez variando a concentração do cloreto férrico entre 10mg/L e 70mg/L, com pH de 6,8 e 8,5. Os melhores resultados foram encontrados na área da faixa de concentração de 30 a 40 mg/L no pH entre 7,00 e 7,40, observa-se a redução da cor de forma eficiente, obtendo resultado de 1 uH e resultados significativos de remoção de turbidez, ficando abaixo de 1,0 uT.

#### **4.2.4.2 Policloreto de Alumínio (PAC)**

Alves (2012) também analisou o policloreto de alumínio como coagulante para o tratamento da água do efluente estudado. A remoção de cor não foi tão eficiente em comparação ao cloreto férrico, porém a mesma ficou abaixo de 5,0 uH ao utilizar o PAC. Para alcance deste resultado, utilizou-se a concentração de 60 mg/L do coagulante, em um pH de 7,0 a 7,2.

Para a concentração de 60 mg/L e pH entre 7,0 e 7,2 obtêm-se uma remoção de turbidez eficiente alcançando uma remoção de Turbidez para valores entre 0,3 e 0,4 uT.

#### **4.2.4.3 Sulfato de Alumínio**

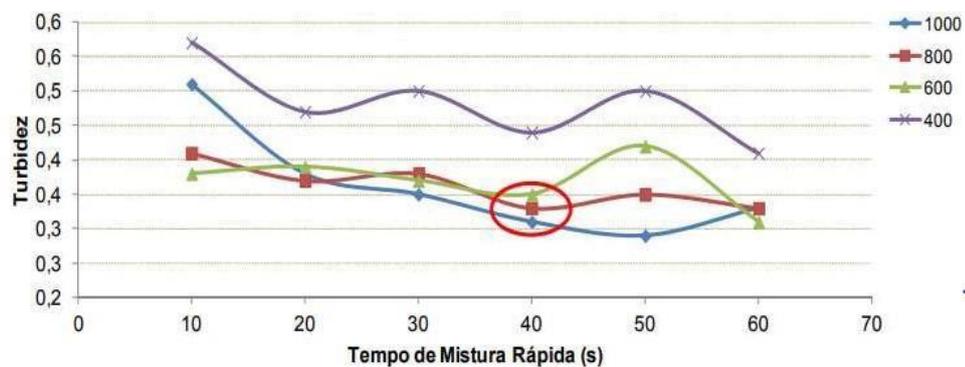
Os resultados da utilização do sulfato de alumínio também foram estudados por Alves (2012). Ao analisar a melhor conformação dos parâmetros de concentração e pH, obteve-se a concentração de 30 mg/L e pH igual à 7,0 como a ideal para remoção mais eficiente da cor e turbidez do efluente a ser tratado.

Os resultados encontrados com os três coagulantes foram analisados e comparados por Alves (2012): cloreto férrico, PAC, sulfato de alumínio. Percebe-se que os três coagulantes apresentaram resultados satisfatórios para remoção dos parâmetros analisados de cor e turbidez. Para escolha do coagulante utilizado no estudo Alves (2012) utilizou como parâmetro a reminiscência de cor aparente abaixo de 5,0 uH, pH próximo a 7,0 e a menor concentração de coagulante. Definindo assim o sulfato de alumínio com a concentração de 30 mg/L.

#### 4.2.3 Resultados da otimização de mistura rápida com sulfato de alumínio

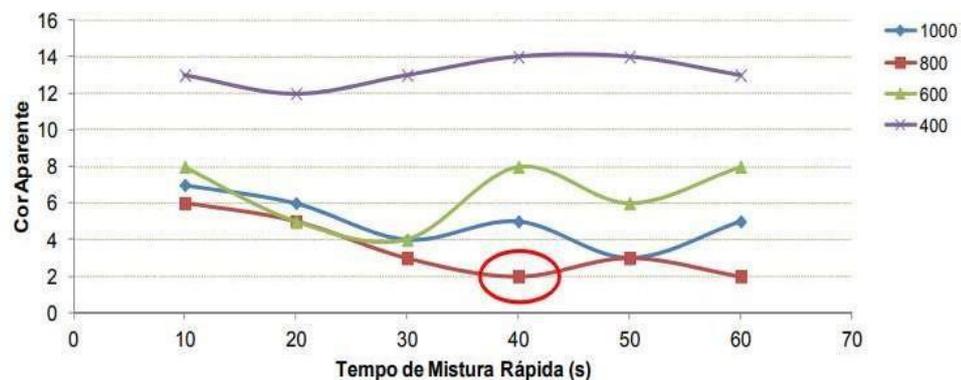
Os parâmetros de avaliação utilizados foram a turbidez remanescente e a cor aparente. Os valores encontrados para os gradientes de 1.000, 800, 600 e 400  $s^{-1}$ , em função do tempo de mistura são apresentados nas Figuras 15 e 16.

Figura 15 – Resultados turbidez remanescente em função do tempo, para diversos gradientes de mistura rápida.



Fonte: Alves (2012).

Figura 16 – Resultados cor aparente em função do tempo, para diversos gradientes de mistura rápida.

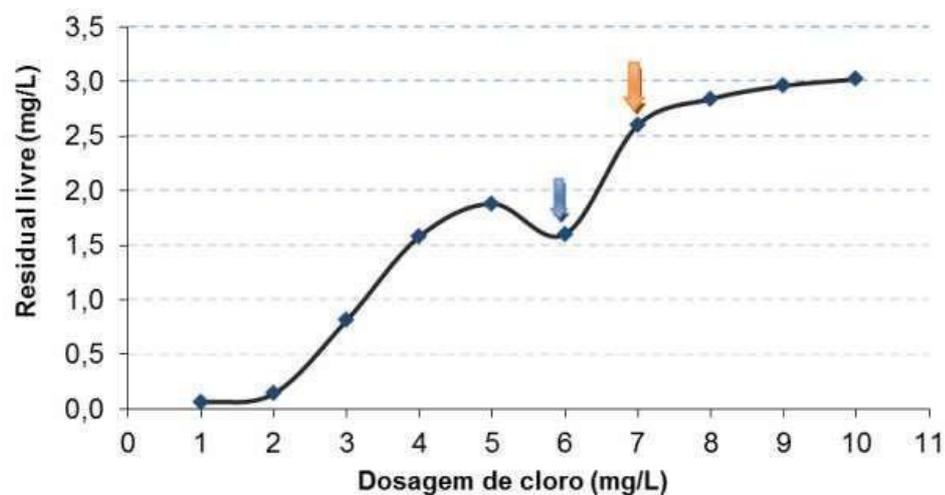


Fonte: Alves (2012).

Ao analisar as Figuras 15 e 16 pode-se observar que a conformação que apresentou maior eficiência na remoção da cor aparente e turbidez remanescente foi o gradiente de mistura rápida de  $800\text{ s}^{-1}$  e tempo de 40 segundo de mistura.

Após definição dos parâmetros operacionais foi realizada a coagulação com sulfato de alumínio e filtração direta e realizada a coleta para determinação da demanda de cloro, conforme apresentado na Figura 18.

Figura 18 – Resultados ensaio de demanda de cloro da água tratada por filtração direta.



Fonte: Alves (2012).

Ao avaliar a Figura 18, obtêm-se o valor de concentração de  $7\text{ mg Cl}_2/\text{L}$  e residual em torno de  $2,5\text{ mg Cl}_2/\text{L}$  que foi utilizada no ensaio de pós-oxidação.

Os resultados comparativos para caracterização da água tratada por filtração direta e a água tratado por filtração direta pós-oxidada com cloro apresentados na Tabela 18.

Tabela 18 – Caracterização físico-química da água tratada por filtração direta e de água tratada por filtração direta pós-oxidada com cloro

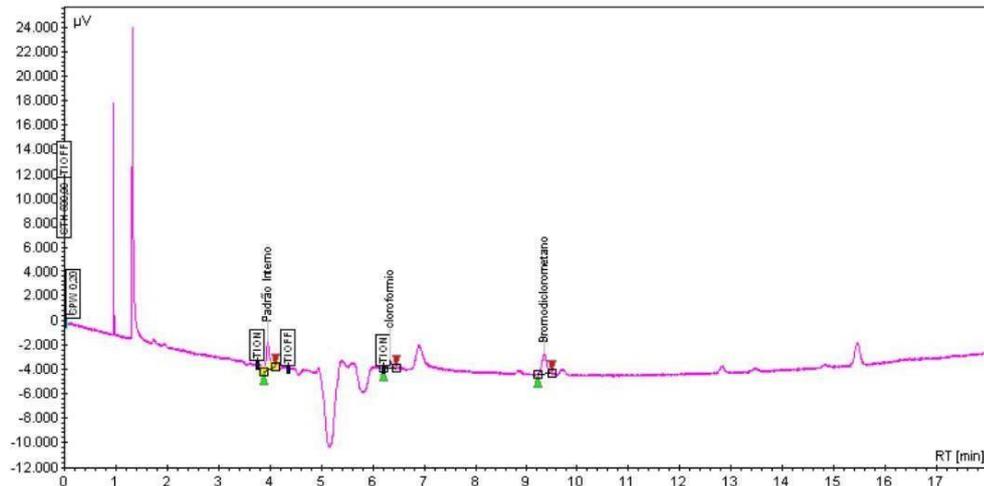
Parâmetros	Unidades	Tratada	Tratada com cloro
pH	adimensional	8,17	8,31
Condutividade	µS/cm	847	814
Cor Aparente	uH	20	26
Cor Real	uH	15	<1
Turbidez	uT (UNT)	0,55	3,37
Resíduos Sedimentáveis	mL/L.h	<0,1	<0,1
Sólidos Totais	mg/L	999	987
Sólidos Totais Fixos	mg/L	994	932
Sólidos Totais Voláteis	mg/L	55	55
Sólidos Suspensos Totais	mg/L	10	3
Sólidos Suspensos Fixos	mg/L	1	1
Sólidos Suspensos Voláteis	mg/L	9	2
Sólidos Dissolvidos	mg/L	989	984
Sólidos Dissolvidos Fixos	mg/L	953	931
Sólidos Dissolvidos Voláteis	mg/L	46	53
DQO	mg O <sub>2</sub> /L	<10	<10
DBO	mg O <sub>2</sub> /L	2	2
Dureza Total	mg CaCO <sub>3</sub> /L	21	33
Alcalinidade Bicarbonato	mg CaCO <sub>3</sub> /L	592	503
Sulfato	mg SO <sub>4</sub> /L	12	10
Cloretos	mg Cl/L	350	298
Sódio	mg Na/L	371	317
Potássio	mg K/L	10	9
Ferro	mg Fe/L	0,53	0,42
Manganês	mg Mn/L	0,05	0,05
Cobre	mg Cu/L	<0,01	<0,01
Zinco	mg Zn/L	0,195	0,01
Cálcio	mg Ca/L	4,26	7,92
Magnésio	mg Mg/L	1,38	1,29

Fonte: Alves (2012).

Observa-se a grande redução da cor real na amostra clorada indicando que maior parte da matéria orgânica foi oxidada. Os demais parâmetros utilizados na caracterização a água bruta (sódio, cloretos, alcalinidade e sólidos dissolvidos) não sofreram variações significativas (ALVES, 2012).

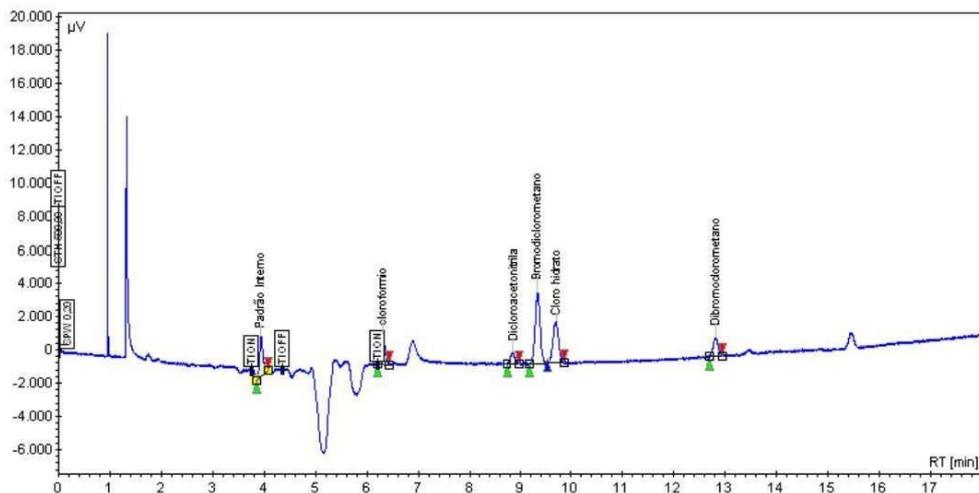
Alves (2012) também realizou o estudo do potencial de geração de subprodutos. Observa-se nas Figuras 19 e 20 abaixo as cromatografias para o tempo de 30 minutos e 24 horas, respectivamente.

Figura 19 – Cromatografia para o tempo de 30 min



Fonte: Alves (2012).

Figura 20 – Cromatografia para o tempo de 24 horas.



Fonte: Alves (2012).

Os resultados para o cálculo do potencial de formação para o clorofórmio, Dichloroacetoneitrila, Bromodichlorometano, Cloro hidrato e Dibromodichlorometano são apresentados na Tabela 19. Onde pode-se observar que a água ao passar pelo processo de filtração direta apresenta menor potencialidade de formação de

subprodutos orgânicos halogenados, indicando que houve uma grande remoção de matéria orgânica presente na água do estudo (ALVES, 2012).

Tabela 19 – Resultados Potencial de Formação (24 horas).

Subprodutos	Tempo 30 min	Tempo 24horas	Potencial deformação
	(µg/L)	(µg/L)	ΔPF (µg/L)
Clorofórmio	26,66	53,87	27,21
Dicloroacetonitrila	<0,01	0,96	0,96
Bromodiclorometano	7,01	21,05	14,04
Cloro hidrato	<0,01	16,39	16,39
Dibromoclorometano	<0,01	3,09	3,09

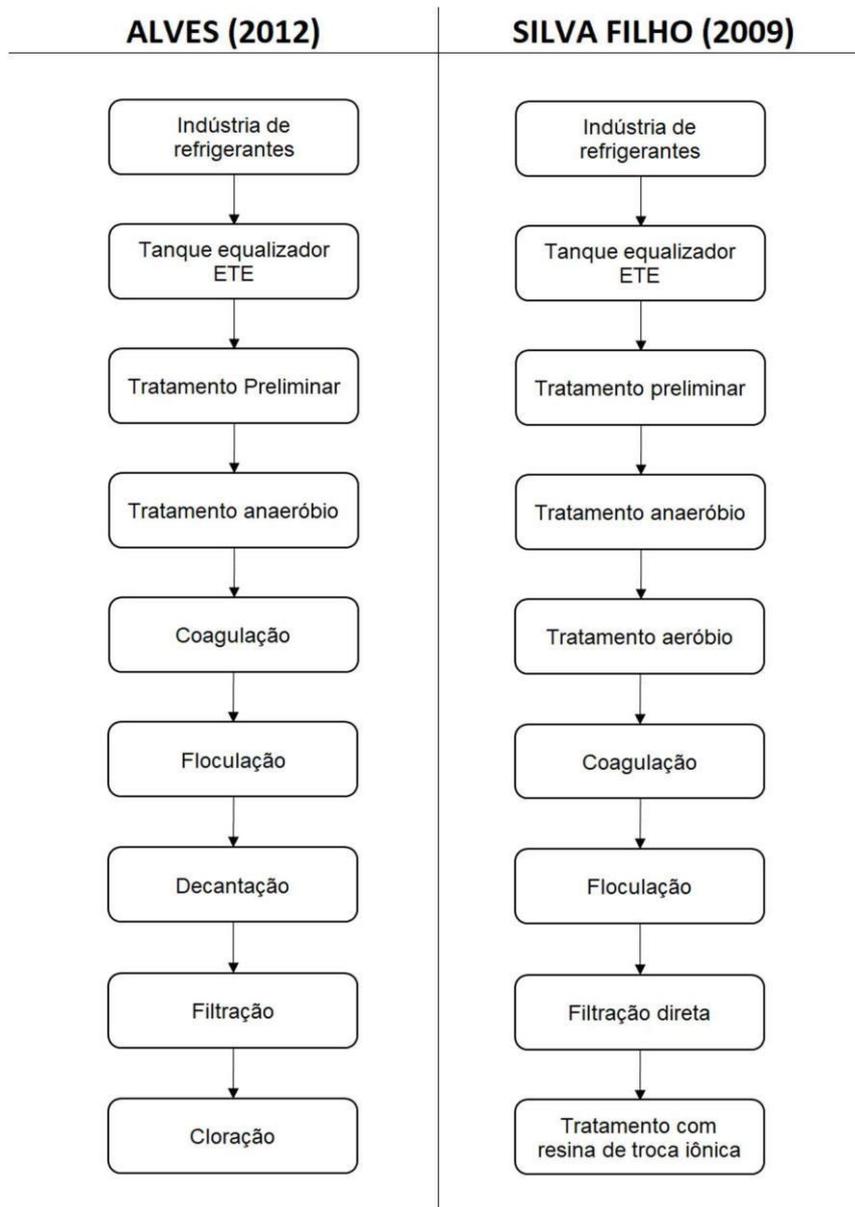
Fonte: Alves (2012)

#### 4.3 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS ENTRE OS AUTORES

Com os resultados obtidos nos dois trabalhos acima apresentados pode-se avaliar e determinar qual a melhor tecnologia para tratamento de efluente visando o reuso no sistema de utilidades de uma indústria de refrigerantes.

Os tratamentos realizados nos dois trabalhos estudados seguem apresentados na Figura 21.

Figura 21 – Comparação tecnologias de tratamento de efluentes realizados por Silva Filho (2009) e Alves (2012).



Fonte: Autor (2023).

Para realização dos resultados obtidos em cada estudo, optou-se por utilizar os parâmetros mais importantes na caracterização da água de efluentes. Sendo eles: Alcalinidade ao Bicarbonato, Cálcio, Cloretos, DBO, DQO, Dureza, Ferro, Magnésio, Manganês, SDT, SST, Sulfatos, Turbidez, Cobre. Os valores obtidos são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20 – Comparação valores encontrados nos principais parâmetros de caracterização da água para reuso.

<b>Parâmetros</b>	<b>Unidade</b>	<b>Alves (2012)</b>	<b>Silva Filho (2009)</b>
<b>Alcalinidade ao Bicarbonato</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	592	0
<b>Cálcio</b>	mg Ca/L	4,26	< 0,05
<b>Cloretos</b>	mg Cl <sup>-</sup> /L	350	135
<b>DBO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	2	<2
<b>DQO</b>	mg O <sub>2</sub> /L	<10	<5
<b>Dureza</b>	mg CaCO <sub>3</sub> /L	21	8
<b>Ferro</b>	mg Fe/L	0,53	<0,01
<b>Magnésio</b>	mg Mg/L	1,38	<0,05
<b>Manganês</b>	mg Mn/L	0,05	<0,01
<b>SDT</b>	mg/L	989	34
<b>SST</b>	mg/L	10	2
<b>Sulfatos</b>	mg SO <sub>4</sub> /L	12	1
<b>Turbidez</b>	uT (UNT)	0,55	0,31
<b>Cobre</b>	mg Cu/L	<0,01	< 0,005

Fonte: Alves (2012), Silva Filho (2009).

Pode-se observar analisando a Tabela 20 que os tratamentos escolhidos por Silva Filho obtiveram valores mais baixos para os principais parâmetros de caracterização da água para reuso, se comparado com os resultados obtidos por Alves. Porém, visto que o tratamento inicial da indústria estudada por Silva Filho apresenta mais etapas de tratamento (etapas aeróbia e anaeróbia), é indicado que se avalie a porcentagem de remoção das tecnologias estudadas pelos dois artigos. Desta forma, pode-se obter um resultado mais preciso de qual é metodologia mais indicada para tratamento de efluente de uma indústria de refrigerantes, visando reuso. Nas Tabelas 21 e 22 pode-se observar a porcentagem de remoção das tecnologias utilizadas.

Tabela 21 – Resultados da remoção após tratamento do efluente com coagulação/floculação, filtração direta e resina de troca iônica realizado por Silva Filho

Parâmetros	Resultados do Efluente Final da ETE	Efluente após o tratamento sequencial	Remoção (%)
Alcalinidade ao Bicarbonato	850	0	100
Cálcio	< 0,5	< 0,5	--
Cloretos	76,9	135	--
DBO	< 6	< 2	> 66,7
DQO	45	< 5	> 88,9
Dureza	< 5	8	--
Ferro	0,2	< 0,01	> 95
Magnésio	< 0,5	< 0,5	--
Manganês	< 0,01	< 0,01	--
SDT	1109	34	96,9
SST	13	2	84,6
Sulfatos	0,8	1	--
Turbidez (NTU)	9,2	0,31	96,6
Cobre	< 1	< 0,005	> 99

Fonte: Silva Filho (2009)

Tabela 22 – Resultados da remoção após tratamento do efluente com coagulação/floculação, filtração e oxidação com cloro realizado por Alves

Parâmetros	Resultados do Efluente Final da ETE	Efluente após o tratamento sequencial	Remoção (%)
Alcalinidade ao Bicarbonato	1052	503	52,2
Cálcio	6	7,92	--
Cloretos	272	298	--
DBO	111	2	98,2
DQO	193	<10	>94
Dureza	36	21	42,2
Ferro	1	0,42	68,7
Magnésio	2	1,29	41,0
Manganês	0,05	0,05	--
SDT	1775	984	44,6
SST	25	3	88,2
Sulfatos	24	10	58,0
Turbidez (NTU)	8,7	3,4	61,2
Cobre	0,26	<0,01	>96

Fonte: Alves (2012).

Ao analisar as Tabelas 21 e 22 percebe-se um crescimento nos dois estudos da quantidade de cloretos, o crescimento de tal parâmetro indica maior possibilidade de corrosão nos sistemas de utilidades.

A redução nos parâmetros de sulfato, magnésio e dureza no estudo realizado por Alves indica uma menor propensão de ocorrência de incrustações nas tubulações

do sistema de utilidades que utilizará a água de reuso, se comparado com o estudo realizado por Silva Filho.

A avaliação do comportamento dos parâmetros de SDT, SS e ferro indica a propensão da água de reuso corroer o sistema de utilidades. Realizando esta análise pode-se observar a redução do parâmetro de SDT maior no estudo realizado por Silva Filho. Porém, observa-se também que os parâmetros de SST e ferro são removidos em maior porcentagem no trabalho realizado por Alves.

Dentre os métodos de tratamento estudados neste trabalho, o que melhor se adequa à indústria de refrigerantes situada no Cabo de Santo Agostinho é o tratamento por coagulação/floculação, seguido por filtração direta e troca iônica. Tal metodologia é indicada devido a satisfatória redução nos principais parâmetros estudados. Outro fator positivo na metodologia estudada por Silva Filho é a facilidade de obtenção dos materiais para realização do tratamento indicado, visto que tais materiais e equipamentos são comumente utilizados no processo de produção do refrigerante.

## 5. CONCLUSÃO

Sendo a água um bem comum, o estudo da reutilização da mesma deve ocupar espaço nos planos das grandes consumidoras deste bem. Devido seu alto consumo, a indústria de produção e envase de refrigerantes deve se manter atualizada nas diversas tecnologias que propiciam a redução do consumo da água.

Observou-se como etapa primordial para o tratamento dos efluentes estudados a filtração direta do efluente tratado, onde nos dois trabalhos a filtração por filtro de areia mostrou-se ser a mais indicada para remoção dos parâmetros que tornam a água de reuso imprópria para uso.

A coagulação e floculação do efluente foi uma etapa também comum aos dois estudos, observou-se que a tanto a utilização de policloreto de alumínio (PAC) quanto de sulfeto de alumínio são indicados para tratamento do efluente.

O tratamento alternativo com utilização de resinas de troca iônica apresentou resultados satisfatórios para reutilização do efluente na alimentação dos sistemas de utilidades de uma indústria.

Em paralelo, a utilização da oxidação com cloro apresentou resultados ainda melhores no tratamento de efluentes. Reduzindo de forma satisfatória os principais parâmetros que devem ser observados nas águas de utilidades. Porém, deve-se avaliar para a indústria a ser implementada os potenciais de formação de subprodutos, para que não haja um efeito reverso de contaminação no sistema da unidade e no corpo receptor.

## 6. REFERÊNCIAS

- ALVES, T. A.; **Aplicação de Tecnologia para Reuso de Água na Indústria de Refrigerantes**. Pós-graduação em Tecnologia Ambiental. Ribeirão Preto, SP: Universidade de Ribeirão Preto, 2012.
- ANDRES JUNIOR, D. A.; **Tratamento de águas residuais de indústria de bebidas utilizando tratamento convencional e processos de separação de membranas**. Dissertação de Mestrado em Engenharia dos Alimentos. Erechim, Rio Grande do Sul. Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões Uri Erechim, 2015
- APHA, AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION, **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. APHA, 2005.
- CALDA, S. A. B.; SAMUDIO, E. M.M. M. Água de reuso para fins industriais estudo de caso. **Revista Brasil Para Todos**. São Paulo. v. 3, n.2, 2016.
- BARBOSA, L. A. A.; **Caracterização e análise do processo de tratamento de efluente de cervejaria para potencial reúso – comparação entre uma indústria de grande porte e uma cervejaria artesanal**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Belo Horizonte, Minas Gerais. Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais, 2019.
- BRASIL. Agência Nacional das Águas – ANA. **Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil**, 2009.
- BRASIL. Agência Nacional das Águas – ANA. **Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil**, 2011.
- BRASIL. Agência Nacional das Águas – ANA. **Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil**, 2019.
- BRASIL. **Lei Federal nº. 9433, de 8 de janeiro de 1997**. Política Nacional de Recursos Hídricos, 1997.
- BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 357, de 17 de março de 2005**. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Brasília, DF, 2005.
- BRASIL, **Portaria nº 518**. Secretária de vigilância em saúde, Ministério da Saúde. 2004.
- BRANCO, O. E. A. **Avaliação da disponibilidade hídrica: Conceitos e aplicabilidade**. Juiz de Fora, Minas Gerais. Universidade Federal de Juiz de Fora, 2006.
- BRITO, L. T. L., SILVA, A. S., PORTO, E. R.; **Disponibilidade de água e a gestão dos recursos hídricos**. EMBRAPA- Empresa Brasileira de Agropecuária, 2007.

CAMPOS, M. M.; AZEVEDO, F. R. **Aproveitamento de Águas Pluviais para Consumo Humano Direto**. *Jornal Eletrônico - Faculdades Integradas Vianna Júnior*, Ano V, Edição I, Maio, 2013.

CARVALHO, C. C. S.. **Remoção de saxitoxinas por meio de oxidação com cloro**. Tese de doutorado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos. Brasília, Distrito Federal. Universidade de Brasília, 2010.

CASADO, E. A. S.; SANTOS, L. G. A.; MENDES, J. B.; PINTO, D. P. **Redução do consumo de água na indústria de bebidas**. XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, São Paulo, 2007.

CAVALCANTE, L. M., MACHADO, L. C. G. T, LIMA, A. M. M.; **Avaliação do desempenho ambiental e racionalização do consumo de água no segmento industrial de produção de bebidas**. *Ambiente & Água – An Intedisciplinatory Journal of Applied Science*, 2013

CERVIERI JÚNIOR, O.; **Panoramas Setoriais 2030: Bebidas**. BNDES - Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social. *Panoramas Setoriais 2030*, p. 70-78, 2017.

CUNHA, B. J. C. **Análise de viabilidade técnica da conservação de água no ciclo produtivo de indústria de refrigerante**. Dissertação de mestrado em engenharia civil. Belém, Pará. Universidade Federal do Pará, 2019.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A. D.; **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. 2 ed. São Carlos, 2005.

SAUTCHUK, C. A., LANDI F. D. N., MIERZWA J. C., VIVACQUA M. C. R., SILVA M. C. C., LANDI P. D. N., SCHMIDT W.. **Conservação e Reuso de Água: Manual De Orientações Para O Setor Industrial**. Federação e Centro das Indústrias do Estado de São Paulo – FIESP/ CIESP. v. 1. São Paulo, 2004.

FOGAÇA, F. C. **Estudo da eficiência da eletrocoagulação aplicada a efluente da produção de bebidas não alcoólicas e não gaseificadas**. Dissertação de mestrado em química, Universidade Federal do Espírito Santo, 2016

FONSECA, C. M. A. **Conservação e Reuso de água em indústria de fabricação de bebida – Estudo de caso**. Dissertação de Mestrado em Gestão e Regulação de Recursos Hídricos. Recife, Pernambuco. Universidade Federal de Pernambuco, 2020.

GALVÃO, M. R. **Estudo do reuso não potável de água de processo e efluente tratado em indústria de bebidas**. Dissertação de Mestrado em Meio Ambiente Urbano e Industrial. Curitiba, Paraná. Universidade Federal do Paraná, 2010.

GUERRA FILHO, D. **Águas Residuárias: uma Alternativa Racional de Reuso**. *Cadernos UniFOA*, Volta Redonda, ano 1, nº 1. Julho 2006.

GURAK, P.D., Cabral, L.M.C., ROCHA-LEÃO, M.H.M., MATTA, V.M., FREITAS, S.P. **Quality evaluation of grape juice concentrated by reverse osmosis**. *Journal of Food Engineering*, 2010.

HAYDAR, S. et al. **Water Conservation Initiatives and Performance Evaluation of Wastewater Treatment Facility in a Local Beverage Industry in Lahore.** Pak. J. Engg.

& Appl. Sci, v. 16, n. 1, p. 100 - 109, Jan 2015.

HESPANHOL, I. **Conservação e reuso como instrumentos de gestão para atenuar os custos de cobrança pelo uso da água no setor industrial.** In Bicudo, C. E. M. Águas no Brasil: Análises estratégicas. Academia Brasileira de Ciências; Secretaria Meio Ambiente, Estado de São Paulo, 2010.

HSINE, E. A.; BENHAMMOU, A.; PONS, M.-N. **Water Resources Management in Soft**

**Drink Industry-Water Use and Wastewater Generation.** Environmental Technology, v. 26, n. 12, p. 1309-1316, May 2010

IMOUBE, T. O. T.; KOYE, P. I. O. **Assessment of the impact of effluent from a soft drink processing factory on the physico-chemical parameters of eruvbi stream benin city, Nigeria.** Bayero Journal of Pure and Applied Sciences, v. 4, n. 1, 2011

JORDÃO, E.P.; PÊSSOA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**, 4<sup>a</sup> ed, Rio de Janeiro: SEGRAC, 2005.

JUNK & PANCOAST. **Handbook of sugars.** Westport: The Avi Publishing Company, Inc., 1973.

KASMI, M. E. A. **Eco-friendly process for soft drink industries wastewater reuse as**

**growth medium for Saccharomyces cerevisiae production.** Springer-Verlag, Springer-

Verlag Berlin Heidelberg, Out-Fev 2016.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. D. **Reuso de Água.** 1. ed. Barueri - SP: Manole, 2003.

MIERZWA, J. C.; HESPANHOL, I. **Água na Indústria: Uso Racional e Reuso.** Oficina de Textos, 1<sup>a</sup> ed., São Paulo, 2005.

MIRANDA, C. B. **Pós-tratamento de efluentes de estação de tratamento de esgoto visando a produção de água de reuso para indústria.** Monografia de Conclusão de Curso. Universidade Estadual da Paraíba, 2017.

MIRANDA, J. B.; VAZ, C. R.; JAPPUR, R. F.; VASCONCELOS, A. M.; SELIG, P.M. **Gerenciamento de Resíduos em uma empresa fabricante e distribuidora de refrigerantes do sul do Brasil: Método Gaia.** Revista de Engenharia e Tecnologia, v. 3, n. 2, 2011.

MOREIRA, D. A.; **Administração da produção e operações.** 5<sup>a</sup> edição, Pioneira; São Paulo, 1999.

MS – Ministério da Saúde. Portaria N<sup>o</sup> 326, "condições higiênicos-sanitárias e de boas práticas de fabricação para estabelecimentos produtores/industrializadores de alimentos", de 30 de julho de 1997.

- OLIVEIRA, N. M.; SILVA, M. P.; CARNEIRO, V. A. **Reuso de água: um novo paradigma de sustentabilidade**. Elisée Revista Geográfica UEG, Porangatu Goiás, v. 2, n. 1, 2013.
- PUROLITE. Resinas de Troca Iônica. Disponível em: <<http://www.purolite.com.br/>>. Acesso em: 03 de abr. 2022.
- ROSA, S. E. S.; CONSENZA, J. P.; LEÃO, L. T. S. **Panorama do setor de bebidas no Brasil. BNDES Setorial**. BNDES: Rio de Janeiro, 2006.
- SANCHES, S. M.; AMARANTE JÚNIOR, O. P.; CAMPOS, S. X.; VIEIRA, E. M. **Formação de trialomitanos em Água de Abastecimento Público**. Anais Associação de Química, 52, 51-56p, 2003.
- SANTOS, M. S.; RIBEIRO, F. M. **Cerveja e refrigerantes**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental do Estado de São Paulo, CETESB, 2005.
- SILVA, F. P. G.; **Sistema de Tratamento de Efluentes Industrial: Reator anaeróbio de circulação interna**. Trabalho de Conclusão de Curso. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Piauí – IFPI. Piauí, 2018.
- SILVA FILHO, A.; **Tratamento terciário de efluente de uma indústria de refrigerantes visando o reuso – Um estudo de caso**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2009.
- SOUZA, B. P.; **Avaliação da remoção de sulfametoxazol, diclofenaco e 17β-estradiol em água por meio de processo oxidativo com cloro**. Dissertação ao Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. São Paulo, 2014.
- TEIXEIRA, C. P. A. B.; JARDIM, W. F. **Caderno Temático: Processos Oxidativos Avançados – Conceitos Teóricos**. Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. São Paulo, 2004.
- TORRES, T. L.; OLIVEIRA J. C.; BAUM, C. A.; BECEGATO, V. A.; HENKES, J. A. **Gestão do uso da água na indústria: aplicação do reuso do recurso e recuperação**. Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental, v. 7, n. 2, p. 370-385,
- TUNDISI, J. G.; **Recursos hídricos no Brasil: Problemas, desafios e estratégias para o futuro**. Academia Brasileira de Ciências, Rio de Janeiro, 2014.
- UNIDO, United Nations Industrial Development Organization. **Greening Food and Beverage Value Chains: the Case of Soft Drinks Industry**. Ed. Working Paper, 2014.
- ZUFFO, A. M.; AGUILERA, J. G.. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**. Vol. IX. Pantanal Editora. Belo Horizonte, 2022.
- YAMANAKA, Hélio Tadashi. **Sucos Cítricos**. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – Cetesb. São Paulo: 2005.