

CENTRO DE TECNOLOGIA DA INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL
FACULDADE DE ENGENHARIA QUÍMICA SENAI: CENTRO DE TECNOLOGIA DA
INDÚSTRIA QUÍMICA E TÊXTIL

Ana Beatriz Loureiro Gonçalves da Silva

Avaliação tecnológica dos tratamentos e reúso de água na Indústria do Petróleo

Rio de Janeiro

2022



SENAI CETIQT



#25dc7bc7-f50b-421b-970c-76e60e4bb6a9

Ana Beatriz Loureiro Gonçalves Da Silva

Avaliação tecnológica dos tratamentos e reúso de água na Indústria do Petróleo

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Orientador(a): Elene de Souza Freitas

Coorientador(a): Tanise Mori Flores

Rio de Janeiro

2022

Ficha Catalográfica

Cutter (n. do autor)	n. autor	Da Silva, Ana Beatriz Loureiro Gonçalves da Silva. Avaliação tecnológica dos tratamentos e reúso de água na indústria do Petróleo / Ana Beatriz Loureiro Gonçalves da Silva - Rio de Janeiro, 2022. 69p. Orientadores: Elene de Souza Freitas e Tanise Mori Flores Projeto final de curso a ser submetido à Comissão Examinadora do Curso de Bacharelado em Engenharia Química - Faculdade SENAI CETIQT, Unidade Riachuelo, Rio de Janeiro, 2022. 1. Água de reúso. 2. Indústria do petróleo. 3. Tratamento de efluentes 4. Efluente industrial. 5. Escassez hídrica. I. Avaliação tecnológica dos tratamentos e reúso de água na indústria do Petróleo.	
		Número de classificação do assunto	CDD

Ana Beatriz Loureiro Gonçalves da Silva

Avaliação tecnológica dos tratamentos e reúso de água na Indústria do Petróleo

Trabalho de conclusão de curso apresentado ao curso de graduação em engenharia química, da Faculdade de Engenharia Química SENAI CETIQT, como requisito parcial para obtenção do título de bacharel em engenharia química.

Aprovada em:

Aprovado por:

Orientador: Elene de Souza Freitas, DSc.

Coorientador: Tanise Mori Flores, MSc.

Banca Examinadora:

Héctor Napoleão Cozendey da Silva, DSc., SENAI CETIQT

Adriana Sotero Martins, PhD., FUNDAÇÃO OSWALDO CRUZ

Idila Rafaela Carvalho Gonçalves, MSc., UFRJ

Rio de Janeiro

2022

Deus e à minha família.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus.

Agradeço à toda minha família por acreditar nos meus sonhos e, em especial, aos meus pais que investiram em minha educação, deram todo amor e suporte ao longo de todos os anos fazendo com que eu alcançasse essa etapa da minha vida. Se hoje sou uma mulher forte, eu aprendi e herdei de vocês.

Agradeço ao meu namorado, Matheus Bastos, por toda compreensão, cumplicidade e por jamais me deixar abaixar a cabeça.

Aos amigos que tenho e aos que fiz durante a faculdade, mas em especial Nayane Rodrigues, Thamires da Silva Beloni e Viviane Nascimento que se tornaram minhas irmãs e reforçam em todos os momentos o quão eu sou capaz.

Aos professores e orientadores do SENAI CETIQT que são verdadeiros líderes. Em especial, Elene Freitas e Tanise Mori Flores por aceitarem esse desafio.

Aos profissionais que estiveram ao meu lado na Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP) na Fiocruz e aos que estão na ICONIC Lubrificantes. Obrigada pelos conselhos e experiências compartilhadas ajudando a me desenvolver profissionalmente.

Agradeço à minha banca por aceitar esse convite.

A todos que me ajudaram diretamente ou indiretamente, seja com uma palavra amiga, puxão de orelha ou uma risada nos momentos mais difíceis. Todos vocês fazem parte desta importante conquista em minha vida e sem vocês, não teria alcançado mais um degrau.

“Aquele que tem um porquê para viver pode enfrentar quase todos os como.”
(Friedrich Nietzsche)

RESUMO

A escassez hídrica é um fator debatido mundialmente pelo aumento do consumo de água, mudança no padrão de consumo, mau gerenciamento do recurso hídrico e mudanças climáticas. Em paralelo, a indústria petrolífera utiliza quantidades significativas de água em suas operações gerando efluentes poluidores e, conseqüentemente, é responsável por impactos ambientais, apesar de ser extremamente importante para a economia do país. Com isto, a água de reúso é uma alternativa para atividades industriais através da melhor gestão deste recurso que pode ser reutilizado dentro da própria refinaria. Diante deste cenário, o trabalho objetiva analisar as principais tecnologias utilizadas na indústria petrolífera para tratamento e reúso de água. Os principais resultados mostraram que houve um aumento na elaboração de produções científicas no desenvolvimento de tecnologias visando o reúso entre 2012 a 2022 e que a indústria petrolífera vem adquirindo responsabilidade sustentável. Dentre as tecnologias mais citadas, foram identificados entre os autores os processos oxidativos avançados (POAs) envolvendo tecnologias fotoquímicas e as tecnologias de membranas retratando nanofiltração, ultrafiltração e biorreatores de membrana.. Ao final pode-se visualizar que as principais formas de reutilização mencionadas entre os autores para a refinaria, são para os sistemas de refrigeração e sistemas de combate a incêndio.

Palavras-chave: água residual, reúso industrial, petróleo, tecnologia de membrana e processos oxidativos avançados (POAS).

ABSTRACT

A large number of water is used in the petroleum refinery activity generating wastewater composed by pollutants compounds. Consequently, the petroleum refinery is responsible for environmental impacts despite being extremely important for country economy. Similarly, the water scarcity is a topic discussed around the world because of water consume increasing, consumption pattern changes, negative management of water resource and climate changes. For this reason, water reuse is an alternative for industries activities through better management of that resource being reused inside refineries. Given this scenario, this work aims to analyse main technologies for treating and reuse water in the petroleum refineries activities. The main results showed increasing number of scientific productions focusing on water reuse since 2012 to 2022 and industry petroleum has getting sustainable responsability. It was identified techniques between authors as advanced oxidative processes (AOPs) involving technologies photochemiacals and the membrane technologies representing nanofiltration, ultrafiltration and membrane bioreactors. In the end, it was possible visualize the main reuse destination cited and explored by authors to cooling systems and firewater.

Keywords: wastewater, industrial reuse, petroleum, membrane technology, advanced oxidative processes (AOPs).

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 -	Distribuição do parque do refino Brasileiro.....	24
Figura 2.2 -	Esquema de refino para produção de combustíveis.....	28
Figura 2.3 -	Distribuição de água doce no mundo.....	29
Figura 2.4 -	Esquema geral para tratamento de efluentes na indústria Petrolífera.....	40
Figura 3.1 -	Representação esquemática da metodologia.....	43
Figura 4.1 -	Palavras-chaves mais utilizadas na área de pesquisa.....	47
Figura 4.2 -	Decaimento de DQO, DBO, TSS, SSV e turbidez durante o tempo de operação.....	48
Gráfico 4.1 -	Quantidade de documentos publicados entre 2012 e 2022.....	46
Gráfico 4.2 -	Quantidade de artigos publicados por países após seleção inicial dos documentos.....	48
Gráfico 4.3 -	Análise quantitativa da possibilidade de reúso dentro da indústria.....	50
Quadro 2.1 -	Principais poluentes contidos nos efluentes em função das unidades da refinaria.....	33
Quadro 2.2 -	Processos oxidativos avançados.....	41
Quadro 3.1 -	Palavras-chave utilizadas na busca de produções científicas.....	45
Quadro 4.1 -	Técnicas selecionadas para o tratamento e reúso de água.....	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1- Principais poluentes contidos nos efluentes em função das unidades da refinaria.....	38
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

API	<i>American Petroleum Institute</i>
ASTM	<i>American Society for testing and materials</i>
BRM	Biorreator de membrana
COMPERJ	Complexo petroquímico do Rio de Janeiro
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
COT	Carbono oxigênio total
COVID-19	<i>Coronavirus disease 19</i>
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
DEA	Dietonoamina
DQO	Demanda química de oxigênio
GLP	Gás liquefeito de petróleo
IQA	Índice de qualidade da água
LUBNOR	Refinaria Lubrificantes e derivados do Nordeste
MBR	<i>Membrane bioreactor</i>
MEK	Metil etil acetona
MF	Microfiltração
MIBK	Metil isobutil cetona
MOD	Material orgânico dissolvido
NF	Nanofiltração
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
OI	Osmose inversa
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto interno bruto
POAs	Processos oxidativos avançados
PPESK	Poli-ftalazina éter sulfona cetona
RECAP	Refinaria Capuava
REDUC	Refinaria Duque de Caxias
REMAN	Refinaria Isaac Sabbá
REPLAN	Refinaria Planalto de Paulínia
REVAP	Refinaria Henrique Lage
RPBC	Refinaria Presidente Bernardes
SABESP	Companhia de saneamento básico do estado de São Paulo

TMP	Pressão transmembrana
TSD	Teor de sólidos dissolvidos
TSS	Teor de sólidos suspensos
TSV	Teor de sólidos voláteis
UF	Ultrafiltração

LISTA DE SÍMBOLOS

SO_4^{-2}	Sulfato
CO_2	Gás carbônico
Fe^{+2}	Ferroso
Fe^{+3}	Férrico
H_2O_2	Peróxido de hidrogênio
H_2O	Monóxido de di-hidrogênio
HCO_3	Bicarbonato
O_2	Oxigênio
O_3	Ozônio
TiO_2	Dióxido de titânio
$NaOCl$	Hipoclorito de sódio
ZnO	Óxido de zinco
PO_4	Fosfato
SiO_2	Óxido de silício

SUMÁRIO

1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO	16
1.1. INTRODUÇÃO	16
1.2. OBJETIVOS	19
1.2.1. Objetivo Geral	19
1.2.2. Objetivos Específicos	19
1.3. JUSTIFICATIVA	19
1.4. DELIMITAÇÃO	20
2. CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA	21
2.1. A ORIGEM DO PETRÓLEO NO BRASIL	21
2.2. O MERCADO PETROLÍFERO	22
2.3. O PETRÓLEO E SEUS CONSTITUINTES	25
2.4. O REFINO DO PETRÓLEO	26
2.5. ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL E NO MUNDO	29
2.6. EFLUENTES HÍDRICOS GERADOS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO	31
2.7. IMPACTOS AMBIENTAIS	34
2.8. ÁGUA DE REÚSO	35
3. CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA	43
3.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA	43
3.2. ANÁLISE DE DADOS	44
3.3. ESTUDO DAS TÉCNICAS	45
4. CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS	46
4.2. TÉCNICAS PARA TRATAMENTO E REÚSO	48
4.3. ESTUDO DAS TÉCNICAS	50
4.3.1. Ultrafiltração	50
4.3.2. Nanofiltração	53

4.3.3. Processos oxidativos avançados	53
5. CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES FUTURAS	57
5.1. CONCLUSÃO	57
5.2. SUGESTÕES FUTURAS	58
REFERÊNCIAS	59
ANEXO A – PRINCIPAIS POLUENTES CONTIDOS NOS EFLUENTES EM FUNÇÃO DE TODAS AS UNIDADES DA REFINARIA	68

1. CAPÍTULO 1 – INTRODUÇÃO

1.1. INTRODUÇÃO

O setor petrolífero é de suma importância na economia do país. Ao longo da década de 2000, as características dos produtos influenciaram no aumento da demanda por derivados do petróleo. Atualmente, o mercado relata cerca de 200 variedades de petróleo sendo diferenciados por sua qualidade (FGV, 2012). Juntamente com a vasta gama de aplicações de seus derivados, o uso energético tem grande relevância por gerar uma série de combustíveis em diversos setores (IBP, 2019). Em 2019, o uso energético contribuía com 38% da matriz energética brasileira e 30% da matriz energética mundial (CARNEIRO; TOLEDO, 2020).

Além de investimentos em pesquisas locais e geração de renda e empregos devido a uma extensa cadeia de produtos e serviços, o setor petrolífero contribui para o superávit na balança comercial valorizando a moeda brasileira. Ademais, o setor ocupa o terceiro lugar no *ranking* das principais atividades econômicas do Brasil e representava 8% das exportações brasileiras em 2017 (IBP, 2019).

Estima-se que foram gerados cerca de 1,4 trilhão de reais entre 2007 e 2017, e que nos próximos dez anos sejam gerados cerca de 1 trilhão de reais através de *royalties* e arrecadação de tributos. Apesar da produção do petróleo ser um processo complexo, o Brasil contém reservas em abundância e com grande potencial de crescimento, sendo que apenas 7% das reservas estão sob concessão, o que significa que grande parte do território ainda não foi explorado (IBP, 2019).

Segundo a Petrobras (2021b), o petróleo é extraído nos campos e transformado em produtos nas refinarias. Para atender à grande demanda no país, só a Petrobras contém 13 refinarias que estão distribuídas no território nacional com objetivo de gerar produtos energéticos e não- energéticos (BARBOSA, 2007). Szklo *et al.* (2012) explica que o refino do petróleo objetiva separar o óleo bruto em frações através de processos físico-químicos. Cerca de 90% dos produtos gerados são constituídos por combustíveis, tais como gasolina, diesel, gás liquefeito de petróleo (GLP), óleo combustível, querosene e coque de petróleo. Outros 10% são classificados como produtos acabados não combustíveis e intermediários da indústria química.

De modo geral, o refino é constituído em quatro processos: separação, conversão, tratamento e processos auxiliares. As operações estão inclusas em cinco categorias: o *Topping* ou separação de hidrocarbonetos, craqueamento térmico ou catalítico, combinação de hidrocarbonetos através da alquilação e polimerização e rearranjo das moléculas por meio da reforma catalítica e isomerização. Por último, o tratamento em que há remoção de contaminantes como hidrotratamento e *blending*, em que há mistura final para geração do produto (SZKLO *et al.*, 2012).

A indústria petrolífera utiliza valores significativos de água em suas operações, principalmente nos sistemas de refrigeração e dessalgação, gerando cerca de 250 a 350 litros de água por barril de óleo bruto processado (SCHOR, 2006). Hill (2003) *apud* Barbosa (2007) mostra que cerca de 48% do total de água é usada em torres de resfriamento, 20% em caldeiras e 12% restantes é dividido em sistemas de combate a incêndio, água potável e outros usos industriais. Simplicio (2019) também relata a presença da água conata¹ proveniente dos reservatórios desde a formação do óleo bruto. De modo geral, os efluentes gerados são proporcionais à quantidade de óleo produzido e as principais características como acidez, alcalinidade, oxigênio total, sólido em suspensão e odor variam de acordo com o tipo de petróleo processado, sendo necessário passar por tratamentos (MARIANO, 2001).

Diante desta problemática, Moura *et al.* (2020) relata que o termo “água de reúso” passou a ter maior relevância apenas em 2000 em razão da escassez de água potável no planeta, de modo que eventos mundiais sobre o meio ambiente como Agenda 21 tratassem sobre o tema. Lavrador Filho (1987) descreve água de reúso como o aproveitamento de águas previamente utilizadas, uma ou mais vezes, em atividade humana e com objetivo de suprir as necessidades de outros usos como o original. Barros *et al.* (2015) define água de reúso como reutilização de águas provenientes de efluentes tratados.

Hespanhol (2002) afirma que a escassez hídrica não ocorre apenas em regiões áridas e semiáridas. Algumas regiões com recursos hídricos abundantes não atendem as demandas elevadas das propriedades para uso, sendo necessárias restrições de consumo afetando a qualidade de vida e o desenvolvimento econômico. A água, uma vez poluída, pode ser tratada e reutilizada em diversas finalidades, de modo que sua qualidade e uso irão influenciar nos critérios de segurança e tratamento adequado.

Nesse contexto, os efluentes contaminados gerados nas etapas de refino são grandes responsáveis pela poluição hídrica (BARROS *et al.*, 2015). Isto ratifica a importância de

¹ Água existente no reservatório desde a formação do óleo bruto (SIMPLÍCIO, 2019).

estudos que avaliem todo o processo e implementem tecnologias para gerenciamento da água e, posteriormente, reúso dentro e fora das refinarias. Diante deste problema, Mariano (2001) aponta consequências negativas de caráter ecológico como intoxicação de organismos aquáticos por metais pesados, aumento da turbidez pela presença de sólidos, eutrofização e eliminação de espécies de animais aquáticos pela alta quantidade de sais.

Nos últimos 10 anos, a área da Engenharia publica de forma crescente inúmeros artigos embasados nesse tema mostrando que ao longo dos anos, esta problemática tem impactado grande parte de população tornando-se uma preocupação mundial.

Portanto, devido à má distribuição hídrica, importância do tratamento e reúso de água na indústria do petróleo, além das possíveis consequências negativas e econômicas no caso dos riscos relacionados, este trabalho propõe avaliar o estado da arte acerca das principais tecnologias aplicadas no tratamento e reúso de água na indústria petrolífera, de modo a contribuir para novas pesquisas e discussões sobre o tema, com ênfase na minimização dos impactos ambientais.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

O estudo propõe analisar o estado da arte das tecnologias aplicadas no tratamento e reúso de água na indústria do petróleo, a fim de avaliar a eficiência das principais metodologias utilizadas nos últimos dez anos contribuindo para divulgação do tema e minimização dos impactos ambientais.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Buscar as tecnologias aplicadas para tratamento e reúso de água na indústria do petróleo nos últimos dez anos;
- Avaliar a tendência de crescimento do tema através de um levantamento de dados;
- Analisar as principais tecnologias aplicadas através de seus desafios, eficiência, impactos e rendimento.

1.3. JUSTIFICATIVA

A indústria do petróleo possui significativa responsabilidade na utilização de recursos naturais em seus processos gerando efluentes poluidores, de modo a ter grande influência no impacto social, ambiental e econômico com desequilíbrios ecológicos (TARGUETA; SANTANA, 2016). A indústria do petróleo gera de 250 a 350 litros de água por barril de óleo processado (SCHOR, 2006). Somado a isto, o aumento do uso global de água é uma problemática debatida no Brasil e no mundo, tendo em vista que apesar de haver abundância de recursos hídricos, o aumento no padrão de consumo ocasionado pelo crescimento populacional é perceptível juntamente com mau gerenciamento do uso de água e estes são fatores fundamentais de preocupação mundial em relação à escassez hídrica.

Diante disto, a água de reúso é uma alternativa para atividades industriais substituindo a potável que pode ser destinada para finalidades essenciais. Esta alternativa é primordial para

redução de efluentes poluidores nos corpos hídricos e, conseqüentemente, diminuição de impactos ecológicos, além da melhor gestão do recurso natural que pode ser direcionado ao consumo humano em regiões afetadas pela má distribuição e enfrentamento da pandemia.

O presente estudo é primordial na questão socioambiental, uma vez que o setor de óleo e gás se destaca mundialmente na economia através de seus derivados, mas há uma preocupação externa para que haja responsabilidade sustentável na mitigação de danos ao meio ambiente através da busca por tecnologias de reúso.

1.4. DELIMITAÇÃO

O estudo foi desenvolvido por meio de uma análise qualitativa acerca das principais tecnologias aplicadas na indústria petroquímica com ênfase no tratamento e reúso de água, de modo a avaliar a eficiência desses processos. Esse trabalho delimitou-se a ratificar a importância da água para o consumo humano, bem como a escassez hídrica presente em regiões traçando um paralelo com a vasta utilização desse recurso natural e de qualidade no processo de refino, de modo a identificar possibilidades de tratamento e reúso dentro da indústria para extinguir impactos socioambientais.

2. CAPÍTULO 2 – REVISÃO DA LITERATURA

2.1. A ORIGEM DO PETRÓLEO NO BRASIL

A história do Petróleo no Brasil iniciou na Bahia, em 1858, se estendendo até Salvador, com inúmeras tentativas de extração e estudo do óleo desconhecido. Um dos primeiros poços de petróleo brasileiro foi perfurado sob livre iniciativa em 1897, em São Paulo, atingindo profundidade de 488 metros e produzindo 0,5 m³ de óleo. Em 1919, o Serviço Geológico e Mineralógico foi criado e perfurou 63 poços em diversos estados do país, não obtendo sucesso (THOMAS, 2015). Em 1930, o engenheiro agrônomo Manoel Inácio Bastos entregou um relatório a Getúlio Vargas contendo informações sobre uma lama preta com diversas finalidades (FIESC, 2021).

Após inúmeras tentativas, apenas em 1938 iniciou-se a perfuração do poço DNPM-163, na Bahia, através de uma sonda rotativa e em uma profundidade de 210 metros, o que viria a ser uma das descobertas de petróleo no Brasil sob a jurisdição do Departamento Nacional de Produção Mineral. A partir deste acontecimento, o governo travou como objetivo achar novos campos realizando novas prospecções (THOMAS, 2015). Em 1953, o governo Vargas iniciou inúmeras pesquisas do petróleo brasileiro com a criação do “Petróleo Brasileiro S.A.”, mais conhecida como Petrobras e detendo o monopólio de atividade petrolífera (PUC RIO, *s.d.*).

Desde então, o petróleo foi descoberto em diversos estados brasileiros tendo como grande importância a província petrolífera da Bacia de Campos nos anos 70 com cerca de 100 mil quilômetros quadrados, surgindo nas décadas seguintes o Rio Grande do Norte e os campos gigantes de Roncador e Barracuda na Bacia de Campos. Com base nos avanços tecnológicos de perfuração, a produção cresceu para 182.000 m³/dia no final dos anos 90 com a Petrobras (THOMAS, 2015). Em 1966, o Centro de Pesquisas e Desenvolvimento Leopoldo Américo Miguez de Mello, CENPES, foi criado e atualmente é o maior centro de Pesquisa da América Latina (BRASIL *et al.*, 2015).

Em 1997, Fernando Henrique Cardozo criou a Lei do Petróleo permitindo que empresas privadas pudessem realizar as atividades de exploração, produção, refino e transporte de petróleo no país. No mesmo ano, a Agência Nacional do Petróleo foi criada para

estabelecer regras de competitividade no mercado. Após inúmeros poços descobertos no país, a Petrobras anuncia em 2007 a descoberta do Pré-sal na área de Tupi localizada na Bacia de Campos anunciando uma nova era para o Brasil (PUC RIO, *s.d.*). Com essa descoberta o Brasil deu um salto na produção nacional passando, em 2021, a produzir cerca de 1,95 MMboe/d² totalizando cerca de 70% da produção total da Petrobras (PETROBRAS, 2022).

2.2. O MERCADO PETROLÍFERO

O mercado de refino nacional é controlado majoritariamente por uma única empresa, a Petrobras, tendo o governo como principal acionista. O parque brasileiro do refino é constituído por 13 refinarias sob controle da Petrobras e algumas privadas. Em janeiro de 2021, a produção de petróleo foi de 2,87 MMbbl/d³, que representa um aumento de 5,4% em relação ao mês anterior, mas uma redução de 9,3% em relação a janeiro de 2020 tendo como o Rio de Janeiro o maior produtor (ANP, 2021b).

Szklo *et al.* (2012) explica que as refinarias foram construídas entre os anos 1960 e 1970, de modo a atender demandas distintas das atuais tendo como principais produtos o óleo combustível e a gasolina. Com a descoberta de petróleos intermediários e pesados, as refinarias precisaram se transformar para atender o mercado em relação à qualidade do produto através da construção de novas refinarias e conversão das frações pesadas em leves. Desta forma, o investimento na Petrobras de 1990 a 2000 foi de extrema importância para diminuir a carga importada processada de 43% em 1995 para 19% em 2010.

O país se tornou exportador em 2005, o que fez atingir sua autossuficiência de produção no mesmo ano. O gás natural e seus derivados apresentavam a maior fonte de energia primária em torno de 50,6% em 2012. A transformação das unidades aumentou a produção de petróleo e a redução do óleo combustível em relação ao petróleo, por ter alto potencial poluidor e baixo valor agregado. No setor do transporte, o óleo diesel se tornou o principal combustível em virtude da redução do consumo de gasolina. (BRASIL *et al.*, 2015). Segundo dados da ANP (2018) *apud* Rojas; Leite (2018), a produção total das refinarias em 2000 foi de 585.336.432 barris chegando ao ápice de 795.459.907 barris em 2014.

² Milhões de barris de óleo equivalente por dia (PETROBRAS, 2022).

³ Milhões de barris por dia (ANP, 2021b).

A importação do petróleo ainda é realidade em função da necessidade em misturar os óleos mais leves importados com os nacionais e adequar as características para o refino. Dados da ANP (2018) *apud* Rojas; Leite (2018) mostram que as importações dos derivados de petróleo dobraram cerca de 114.830.091 barris para 224.719.566 no período de 2000 até 2017. Szklo *et al.* (2012) menciona que o tipo de óleo mais processado no Brasil é proveniente da Bacia de Campos classificado como intermediário e pesado. Com isto, há uma demanda significativa de correntes leves tanto para ajuste dessas cargas pesadas que demandam maior complexidade dos processos, como na produção de óleo lubrificante (EPE, 2009 *apud* SZKLO *et al.*, 2012). Um dos exemplos é o petróleo árabe leve usado pela Refinaria Duque de Caxias (REDUC) na produção de lubrificantes e óleo Kissanje, da Angola, por ser leve e apresentar teor de enxofre menor que o árabe leve (ANP, 2011 *apud* SZKLO *et al.*, 2012).

Embora o parque do refino tenha recebido muitos investimentos ao longo dos anos, o desequilíbrio no perfil de consumo e produção ainda é uma realidade, sendo necessário importar GLP, querosene de aviação, nafta petroquímica e óleo diesel, o que corresponde a um grande volume de importação ocasionado pela característica do óleo, das refinarias brasileiras e alta demanda no país (SZKLO *et al.*, 2012). Além disso, uma das estratégias da Petrobras para garantir recursos e capacidade de foco foi vender oito das treze refinarias (Figura 2.1), mantendo capacidade de 1,15 milhão de barris por dia dando ênfase na produção de combustíveis eficientes e sustentáveis (PETROBRAS, 2020a).

Figura 2.1. Distribuição das refinarias no Parque do refino brasileiro.



Fonte: Petrobras (2020a).

As cargas processadas nas refinarias são distintas e, em 2010, a participação do petróleo nacional nas refinarias controladas pela Petrobras era a maior de todos os tempos. No entanto, é necessário destacar que refinarias privadas como Manguinhos, Univen e Rio Grandense realizavam o processamento com óleo importado de forma quase exclusiva. No parque brasileiro, o óleo leve é processado em diversas refinarias como na Refinaria Isaac Sabbá (REMAN), através do óleo Urucu (49 °API) e óleo mais pesado encontrado nas refinarias do Sudeste com o Marlin (20°API) e Refinaria de lubrificantes e derivados do Nordeste (LUBNOR), com fazenda alegre (13°API). Em termos de refino, as unidades privadas são simples e de pequeno porte, enquanto a REDUC e Refinaria Planalto de Paulínia (REPLAN) são as mais complexas e de maior capacidade (SZKLO *et al.*, 2012).

Segundo dados da ANP (2021a), o parque do refino nacional contava com 18 refinarias em 2020, ou seja, além das treze em posse da Petrobras existem ainda cinco privadas, sendo responsável pelo processamento de 1,8 milhão de barris/dia valor correspondente a um aumento de 33,3 mil barris/dia no volume em relação ao ano anterior. Por outro lado, Viana (2020) relata que o setor petrolífero apresenta certa instabilidade em função, principalmente, dos preços do petróleo. Crises internacionais como as de 2008 a 2009, julho de 2014, janeiro de 2016 e a crise econômica causada pela pandemia da COVID-19 (*coronavirus disease 19*), tornam a oscilação do preço uma realidade constante. Outro fator

que impactou no crescimento do setor é a forte pressão para transição de energias fósseis para renováveis, a fim de diminuir as emissões de carbono e implementar políticas de monitoramento.

O acordo de Paris, em 2016, estabeleceu padrões para que países sigam e reduzam as emissões de carbono (VIANA, 2020). O IBP (2019) relata que 46% das fontes renováveis como eólica, solar e biomassa devem representar a matriz energética brasileira até 2040. Viana (2020) relata que cerca de 52% da matriz energética brasileira advém do petróleo e em 20 anos cairá para 46%. No entanto, pesquisas como a de IEA (2018) *apud* Viana (2020) apontam que combustíveis fósseis serão responsáveis por 75% da demanda de energia em 2040. Com isto, a Petrobras busca maior eficiência nas operações e compromisso na redução de carbono e sustentabilidade, mas sinaliza que em relação as energias renováveis trabalham em pesquisas para atuação em energia eólica e solar a longo prazo (VIANA, 2020).

Somado a isto, Viana (2020) explica que apesar da produção do petróleo não ter sido afetada com a pandemia de COVID-19, as vendas dos derivados sofreram uma redução de 6% em 2020, em relação ao mesmo período em 2019. No entanto, o cenário vem melhorando em virtude da retomada das atividades econômicas do país, pois já no segundo trimestre de 2021 apresentou crescimento de 8,4% no período de janeiro a julho em comparação ao mesmo período em 2020.

Nesse viés, pesquisas apresentadas em LCA (2021) *apud* Viana (2021) mostram que os indicadores para produção e venda de petróleo estão positivos. É esperado que a produção do petróleo cresça em média 5% tanto em 2022, como em 2023, os derivados em média 4% durante o mesmo período e em relação ao consumo de derivados é esperado crescimento também de 4% durante o período mencionado.

2.3. O PETRÓLEO E SEUS CONSTITUINTES

Szklo *et al.* (2012) define que o óleo bruto é constituído por uma mistura de hidrocarbonetos e impurezas oleofílicas e oleofóbicas. Espinola (2013) descreve o petróleo como uma substância oleosa, menos densa que a água, inflamável, com cheiro e cores característicos. São encontrados em depósitos sedimentares nos estados sólidos, líquidos e gasosos, de modo que as características do óleo variam de acordo com o campo produto

(FARAH, 2015). A *American Society for Testing and Materials*, ASTM, define o óleo bruto, através da norma D4175-09a, como:

Uma mistura de ocorrência natural, consistindo predominantemente em hidrocarbonetos e derivados orgânicos sulfurados, nitrogenados e oxigenados e outros elementos, que é ou pode ser removida da terra no estado líquido. Está acompanhado por quantidades variáveis de substâncias estranhas como água, matéria orgânica e gases.

Thomas (2015) relata que o petróleo em sua composição apresenta centenas de compostos químicos e é predominantemente formado por carbono e hidrogênio. Caso essa mistura seja composta principalmente de moléculas pequenas, o petróleo apresenta um estado físico gasoso. No entanto, se constituído de moléculas maiores, óleo apresenta estado líquido de acordo com as condições normais de pressão e temperatura.

O petróleo pode ser dividido em parafínicos normais, ramificados ou cíclicos, olefinas, aromáticos e naftênicos (SZKLO *et al.*, 2012). Farah (2015) explica que também há resinas e asfaltenos que serão resíduos da destilação do petróleo, além de contaminantes como enxofre, oxigênio, nitrogênio e metais, tendendo a se concentrar nas frações mais pesadas do petróleo.

2.4. O REFINO DO PETRÓLEO

As propriedades do petróleo e sua composição química variam de acordo com a localização geográfica do campo e, conseqüentemente, suas condições de formação onde a formação do material ocorre em função da ação do tempo (BRASIL *et al.*, 2015). Desta forma, o potencial energético do petróleo deve ser aproveitado ao máximo obtendo derivados com qualidade e alto valor comercial, mas com menor custo operacional, tendo em vista que o óleo bruto tem poucas aplicações (MARIANO, 2001).

As refinarias são sistemas de múltiplas operações que variam em função das propriedades do petróleo e seus produtos desejados (SZKLO *et al.*, 2012). O planejamento das operações industriais e a capacidade de suportar a variabilidade da carga é imprescindível para que haja máximo aproveitamento da utilização do petróleo gerando derivados com maior valor agregado (BRASIL *et al.*, 2015).

Nesse ponto de vista, é necessário que a refinaria seja planejada e construída atendendo a classificação de três grupos em função dos seus produtos que podem ser: energéticos, como os combustíveis, produtos não energéticos, como óleos lubrificantes e

parafinas, e produção de matéria-prima para indústria petroquímica. A produção de GLP, gasolina, querosene de aviação, óleo diesel, óleo combustível e cimento asfáltico de petróleo ocorrem em larga escala e possuem maior demanda de produção. Apesar do custo operacional, complexidade e capital investido, a produção do segundo grupo apresenta alta rentabilidade. Já o terceiro grupo gera insumos básicos petroquímicos utilizados na obtenção de resinas termoplásticas e termorrígidas, elastômeros, fibras sintéticas e detergentes (BRASIL *et al.*, 2015).

O refino do petróleo objetiva separar a mistura complexa do óleo bruto via processos físico-químicos em frações, que são separados e convertidos até os produtos (SKZLO *et al.*, 2012). Brasil *et al.* (2015) explica que o processo do refino ocorre a partir de uma série de processos estratégicos que proporcionam maior rendimento dos derivados, além da flexibilidade operacional em função de circunstâncias previstas durante a vida da refinaria.

A etapa de separação tem como principal objetivo a obtenção das frações mais básicas do petróleo ou a remoção de um grupo específico, segundo suas propriedades (SZKLO *et al.*, 2012). As principais operações deste grupo são dessalgação, destilação, desasfaltação, extração de aromáticos, desparafinação, desoleificação e adsorção de n-parafinas.

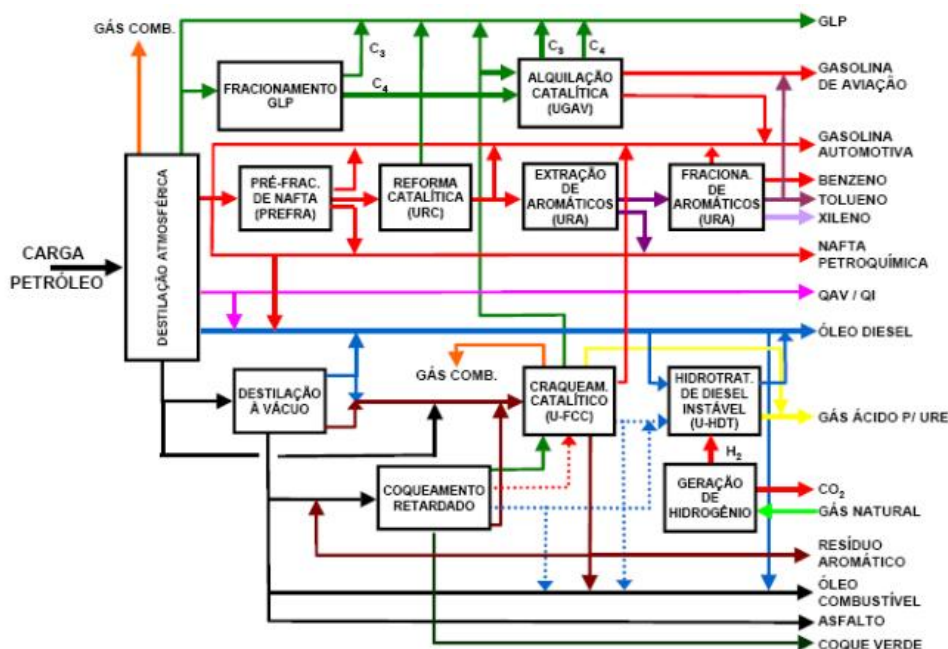
Nas etapas de conversão temos processos de natureza química que objetiva transformar frações mais complexas em menores e de maior interesse econômico (BRASIL *et al.*, 2015). Nos processos reacionais ocorrem alterações da estrutura molecular podendo não só quebrar os hidrocarbonetos da carga em moléculas menores, como fazer combinações através de reagrupamentos gerando moléculas maiores e mudar o arranjo interno da mesma por meio da reestruturação molecular (SZKLO *et al.*, 2012). Essas conversões aumentam a rentabilidade do processo, de modo a transformar derivados de baixo valor comercial em outros de maior valor como GLP, nafta, querosene e óleo diesel (BRASIL *et al.*, 2015). Os principais processos são divididos em térmicos como craqueamento térmico, coqueamento retardado e pirólise. Além dos processos de conversão como craqueamento catalítico em leito fluidizado, hidrocrackeamento catalítico, hidrotratamento, alquilação, isomerização, polimerização, reforma catalítica e tratamentos químicos.

Assim como o processo de conversão, o tratamento é de natureza química e objetiva eliminar propriedades indesejáveis e os compostos sulfurados, nitrogenados, oxigenados, organometálicos, sais, sedimentos e água para estabilizar quimicamente o produto acabado (BRASIL *et al.*, 2015). Nas frações mais leves são empregados os processos convencionais sem condições severas devido à qualidade do petróleo e através de tratamentos com amina e

tratamentos cáusticos quando aplicados ao gás combustível e GLP. Para frações médias e pesadas é necessário condições mais severas através do hidrotratamento e hidroacabamento (SZKLO *et al.*, 2012).

A Figura 2.2 apresenta um esquemático simplificado de uma refinaria com algumas etapas descritas anteriormente.

Figura 2.2. Esquema de refino para produção de combustíveis e aromáticos.



Fonte: Barcza (*s.d.*).

Os avanços tecnológicos permitem o surgimento de novas técnicas de refino, de modo a serem introduzidos nos processos com objetivo de atender as condições do mercado. As exigências ambientais oriundas do governo através de legislações e regulamentações exigem mudanças nos processos através de medidas atenuantes, em função dos impactos negativos no ambiente (MARIANO, 2001). A alta demanda de água nas indústrias juntamente com a escassez hídrica vem sendo debatida internacionalmente através de estudos, como verificado no relatório das Nações Unidas, a qual retrata que a indústria, incluindo uso e geração de energia, consome 19% de água em suas atividades fazendo com que haja a necessidade de investimento em melhorias contínuas e constante evolução de seus processos (UNESCO, 2021).

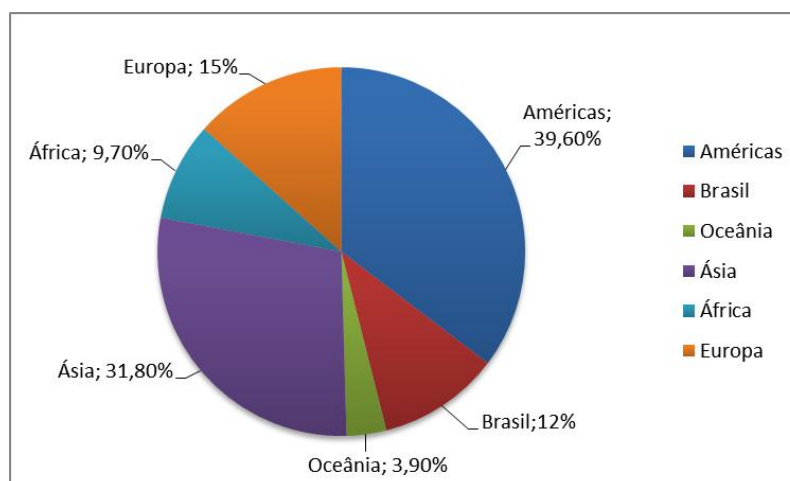
2.5. ESCASSEZ HÍDRICA NO BRASIL E NO MUNDO

A água é essencial para o desenvolvimento socioeconômico, produção de alimentos, energia e sobrevivência da espécie humana, além de influenciar diretamente nas mudanças climáticas e a construção de ecossistemas saudáveis (NAÇÕES UNIDAS, *s.d*). Ademais, também supre necessidades básicas tanto para consumo humano, como para saneamento e higiene, e o acesso a este recurso com qualidade é um direito do ser humano (UNESCO, 2021).

A água apresenta uma característica renovável através do ciclo hidrológico, na qual ocorre a circulação da água entre oceano e atmosfera com auxílio da luz solar. Apesar desse fenômeno não ter começo e fim, o ciclo não responde à demanda mundial crescente (SOITO, 2019). Dentre 1,386 milhões de quilômetros cúbicos de água no planeta, apenas 2,5% são de água doce, onde apenas 0,3% é encontrado em rios e lagos, o que mostra uma diferença significativa nos volumes de água salgada e doce na escala mundial (TARGUETA; SANTANA, 2019).

O Brasil se encontra em uma posição privilegiada no mundo em função da disponibilidade de recursos hídricos, apresentando 12% de toda água doce superficial encontrada na Terra, conforme demonstrado na Figura 2.3. Apesar disto, as regiões do país não apresentam recursos hídricos disponibilizados de forma homogênea, nas quais apresentam regiões com abundância e outras com graves casos de escassez (SOITO, 2019).

Figura 2.3. Distribuição de água doce superficial no mundo.



Fonte: Elaboração própria baseado em Soito (2019).

Além das regiões semiáridas, áreas mais populosas como Rio de Janeiro e São Paulo possuem alta demanda hídrica, mas enfrentam escassez em virtude do abastecimento de água prejudicado pelos fenômenos climáticos. O volume dos rios que constituem a rede hidrográfica brasileira são oriundos das chuvas, com exceção do rio Amazonas. No entanto, o regime atípico das chuvas vem afetando não só a geração de energia elétrica, como o abastecimento público, de modo que uma redução significativa dos índices pluviométricos são observados desde 2012 (ANA, 2014b *apud* TARGUETA; SANTANA, 2016).

A Unesco (2021) relata que o crescimento populacional, desenvolvimento econômico e mudanças dos padrões de consumo são fatores primordiais para o aumento do uso global de água. Além disso, a crise hídrica se trata não só da escassez, como do mau gerenciamento do uso e das fontes de água. Com isto, o seu esgotamento afeta não só a saúde humana, como o desenvolvimento socioeconômico, de modo que possa haver disputas globais por este recurso, além de migrações em massa (TARGUETA; SANTANA, 2016).

As áreas que demandam maiores volumes de água no país correspondem quase 90% do valor total. Dentre elas estão a irrigação com cerca de 67,2%, abastecimento animal em torno de 11% e atividades industriais com 9,5% (SOITO, 2019). Estudos apontam que a demanda de água no país aumenta significativamente com cerca de 80% em relação às últimas duas décadas e que até 2030, esse valor aumentará em 30% (ANA, 2017 *apud* SOITO, 2019).

A Unesco (2021) mostra que cerca de dois milhões de pessoas vivem em locais com elevado estresse hídrico. Além desses problemas, Nações Unidas (*s.d.*) mostra que 2,1 milhões de pessoas não possuem programas de serviços de água potável com segurança, quatro em cada dez pessoas são afetadas com a escassez hídrica e grande parte dos desastres naturais são relacionados diretamente com a água.

A qualidade das águas brasileiras é monitorada através de indicadores selecionados como *Escherichia coli*, oxigênio dissolvido, fósforo total, condutividade, turbidez, e outros parâmetros que irão compor o índice de qualidade das águas (IQA) (ANA, 2019). A poluição de grande parte dos rios da África, Ásia e América Latina justifica a piora da qualidade da água, onde é encontrada alta carga de nutrientes associados à patógenos (UNESCO, 2021).

A Unesco (2021) relata que a água imprópria para consumo e má condições de saneamento e higiene são causadores de doenças como diarreia e enteropatias ambientais. Cerca de 400 mil mortes ocorrem ao ano pela presença de doenças transmissíveis causadas pelo consumo de água com má qualidade. Atualmente ficou ainda mais evidente a

necessidade do acesso água, uma vez que, a higiene é um fator primordial para evitar a propagação do COVID-19. No entanto, cerca de três bilhões de pessoas não têm acesso às condições básicas de higiene para combater o contágio da doença. Dados de Unesco (2021) também mostram que 80% de águas residuais industriais são direcionados ao meio ambiente sem o devido tratamento, o que afeta diretamente a saúde humana e os ecossistemas. As condições em países não desenvolvidos são ainda piores pela ausência de programas de saneamento e a pandemia do Coronavírus, em 2020, atingiu diretamente as pessoas mais vulneráveis no Brasil e no mundo (UNESCO, 2021).

O produto interno bruto (PIB) também pode ser afetado pela escassez hídrica em até 6%, até 2050, como resultado de perdas na agricultura, saúde, renda e propriedade segundo o Banco Mundial. Estima-se que cerca de US\$ 6,5 bilhões são perdidos por ano em função da falta de saneamento (UNESCO, 2021).

Diante de todos os problemas, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) é alcançar o acesso universal da água potável de forma segura até 2030. Dentre as ações estabelecidas menciona-se o acesso ao saneamento e higiene, melhora da qualidade da água, aumento do tratamento das águas residuais, proteção e recuperação de ecossistemas que dependem da água. As ações requerem investimentos e cooperação mundial tanto no uso correto, como no desenvolvimento de tecnologias (PNUD, *s.d.*).

2.6. EFLUENTES HÍDRICOS GERADOS NA INDÚSTRIA DO PETRÓLEO

O processo de refino é conhecido pela geração de grandes volumes de água em seus processos que variam de acordo com as tecnologias, clima local, localização geográfica, capacidade de processamento e portfólio de produtos (PETROBRAS, 2021b). Targueta; Santana (2016) relatam o notório crescimento das indústrias e a consequente utilização de recursos naturais e com isto, a geração de resíduos e efluentes em função da utilização da água de processo, de resfriamento e outras aplicações são problemáticas que devem ser avaliadas.

Schor (2006) *apud* Szklo *et al.* (2012) relata que a demanda total de água na indústria do petróleo é de 250 a 350 litros por barril processado, o que significa 1,6 ou 2,2 barris de água por barril de petróleo. Além disso, a água apresenta características variáveis em função da refinaria onde é produzida e apenas uma fração pode ser reciclada e outra submetida a

tratamentos primários e secundários. Barbosa (2007) explica que a maior demanda de água na indústria petrolífera é dada nas etapas do resfriamento e dessalgação. Nesta mesma literatura é relatado que cerca de 48% do total de água é usada em torres de resfriamento, 20% em caldeiras e 12% restantes é dividido no combate a incêndio, água potável e outros usos industriais tendo como destaque perdas por evaporação e contaminação por produtos químicos (Hill, 2003 *apud* BARBOSA, 2007).

Dentro os usos de água na refinaria, destaca-se a etapa de dessalgação em que ocorre a lavagem do petróleo cru com água ácida e com objetivo de misturar sais, sólidos e água residual. Na destilação e craqueamento catalítico é observado um grande uso na injeção de vapor para controlar o processo, mas ressalta-se que o craqueamento também utiliza na lavagem de gases no topo da fracionadora (ALVA-ARGÁEZ *et al.*, 2007 *apud* POMBO, 2011).

Mariano (2001) explica que em relação a água de resfriamento no refino, é possível reduzir cerca de 90% da água captada utilizando circuitos fechados, o que diminui a produção de efluentes pela recirculação dessa água. Enquanto a água de alimentação das caldeiras é utilizada nos processos de retificação com vapor e destilação, mas gera efluentes contaminados por entrar em contato direto com o óleo.

A água produzida ou água conata existe no reservatório do petróleo desde a sua formação e é trazida para superfície junto com o óleo cru e esta água pode ser utilizada em processos de recuperação suplementar. (BACIA DE SANTOS, *s.d.*). Szklo *et al.* (2012) menciona outras quatro fontes de descargas líquidas nas refinarias. A primeira são os vazamentos intermitentes oriundos da lavagem de tanques e reatores ou falhas de equipamentos. A segunda fonte é a água de refrigeração que normalmente não entra em contato com o óleo e pode ser reciclada através de sistemas fechados com torre de refrigeração (BRASIL *et al.*, 2015; SZKLO *et al.*, 2012).

Outra fonte é a água de processo em que o líquido entra em contato com o óleo apresentando alto teor de contaminantes, de modo que o volume produzido depende dos processos na qual o óleo foi submetido. A corrente é oriunda da dessalgação, torre de destilação, fracionamento e esgotamento. Além disso, outras fontes são mencionadas como água para uso sanitário e água de chuva contaminada nas refinarias (SZKLO *et al.*, 2012).

Nesse viés, os efluentes de cada unidade da refinaria apresentam diversos poluentes como os sólidos, metais pesados, substâncias que podem alterar o potencial hidrogeniônico (pH) e temperatura da água, compostos tóxicos, sais, substâncias tensoativas, compostos

nitrogenados e consumidores de oxigênio e fósforo conforme mostrado na Quadro 2.1 e no Apêndice A. O óleo pode estar presente na água sob a forma livre, em emulsão ou solúvel. Íons radioativos nas incrustações são fontes de radioatividade, tal como o rádio que será coprecipitado. Em função da presença de tóxicos, a sobrevivência de microrganismos é baixa (MOTTA *et al.*, 2013).

Quadro 2.1. Principais poluentes contidos nos efluentes em função das unidades da refinaria.

UNIDADES DA REFINARIA	POLUENTES
Dessalinização	Óleo livre e emulsionado, fenol, amônia, cloreto, sólidos em suspensão, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).
Destilação	Óleo, mercaptans, cloretos, fenol, DBO, DQO, carbono oxigênio total (COT) e sulfeto.
Craqueamento térmico	Amônia, sulfetos, fenol e óleo.
Craqueamento catalítico	Óleo, sulfeto, amônia, fenol, DBO, DQO e COT.
Hidrocraqueamento	Sulfeto, fenol, amônia, DBO, DQO e COT.
Reforma catalítica	Sulfetos, mercaptans, óleo e amônia.
Coqueamento	Sulfetos, sólido em suspensão, DQO e amônia.

Fonte: Autoria própria baseado em Brasil *et al.* (2015) e Mariano (2001).

Desta forma, os poluentes podem gerar grande impacto social, ambiental e econômico com desequilíbrios ecológicos, piora na qualidade da água e impacto na saúde humana, de modo que devem ser submetidos aos tratamentos adequados (MARIANO, 2001).

2.7. IMPACTOS AMBIENTAIS

Uma fração considerável da água utilizada nas refinarias pode ser reciclada, enquanto uma outra parte encontra-se contaminada devendo ser submetida a tratamentos (SZKLO *et al.*, 2012). Simplício (2019) explica que a composição da água produzida influencia diretamente nos impactos ambientais e danos à população, caso não haja o tratamento adequado. Com isto, as propriedades físicas e químicas, temperatura de descarte e teor de matéria orgânica são variáveis primordiais para análise dos impactos (VEIL *et al.*, 2004 *apud* GOMES, 2014).

Dentre eles, a poluição, desequilíbrio ecológico, degradação da paisagem, contaminação de corpos d'água, solo e aquíferos podem gerar danos à fauna e flora. As doenças de pele, irritações, dermatites, intoxicações, agravamento da escassez, assoreamento de mananciais e prejuízo no abastecimento humano são efeitos que impactam diretamente o ser humano. Quanto aos animais, mencionam-se problemas de ingestão, incrustações de sais nas penas de aves e até morte. O solo também pode ser afetado caso haja deposição da água sem o devido tratamento, o que o torna improdutivo para agricultura (MARIANO, 2001; SIMPLÍCIO, 2019). Ao entrar em contato com o ambiente aquático, a água passa por alguns processos químicos, biológicos e físicos, tais como a diluição, dispersão, volatilização, reações físico-químicas, adsorção, sedimentação e biodegradação (NIU *et al.*, 2011 *apud* GOMES, 2014).

Os sólidos dissolvidos e em suspensão podem gerar o assoreamento dos recursos hídricos, soterramento de animais aquáticos e aumento da turbidez que reduz a transparência, seguida da redução da atividade fotossintética e consequente diminuição do oxigênio dissolvido. Os metais pesados como cádmio, cobre, chumbo e ferro geram intoxicação de animais aquáticos e redução do número de espécies. A liberação de fluidos com pH distante da água pode causar influência nos tratamentos de água, aumento da toxidez e prejuízo agrícola na irrigação (MARIANO, 2001). Os óleos e graxas formam uma barreira ao entrarem em contato com o ambiente aquático impedindo o ciclo biótico e aumentando a mortalidade das espécies (NETO; SILVA, 2010).

Compostos tóxicos como fenóis e mercaptans são tóxicos para o ser humano, assim como podem gerar danos à fauna e flora. As substâncias tensoativas reduzem a viscosidade da água e tensão superficial, além de gerar toxidez, sabor, espumas e danos à flora. Grande volume de efluentes provenientes do refino são constituídos por DBO e DQO diminuindo a quantidade de matéria consumidora de oxigênio e prejudicando as reações ocasionadas pela

decomposição de matéria por bactérias. O nitrogênio proveniente da amônia pode gerar a eutrofização promovida pelo crescimento excessivo de algas e plantas. Com isto, são gerados problemas no odor, sabor, turbidez, toxidez, cor e matéria orgânica. Em consequência, menciona-se assoreamento, redução do reservatório e penetração da luz, entupimentos e produção de matéria orgânica (MARIANO, 2001).

A elevação da temperatura ocorre em função do despejo da água de refrigeração. Desta forma, a viscosidade é diminuída gerando o afundamento de organismos e o aumento das reações aumentam a toxidez de compostos químicos. A presença de sais pode eliminar algumas espécies dependendo da quantidade. Atualmente, um dos maiores problemas da indústria petrolífera é a poluição do óleo cru que reduz a luz solar pela formação do óleo, bem como a fotossíntese prejudicando o fitoplâncton. A deposição no fundo gera sedimentos que prejudicam o ambiente marinho. A ingestão de frutos do mar contaminados afeta diretamente o ser humano por serem cancerígenos quando contaminados com o óleo. A aderência do material gera alta toxicidade e a morte de animais (MARIANO, 2001).

Diante disto, a resolução CONAMA 20/1986 foi criada com o objetivo de controlar e avaliar a qualidade da água e reformular a classificação para especificar o padrão de qualidade, especificar as condições e distribuir o uso da água através da criação de nove classes de água em doce, salina e salobra. No entanto, as classes não levavam em consideração as características do ecossistema do corpo d'água, além, da lista dos parâmetros ser extensa e difícil de ser verificada. Com isto, 19 anos depois a resolução 357/2005 passou a revogá-la (FORGUIARINI, *s.d.*). Tal lei estabelece o padrão de qualidade da água em função de 13 classes, que são conjuntos de condições e padrões de qualidade para um determinado uso (CONAMA, 2005).

A diretriz de controle de carga orgânica (DZ-205) em efluentes líquidos de origem industrial determina o limite de inferior ou igual a 100 kg/dia de DBO ou deverão ser removidos no mínimo 90%. Já a Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente (FEEMA) relata padrões e critérios para o lançamento direto e indireto de efluentes líquidos oriundas de atividades poluidoras em águas costeiras ou interiores, superficiais ou subterrâneas do estado do Rio de Janeiro. Os efluentes devem estar dentro dos padrões estabelecidos e caso haja existência ou previsão de características em desacordo com a legislação, a FEEMA deve estabelecer limites restritivos (FEEMA, 1986).

2.8. ÁGUA DE REÚSO

A escassez hídrica é um tema debatido mundialmente, tendo em vista que a disponibilidade da água diminui ao longo dos anos devido ao aumento do consumo, apesar do país apresentar abundância de recursos hídricos. Somado a isto, a indústria utiliza grandes volumes de água, mas estuda tecnologias para diminuir o impacto ao meio ambiente através do tratamento e reutilização da água em seus processos (BARBOSA *et al.*, 2005). Diversas comunidades por ora não apresentam suprimentos de água disponíveis e diante desta problemática, o reúso de água é uma alternativa para reduzir a poluição e lançamento de efluentes (EPA, 2004 *apud* BARBOSA *et al.*, 2005).

A água de reúso é uma alternativa para atividades industriais, agrícolas, irrigação paisagística e limpeza urbana onde, atualmente, a água potável é utilizada. Ao ser substituída pela água reutilizada, a potável é destinada apenas para finalidades essenciais como o consumo humano. Desta forma, a demanda de águas mananciais é reduzida obtendo maior gestão dos recursos em uma sociedade que sofre diretamente com a falta de água, restrição do seu consumo e conflito pelo uso (TARGUETA; SANTANA, 2016; PINTO *et al.*, 2014 *apud* MOURA *et al.*, 2020).

A água de reúso pode ser definida como reutilização de água proveniente de efluentes tratados (BARROS *et al.*, 2015 *apud* MOURA *et al.*, 2020). A Resolução nº 54 em 28 de novembro de 2005 define no Art. 2º que água de reúso é aquela em que os padrões devem estar dentro do estabelecido para que possa ser reutilizada em suas respectivas modalidades (BRASIL, 2005). Mancuso & Santos (2003) *apud* Gonçalves (2015) relata que a água de reúso é o aproveitamento de água já utilizadas diversas vezes, de modo a suprir outras necessidades.

Handam *et al.* (2021) explica que a água de reúso é uma alternativa primordial para o melhor gerenciamento de água, desde que tenha qualidade atendida por órgãos reguladores e não causem risco a saúde humana e ambiental. A Lei nº 14.026/2020 (BRASIL, 2020), tornou obrigatório o reúso da água, proveniente da chuva, de estações de tratamento de esgoto ou do tratamento de líquidos do processo industrial, em novas edificações residenciais, industriais, comerciais e públicas.

Nunes (2006) resume os tipos de água de reúso como reúso indireto não planejado, em que a água já foi utilizada algumas vezes em atividade humana e é direcionada ao meio ambiente para reutilização, mas de forma não intencional e descontrolada. Enquanto o reúso

direto e planejado, o efluente é tratado e direcionado de forma planejada. No reúso direto e planejado, o efluente é tratado e direcionado ao local de reúso.

Existem diversas vantagens para a utilização da água de reúso, dentre elas é a redução de custos no despejo de efluentes e energia e utilização de produtos químicos para tratamento de água e captação de água atingindo maior valor econômico. Menciona-se os benefícios ambientais pela redução de consumo da água proveniente de fonte natural e despejo de efluentes nos corpos hídricos, além da disponibilidade de água com maior qualidade para determinadas finalidades. Por último, os benefícios sociais pelo surgimento de tecnologias para tratamento de efluentes, geração de empregos diretos e indiretos e melhora na imagem da empresa (SAUTCHUK *et al.*, 2004 *apud* TARGUETA; SANTANA, 2016).

A Lei nº 9605/98 chama de Lei da Natureza ou dos Crimes ambientais relata como crime causar poluição hídrica em água utilizada como abastecimento humano. Tal lei se tornou um incentivo ao reúso ao impor o tratamento de efluentes e minimizar o impacto dos mesmos (BRASIL, 1998). O conselho econômico e social das nações unidas criou uma política de gestão alegando que nenhuma água de boa qualidade deve ser utilizada em finalidades que toleram baixa qualidade (HESPANHOL, 2003 *apud* TARGUETA; SANTANA, 2016).

Com a alta demanda de água na indústria do refino e a carência de água que assola o país, órgãos fiscalizadores passaram a orientar indústrias a desenvolverem tecnologias sustentáveis desde a produção até o tratamento final seguindo leis cada vez mais rigorosas (TARGUETA; SANTANA, 2016). Uma das alternativas é a água de reúso, que antes de ser aplicada deve ser tratada na própria área de efluentes da indústria, dos efluentes da estação de tratamento de esgoto público ou efluentes de outras origens. Dentre as finalidades cita-se para sistemas de resfriamento, alimentação de caldeiras, água de processo, lavagem de pátios e rega de jardins (MANCUSO & SANTOS, 2013 *apud* GONÇALVES, 2015). Hespanhol (2003) relata que o reúso pode ser macroexterno, em que a água é tratada e reutilizada por um conjunto de indústrias ou microinterna, em que a água é reutilizada dentro da própria unidade.

A água para torres de resfriamento, por exemplo, requer atenção com a temperatura, amônia e sais para evitar processos de corrosão. Para uso de compactação no solo, lavagens e cura de concreto não há necessidade de alta qualidade, o que difere da água destinada para caldeiras necessitando de tratamentos de água mais avançados atingindo limites sais, metais e alcalinidade. Existem uma variedade de parâmetros que devem ser adotados como cloreto, sólido dissolvido e suspenso total, dureza, alcalinidade, pH, DQO, DBO, turbidez, compostos

orgânicos, nitrogênio amoniacal, fosfato, sílica, alumínio, cálcio, magnésio, bicarbonato, sulfato, cobre, zinco e oxigênio dissolvido (TARGUETA; SANTANA, 2016).

A Agência de proteção ambiental dos Estados Unidos (*Environmental Protection Agency* - EPA) criou um manual para conservação e uso eficiente da água, na qual são apresentadas técnicas e formas de conservação deste recurso citando, por exemplo, a recirculação de água dentro da indústria (EPA, 2012). A Tabela 2.1 demonstra os parâmetros requisitados para os principais tipos de reutilização de água.

Tabela 2.1. Valores máximos permitidos em função dos principais tipos de reúso.

Parâmetros	Tipo de reúso		
	Resfriamento ^{(1), (3)} (mg/L exceto pH)	Irrigação ^{(2), (3)} (mg/L exceto pH)	Sistemas de combate a incêndio ⁽²⁾ (mg/L exceto pH)
pH	6,9 - 9 ⁽¹⁾ / 6 - 9 ⁽³⁾	6 - 9 ⁽²⁾	6 - 9
DBO	25 ⁽¹⁾ / ≤ 30 ⁽³⁾	≤ 10 ^{(2), (3)}	≤ 10
Sólidos totais dissolvidos (STD)	500 ⁽¹⁾	500 - 2,000 ⁽²⁾	-
Teor de sólidos suspensos (TSS)	100 ⁽¹⁾ / ≤ 30 ⁽³⁾	-	-
Coliformes fecais	≤ 200 coliforme fecal/100 mL ⁽³⁾	-	-
Cloro residual	1 ⁽³⁾	< 1 ^{(2), (3)}	< 1
Dureza	650 ⁽¹⁾	-	-
Alcalinidade	350 ⁽¹⁾	-	-
DQO	75 ⁽¹⁾	-	-
Turbidez	50 ⁽¹⁾	≤ 2 UTN (unidade de turbidez nefelométrica) ^{(2), (3)}	≤ 2 UTN
Material orgânico	1,0 ⁽¹⁾	-	-
NH_4N	1,0 ⁽¹⁾	-	-
PO_4	4,0 ⁽¹⁾	-	-
SiO_2	50 ⁽¹⁾	-	-
Alumínio	0,1 ⁽¹⁾	5 ⁽³⁾	-
Ferro	0.5 ⁽¹⁾	5 ⁽³⁾	-
Manganês	0.5 ⁽¹⁾	0,2 ⁽³⁾	-

Parâmetros	Tipo de reúso		
	Resfriamento ^{(1), (3)} (mg/L exceto pH)	Irrigação ^{(2), (3)} (mg/L exceto pH)	Sistemas de combate a incêndio ⁽²⁾ (mg/L exceto pH)
Cálcio	50 ⁽¹⁾	-	-
Magnésio	0,5 ⁽¹⁾	-	-
HCO ₃	24 ⁽¹⁾	-	-
SO ₄	200 ⁽¹⁾	-	-
Arsênio	-	0,1 ⁽³⁾	-
Berílio	-	0,10 ⁽³⁾	-
Cádmio e molibdênio	-	0,01 ⁽³⁾	-
Cromo e vanádio	-	0,1 ⁽³⁾	-
Chumbo	-	0,2 ⁽³⁾	-
Fluoreto	-	1,0 ⁽³⁾	-
Lítio	-	2,5 ⁽³⁾	-
Zinco	-	2,0 ⁽³⁾	-
Boro	-	0,75 ⁽³⁾	-
Níquel	-	0,2 ⁽³⁾	-

Fonte: Elaboração própria baseado em (1) EPA (1992); (2) EPA 2004; (3) EPA 2012 (2022).

Gonçalves (2015) aponta que em algumas refinarias brasileiras já existentes ou em fase de projeto possuem boas expectativas para adoção do reúso de água. Na refinaria Henrique Lage (REVAP), por exemplo, é esperado que cerca de 2,6 bilhões de litros sejam reaproveitados do efluente industrial. Na Refinaria Capuava (RECAP), é previsto o reúso de 700 milhões de litros ao ano e no Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ), 15 bilhões de litros por ano. Somado a isto, uma parceria da Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) com Odebrecht ambiental em 2012 gerou um dos maiores projetos de reúso industrial da América do sul, o Aquapolo. O programa objetiva abastecer indústrias do polo petroquímico, em que a cada litro de água gerada, um litro de água potável é economizada (TARGUETA; SANTANA, 2016).

A refinaria Duque de Caxias (REDUC) desde 2020 reutiliza água para manter o sistema de atendimento às emergências da refinaria, uma iniciativa alinhada a reduzir a 30% de captação de água doce das operações na Petrobras até 2025 (PETROBRAS, 2020b). Em

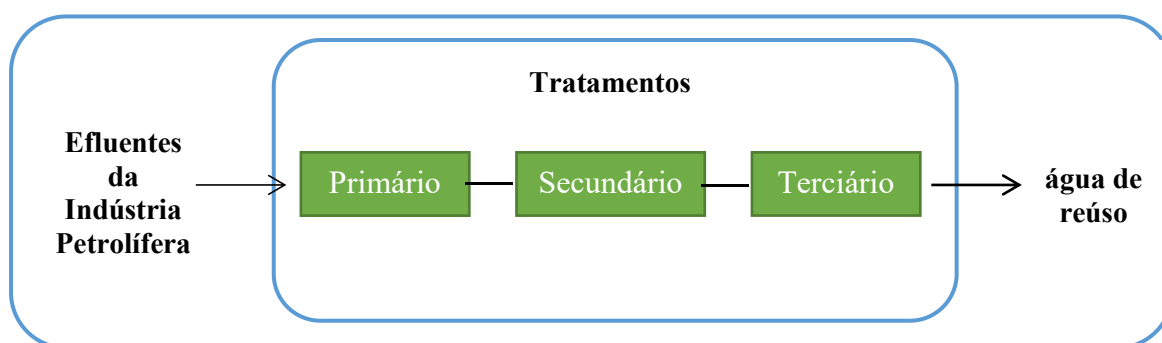
2019, o volume total de água de reúso na Petrobras foi de 82,2 milhões de m³, que corresponde a 34% da demanda total de água doce (PETROBRAS, 2020c).

A refinaria Presidente Bernardes de Cubatão (RPBC) reutilizou cerca de 1,5 bilhão de litros em 2020 e a refinaria de Paulínia (REPLAN) apresenta economia de 3,2 bilhões representando 15% do consumo total de água nessa refinaria. Na REVAP, 32% do volume utilizado em processos é água reutilizada e a RECAP reutiliza cerca de 70 mil litros de água por hora (PETROBRAS, 2021a).

2.9. TECNOLOGIAS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA

Os tratamentos visam adequar a água aos padrões requisitados de acordo com as suas finalidades, de modo a realizar uma série de procedimentos para adequar suas características físicas, químicas e microbiológicas (TARGUETA; SANTANA, 2016). O tratamento primário objetiva a remoção de compostos mais grosseiros, flutuantes e suspensos. Já o tratamento secundário visa a degradação biológica de compostos orgânicos através da oxidação de poluentes orgânicos não recalcitrantes transformando em constituinte inorgânico. Já a etapa terciária ou etapa de polimento possui a finalidade de remover os constituintes remanescentes e de difícil remoção da etapa secundária, de modo que o efluente esteja apto para o reúso (SOUZA, 2010). A Figura 2.4 exemplifica o esquema geral para o tratamento de efluentes.

Figura 2.4. Esquema geral para Tratamento de Efluentes na Indústria petrolífera.



Fonte: Elaboração própria (2022).

Desta forma, o efluente oriundo do refino é submetido ao sistema de tratamento constituído por diversas etapas, a fim de evitar a contaminação dos locais onde é despejado e

não alterar os limites estabelecidos pela Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) 430/11 (MACHADO, 2018).

Dentre as principais tecnologias, o processo de separação por membranas é considerado uma variação de processos convencionais e têm sido largamente utilizados na indústria para o tratamento de efluentes (SOUZA, 2010). A técnica se baseia na restrição total ou parcial de espécies através de uma membrana de microfiltração (MF), ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF) ou osmose inversa (OI) com seus respectivos tamanhos e utilizando o gradiente de pressão como força motriz (HABERT *et al.*, 2006 *apud* SOUZA, 2010).

No entanto, para aumentar a remoção de matéria orgânica dissolvida (MOD) e diminuir incrustações na membrana seria necessário integrar processos como pré-tratamento e a tecnologia e biorreator de membrana (BRM) vem sendo uma alternativa utilizada por indústrias. Esta técnica se baseia na combinação dos processos com membrana e um reator biológico, na qual realiza a transformação da matéria orgânica e mineral em biomassa através do tratamento biológico no biorreator, seguida da separação física das fases líquida e sólida pela membrana removendo bactérias e sólidos suspensos que não são removidos facilmente no tratamento de lodo ativado convencional (SOUZA, 2010).

Somado a isto, a remoção de componentes recalcitrantes e tóxicos ainda é um problema no tratamento de efluentes e os processos oxidativos avançados (POAs) são alternativas na remoção desses compostos (SOUZA, 2010). As técnicas são caracterizadas pela geração de radicais hidroxilas (OH^-) que oxidam grande parte dos compostos orgânicos presente na água tanto por adição à dupla ligação ou por abstração do átomo de hidrogênio em moléculas orgânicas alifáticas. Desta forma, ocorre a geração de radicais que irão reagir com oxigênio dando início a uma série de reações de degradação que geram CO_2 e H_2O , por exemplo (AMIRI *et al.*, 1997). Essa tecnologia é utilizada como pré-tratamento ou pós-tratamento de um processo biológico, de modo a degradar substâncias tóxicas e os processos oxidativos são apresentados no Quadro 2.2.

Quadro 2.2. Processos oxidativos avançados.

PROCESSO	NOME
H_2O_2/Fe^{2+}	Fenton
H_2O_2/Fe^{3+}	Fenton-like
$H_2O_2/Fe^{2+}(Fe^{3+})/UV$	Foto/ Fenton
H_2O_2/Fe^{3+} - oxalato	Foto / Fenton - like
Mn^{2+} / ácido oxálico/ ozônio	-

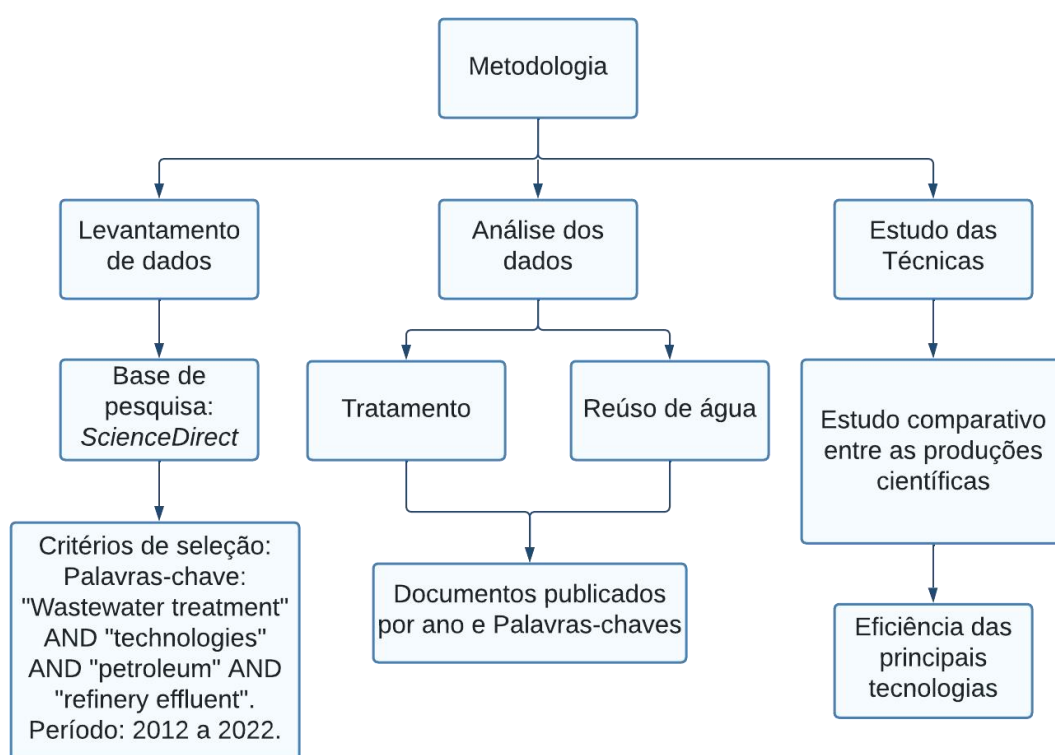
$TiO_2/UV/O_2$	Foto catálise
O_3/H_2O_2	Peroxidação
O_3/UV	Oxidação por O_3/UV
H_2O_2/UV	Oxidação por H_2O_2/UV

Fonte: Autoria própria baseado em Pombo (2011).

3. CAPÍTULO 3 – METODOLOGIA

Neste capítulo serão abordados os métodos de pesquisa para a elaboração deste trabalho, de modo a classificar o procedimento metodológico como revisão bibliográfica de método exploratório. A metodologia se divide em três etapas: pesquisa bibliográfica, análise de dados e estudo de caso conforme visto na Figura 3.1.

Figura 3.1- Representação esquemática da metodologia.



Fonte: Elaboração própria (2022).

3.1. PESQUISA BIBLIOGRÁFICA

A pesquisa bibliográfica é construída através de produções científicas registradas e disponíveis em artigos, documentos impressos, livros e outros, de modo a trabalhar selecionando dados comprovados em estudos de outros autores. Somado a isto, a pesquisa exploratória levanta e seleciona dados sobre um determinado assunto delimitando e mapeando seus principais pontos (SEVERINO, 2013).

A metodologia utilizada no presente estudo de revisão bibliográfica é enquadrada no procedimento de caráter exploratório, pois envolveu a seleção, análise de documentos e coleta de informações sobre as principais tecnologias para tratamento e reúso de água na indústria petrolífera utilizando uma série de critérios para seleção do material, de modo a obter uma comparação efetiva entre as tecnologias e apresentar a eficiência das mesmas.

O primeiro critério utilizado foi o ano de publicação dos trabalhos tendo em vista que as produções científicas desenvolvidas em um período maior que dez anos foram consideradas como desatualizadas, especialmente quando levado em consideração a coleta de dados recentes e que as tecnologias devem atender as demandas do mercado.

A coleta de informações sobre o tema envolveu uma série de produções científicas como trabalhos de conclusão de curso, monografias, dissertações, artigos e livros objetivando encontrar uma base sólida para futuras discussões. Com isto, a base de pesquisa selecionada foi *ScienceDirect*, por sua abrangência e grande relevância. É uma plataforma de pesquisa científica proveniente da *Elsevier*, uma empresa global holandesa, que atua divulgando artigos, periódicos e outros documentos no âmbito da saúde, ciências humanas e da vida, ciências sociais, ciências físicas e engenharia (*ScienceDirect*, 2022). A pesquisa foi realizada por meio das palavras-chave combinadas e em inglês: "wastewater treatment" AND "technologies" AND "petroleum" AND "refinery effluent" para uma análise dos trabalhos encontrados. Foi aplicado filtro para análise de relevância como: "Área de Engenharia Química", de modo a buscar artigos de maior relevância como base de estudo.

3.2. ANÁLISE DE DADOS

Foi realizada a seleção, avaliação e comparação do conteúdo de todas as produções científicas. Foram identificadas cerca de 73 produções científicas, nas quais 7 foram selecionados após uma análise de títulos, resumo, ano, tipo de tratamento e reutilização do efluente, a fim de que atendessem o objetivo da pesquisa e fossem utilizados como argumento nas discussões conforme visto no Quadro 3.1. Menciona-se que após uma leitura crítica houve a exclusão de trabalhos duplicados.

Quadro 3.1 - Palavras-chave utilizadas na busca de produções científicas.

Termos de busca	Período	<i>ScienceDirect</i>
"wastewater treatment" AND "technologies" AND "petroleum" AND "refinery effluent"	2012-2022	73 (Para uma análise mais detalhada - 7 artigos)

Fonte: Elaboração própria (2022).

Desta forma, foi realizada uma análise dos documentos publicados pelo *ScienceDirect* por ano dentro de 2012 a 2022, países que mais publicaram e palavras-chave mais utilizadas que contribuem para divulgação do tema.

3.3. ESTUDO DAS TÉCNICAS

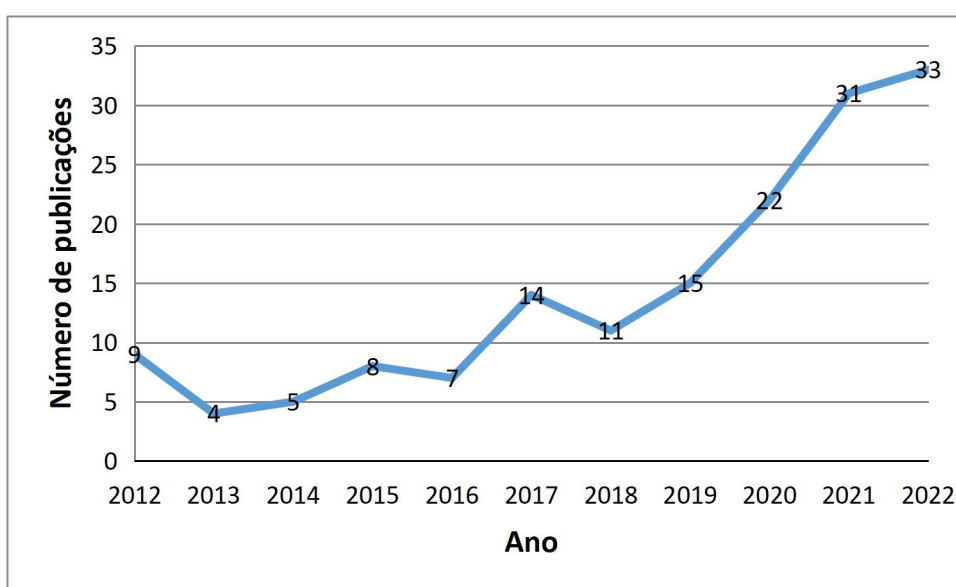
Com base no estudo aprofundado das 7 produções científicas, a etapa final do trabalho sugere as principais tecnologias utilizadas na indústria petrolífera mediante ao atendimento das legislações estabelecidas e comparação de seus principais pontos: técnicas aplicadas no tratamento e reúso da água, caracterização da água antes e após tratamento, processo de refino em que a água é retirada, desempenho, eficiência e desafios encontrados e sugestões de reúso.

4. CAPÍTULO 4 – RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. LEVANTAMENTO DE DADOS

A pesquisa realizada apresentou 73 artigos e, inicialmente, foi elaborada uma análise do perfil de publicação no período de 2012 a 2022. O Gráfico 4.1 apresenta a quantidade de produções ao longo dos últimos 10 anos.

Gráfico 4.1. Quantidade de documentos publicados entre 2012 e 2022.

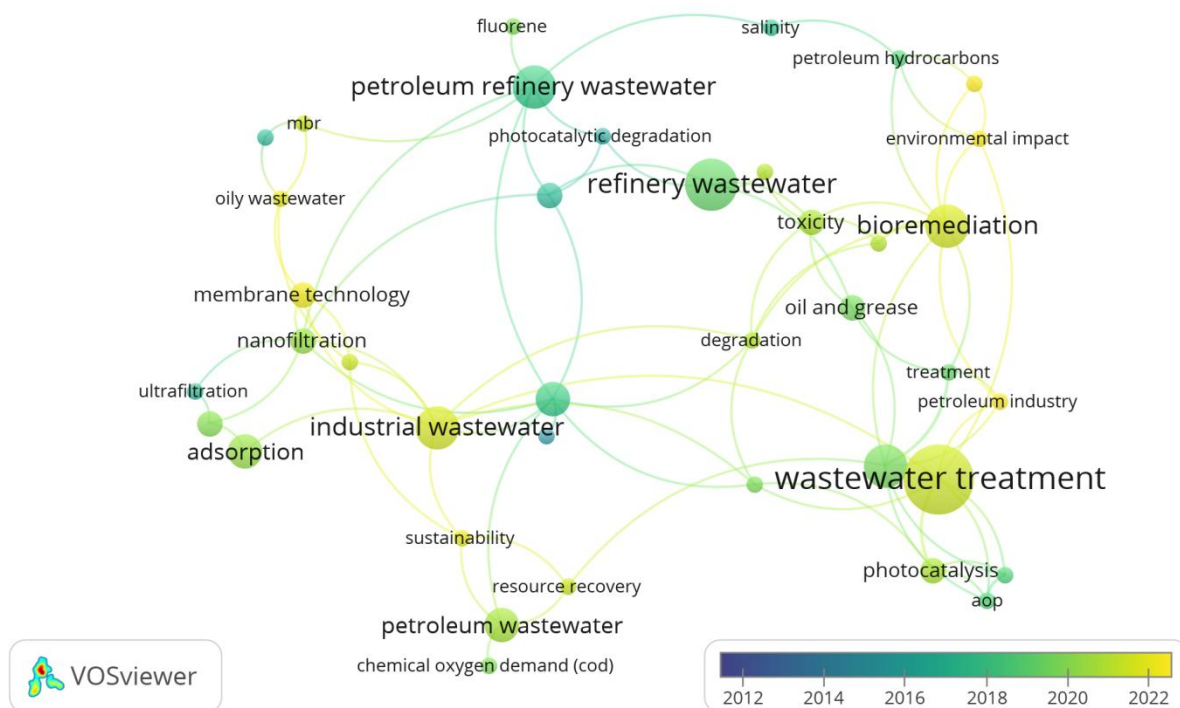


Fonte: Elaboração própria (2022).

É possível identificar que apesar de uma leve queda no ano de 2017, desde 2018 tem ocorrido uma ascensão no número de documentos publicados na área de pesquisa em estudo e, principalmente, em 2020 que foi ápice da pandemia de coronavírus. Este aumento pode ser justificado pelo aumento da preocupação mundial em relação a crise hídrica e pelas problemáticas ocasionadas pela pandemia, como aumento da utilização de água para melhor higienização, além do mau gerenciamento, aumento populacional e mudanças climáticas que já vinham sendo notadas ao longo dos anos.

Com o objetivo de apresentar as palavras-chave mais abordadas pelos artigos do *Sciencedirect* e verificar as principais atividades e relação entre elas, foi desenvolvido um mapa de ocorrência com a rede de relacionamento desses termos, através do software VOSViewer™ como mostra a Figura 4.1.

Figura 4.1. Palavras-chaves mais utilizadas na área de pesquisa.

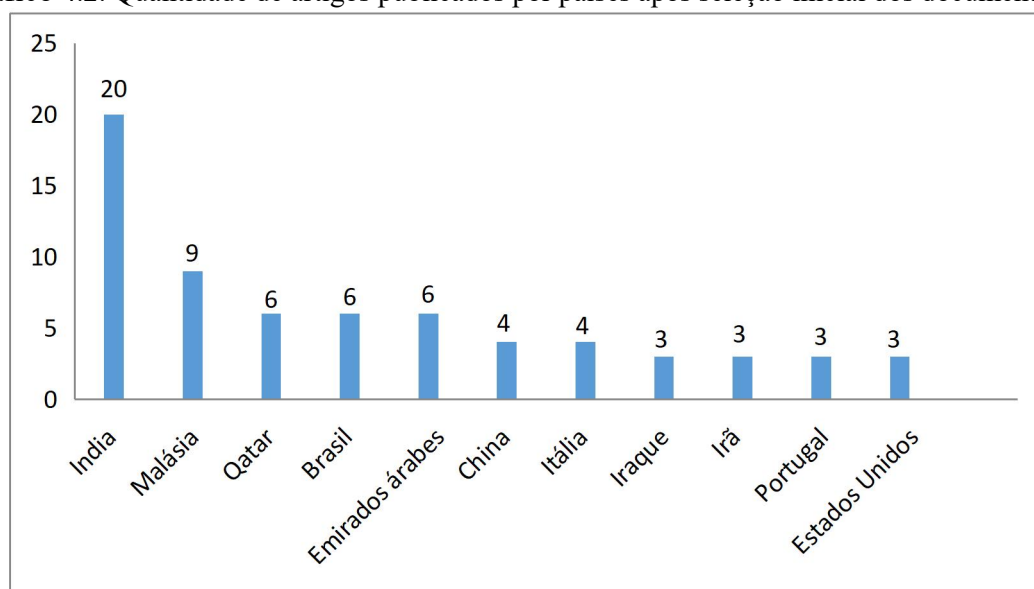


Fonte: Elaboração própria através do VOSviewer™ (2022).

Na Figura 4.1 constam as palavras-chaves mais utilizadas entre os artigos seleccionados, e é notório que algumas tecnologias estão sendo mais abordadas no tratamento de água da indústria petrolífera como a de membranas envolvendo nanofiltração, ultrafiltração e biorreator de membrana (BRM) o que condiz com as tecnologias seleccionadas dos autores Razavi e Miri (2015), Ahmad *et al.* (2017) e Zhao *et al.* (2012) além de processos de oxidação avançada também evidenciado pelos artigos Aljuboury e Shaik (2021), Moser *et al.* (2017), Demir-Duz *et al.* (2019) e Pourehie e Saien (2021).

Já o Gráfico 4.2 evidencia os principais países que desenvolveram tecnologias embasadas no tema. Dentre eles, os principais produtores de petróleo como Estados Unidos, Iraque, Emirados Árabes, Irã e Brasil segundo IBP (2021a) apresentaram números significativos de artigos publicados. Ressalta-se que a Índia, a terceira maior consumidora de petróleo do mundo segundo IBP (2021b), se destacou em relação aos outros países e isso pode ser justificado pela crescente preocupação com a crise hídrica que assola o país afetando a população surgindo a necessidade da implementação de políticas focando no reúso de água.

Gráfico 4.2. Quantidade de artigos publicados por países após seleção inicial dos documentos.



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.2. TÉCNICAS PARA TRATAMENTO E REÚSO

As técnicas selecionadas para tratamento e reúso na indústria petrolífera, juntamente com seus respectivos autores e ano são demonstrados no Quadro 4.1.

Quadro 4.1. Técnicas selecionadas para o tratamento e reúso de água.

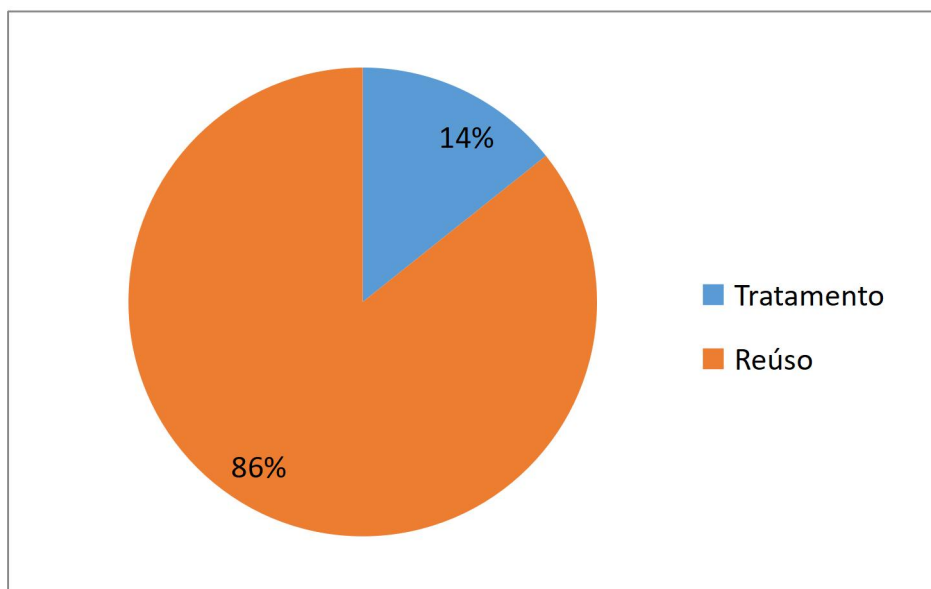
Artigos	Autores	Técnica	Ano
Recycling of high temperature steam condensed water from petroleum refinery by thermostable PPESK ultrafiltration membrane.	Zhao <i>et al.</i>	Membrana de Ultrafiltração (UF) de PPESK	2012
A real petroleum refinery wastewater treatment using hollow fiber membrane bioreactor (HF-MBR).	Razavi e Miri	Biorreator do tipo membrana (BRM) e ultrafiltração (UF)	2015
Effect of MBR-H ₂ O ₂ /UV Hybrid pre-treatment on Nanofiltration performance for the treatment of petroleum refinery wastewater.	Moser <i>et al.</i>	Fotólise assistida por peróxido de hidrogênio (UV/H ₂ O ₂) em BRM no processo de nanofiltração	2017

Approaching zero discharge concept in refineries by solar-assisted photo-Fenton and photocatalysis processes.	Demir-Duz <i>et al.</i>	Processo oxidativo Foto-Fenton	2019
Nanofiltration membrane processes for water recycling, reuse and product recovery within various industries: A review.	Ahmad <i>et al.</i>	Nanofiltração	2021
Optimization of the petroleum wastewater treatment process using TiO ₂ /Zn photocatalyst.	Aljuboury e Shaik	Fotocatalisadores de TiO ₂ e ZnO com energia solar e utilizando ar com fonte de oxigênio	2021
Solar driven homogeneous sodium hypochlorite/iron process in treatment of petroleum refinery wastewater for reusing.	Pourehie e Saien	Processo homogêneo de hipoclorito de sódio e ferro movido a energia solar (Solar/NaOCl/Fe ⁺²)	2021

Fonte: Elaboração própria (2022).

Foi possível constatar, através do Gráfico 4.3 e mediante a análise crítica dos artigos selecionados no Quadro 4.1 que 86% dos autores objetivaram tratar efluentes das refinarias visando o reúso, enquanto 14% apenas descrevem suas respectivas técnicas. Esses dados sugerem que a indústria petrolífera vem desenvolvendo cada vez mais estudos visando o reúso e não apenas o tratamento. Essas iniciativas são primordiais para que a água de alta qualidade seja utilizada para consumo humano.

Gráfico 4.3. Análise quantitativa da possibilidade de reúso dentro da indústria.



Fonte: Elaboração própria (2022).

4.3. ESTUDO DAS TÉCNICAS

Através dos artigos mencionados foi possível identificar a existência de diferentes técnicas para o tratamento de água para reúso. Com isto, não há um demonstrativo para determinar a melhor técnica utilizada, pois esta deve condizer com a característica da água e contaminantes presentes na mesma visando sua reutilização. No entanto, é possível fazer um panorama através da análise das produções científicas. O processo de separação por membrana vem se mostrando muito eficaz no tratamento de efluentes. Com isto, foram selecionados 3 artigos embasados neste tema, abordando a ultrafiltração e a nanofiltração.

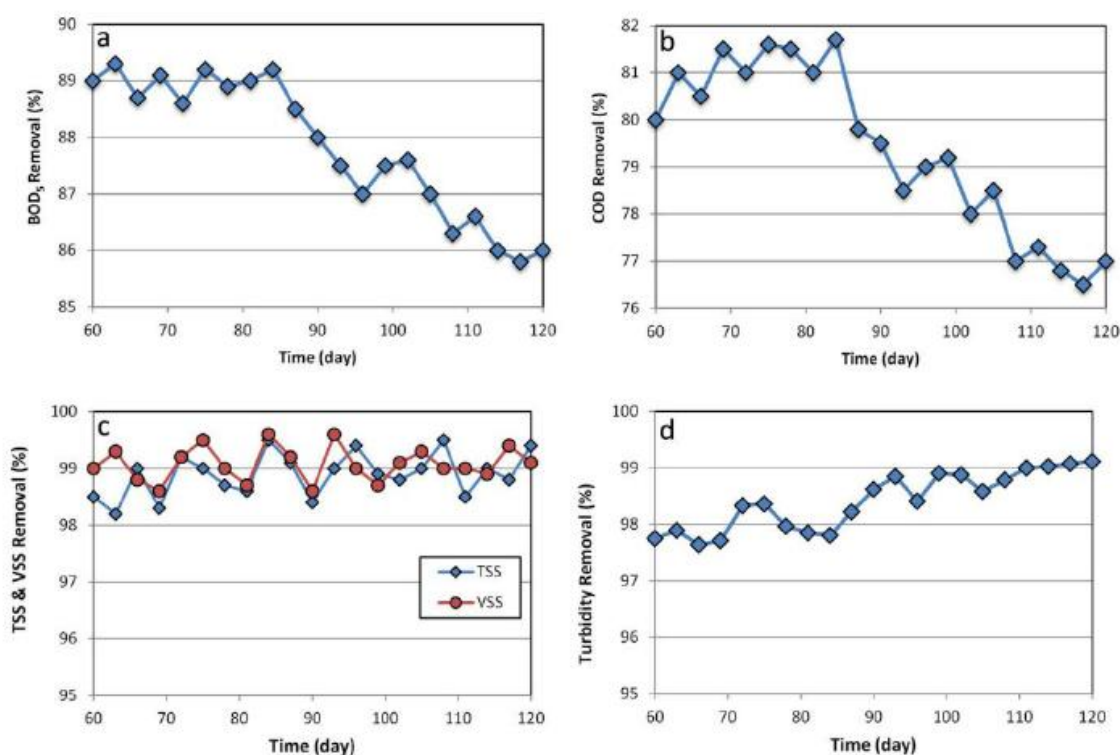
4.3.1. Ultrafiltração

Os autores Razavi e Miri (2015) estudaram a capacidade de um biorreator do tipo membrana (BRM) de fibra oca para o tratamento de efluentes provenientes da estação de tratamento da refinaria de Arak visando a eliminação de DQO, DBO, teor de sólidos suspensos (TSS), sólidos suspensos voláteis (SSV) e turbidez. Com isto, foi montado um biorreator imerso em um tanque lodo ativado e uma membrana de ultrafiltração (UF) de polipropileno. O autor relata que a utilização do lodo ativado com filtração por membrana

apresenta uma série de benefícios como boa capacidade de desinfecção, efluente de alta qualidade, remoção quase total de sólidos suspensos e ocupação de menor espaço.

Durante toda operação o pH se manteve de 7,5 a 8,5 e a temperatura em torno de 18 a 23°C. Após o experimento, a maior eliminação de DQO e DBO foi atingida entre os dias 60 e 85 com cerca de 82% e 89%, respectivamente. O TSS e SSV apresentaram concentração baixa e eficácia de eliminação em cerca de 98%. A quantidade de sólidos suspensos foi de 1 a 2% durante toda a pesquisa e sua eficiência da remoção mostra uma separação eficaz da membrana e a turbidez foi removida cerca de 98% conforme visto Figura 4.2.

Figura 4.2. Decaimento de DQO, DBO, TSS, SSV e turbidez durante o tempo de operação.



Fonte: Razavi e Miri (2015).

A temperatura influenciou no aumento do fluxo de UF devido à diminuição da viscosidade de alimentação. Sobre a incrustação, foi observado aumento na pressão de sucção na operação, ratificando que a incrustação da membrana causa um decaimento no fluxo de permeado e aumento da pressão transmembranar. Como o BRM se trata de uma técnica contendo alta concentração de biomassa de lodo, isso pode ocasionar a incrustação da membrana, de modo que após 60 dias de experimento, a mesma foi retirada, limpa, o fluxo de alimentação foi interrompido, mas não houve mudança significativa na população microbiana.

Diante do estudo, o autor relata que qualidade da água tratada atende os padrões requisitados visando o reúso para torres de resfriamento e irrigação de plantas. De acordo com EPA (1992, 2004, 2012), apenas o valor de DBO e TSS atenderia as torres de resfriamento. Para ambas finalidades, turbidez e pH também se aplicariam.

Já os autores Zhao *et al.* (2012) desenvolveram um estudo com objetivo de purificação e recuperação de água industrial de alta temperatura da refinaria de petróleo Daqing, na China. O efluente possuía alto teor de ferro e óleo e utilizando uma membrana de ultrafiltração, assim como Razavi e Miri (2015), mas de PPESK (Poli-ftalazina éter sulfona cetona) e sugerem a possibilidade de diminuição do teor de contaminantes.

Os autores explicam que a água condensada é normalmente usada como reposição da caldeira ou até mesmo uso residencial para água quente após tratamento. No entanto, a água condensada a alta temperatura contém alta quantidade de ferro e óleo e os mesmos propõem a utilização de tecnologia de membrana garantindo maior proteção ambiental e havendo recuperação de energia dentro da própria refinaria. Com isto, foram feitas análises antes e após o tratamento com UF, em que foram verificados o fluxo do permeado, eficiências na remoção do óleo e ferro em função das mudanças de pressão transmembrana (TMP), temperatura, valor de pH da solução de alimentação e concentração inicial de óleo e ferro, além de metodologias para limpeza da membrana.

Após os experimentos, os autores apresentaram eficácia da membrana para os parâmetros óleo, ferro e turbidez, sendo a última praticamente toda removida, assim como o encontrado pelo autor Razavi e Miri (2015), ratificando a importância da técnica para reduzir este parâmetro. As concentrações de óleo e ferro ficaram abaixo de 1 mg/L e 50 µg/L, o que atende aos critérios de qualidade de água e vapor para equipamentos de energia a vapor na China. No entanto, o tamanho dos poros da membrana não é suficiente para remover íons como Mg^{+2} , Ca^{+2} e Na^{+1} , sendo necessária outras técnicas para remoção da dureza e outros íons dissolvidos. Como o efluente atende aos critérios de qualidade, é sugerido que seja reciclado dentro da refinaria em equipamentos de energia a vapor. Segundo EPA (1992), o efluente poderia ser reutilizado em torres de resfriamento com teores de ferro em torno de 0,5 mg/L, mas neste caso haveria necessidade da remoção de cálcio e magnésio, pois são formadores de depósitos que podem reduzir a eficiência na troca de calor.

4.3.2. Nanofiltração

Em um artigo de revisão desenvolvido por Ahmad *et al.* (2021) é explicado que grande parte dos estudos voltados para nanofiltração no tratamento de efluentes na indústria petrolífera tem focado na recuperação e reúso de água. Neste artigo são citadas as técnicas utilizadas para o tratamento de água na indústria do petróleo. Dentre elas, cita-se o estudo de Gamal Khed (2014) que desenvolveu um sistema integrado composto por coagulação, filtração de areia e nanofiltração para tratar o efluente proveniente da região do Golfo de Suez, que poderia ser reutilizado na forma de injeção na formação de óleo para aumentar sua produção. É necessário ressaltar que o sistema convencional da refinaria não é eficiente na remoção dos TSD, dureza e íons metálicos como urânio resultando em incrustação e corrosão nas tubulações. Outro ponto é a presença de SO_4^{-2} que prejudicaria a formação do óleo. Uma alternativa seria acoplar a NF ao processo convencional retirando componentes indesejáveis totalmente como SO_4^{-2} e reduzindo 80% de urânio e 34% de TSD.

Neste mesmo trabalho é mencionado o tratamento de solução cáustica em uma refinaria de petróleo bruto evidenciado por Santos *et al.* (2016), em que foi aplicada a nanofiltração (NF) com membrana polimérica para tratar efluentes com alto teor de condutividade elétrica, pH, óleo e DQO. Em paralelo, também foi analisado o desempenho de uma membrana de cerâmica para ultrafiltração (UF), mas os resultados mostraram que a NF atingiu remoção de óleo e DQO em cerca de 99,9% e 97,7%, respectivamente, em relação a baixa redução de óleo pela membrana de cerâmica. Além disso, houve a recuperação de sódio gerando uma solução cáustica permeada que poderia ser reciclada no processo na refinaria, o que poderia reduzir custos.

4.3.3. Processos oxidativos avançados

Os processos de oxidação avançados (POAs) são considerados métodos importantes para remoção de contaminantes recalcitrantes em efluentes industriais. Desta forma, 4 artigos foram selecionados embasados neste tema.

Moser *et al.* (2017), investigou em seu estudo o desempenho da fotólise direta (UV) e fotólise assistida por peróxido de hidrogênio (UV/ H_2O_2) aplicado ao biorreator de membrana (BRM) como um pré-tratamento para os sistemas de nanofiltração, a fim de tratar efluentes da

REGAP e diminuir os compostos recalcitrantes. O artigo relata, assim como Razavi e Miri (2015), que a técnica de biorreator por membrana é uma alternativa promissora para o tratamento de efluentes e que diversos BRM já foram configurados em refinarias pelo Brasil, mas a água ainda pode conter compostos orgânicos recalcitrantes e até mesmo íons que ainda não foram removidos. Seria necessária associação do BRM com outros processos de separação, mas a incrustação ainda é uma problemática debatida pelos autores. Neste ponto de vista, o autor relata que os processos oxidativos são uma alternativa como pré-tratamento.

Os resultados mostram que o processo UV/ H_2O_2 mostrou-se efetivo na remoção de matéria orgânica e, consequentemente, diminuindo o declínio do fluxo em razão das incrustações e alteração das características químicas das mesmas, de modo a prologar a vida útil da membrana e melhorar a capacidade de limpeza. Houve a remoção de TSD, cálcio, amônia, cloreto, DQO e carbono orgânico total (COT) em mais de 98%, o que poderia atender aos requisitos de qualidade para sistemas de refrigeração segundo o autor. Menciona-se que a toxicidade gerada após o processo oxidativo avançado poderia ser um obstáculo no processo, mas foi removido pelo processo de nanofiltração ratificando que o uso de processos oxidativos associado à nanofiltração atende aos requisitos necessários para sua reutilização em sistemas de refrigeração da própria refinaria.

Aljuboury e Shaik (2021) publicaram um estudo objetivando o tratamento de água coletada no final unidade de flotação por ar dissolvido e antes de iniciar o tratamento biológico da refinaria de petróleo de Sohar, através dos processos oxidativos avançados utilizando fotocatalisadores de TiO_2 e ZnO com energia solar e utilizando ar com fonte de oxigênio (TiO_2 /ZnO/Ar/Solar) e Foto-Fenton (TiO_2 /ZnO/Fenton/Solar). O efluente possui alto teor orgânico, além de poluentes recalcitrantes e o objetivo seria remover DQO e COT para verificar o desempenho. Os autores mencionam que estas técnicas são promissoras no tratamento de efluentes industriais no quesito de remoção de compostos não biodegradáveis, mas o uso destas isoladamente são inefficientes para tratar os efluentes da refinaria de Sohar.

Os resultados mostraram máxima eficiência no processo TiO_2 /ZnO/Ar/Solar removendo cerca de 74% de DQO (760 mg/L para 197 mg/L) e 99% de COT (25 mg/L para 2 mg/L) após 170 minutos, o que pode ser justificado pelo borbulhamento de ar como fonte de oxigênio. Para meios alcalinos o processo TiO_2 /ZnO/Ar/Solar foi mais eficiente, mas em condições ácidas apresentou o contrário. O pH e dosagem de TiO_2 foram importantes para melhorar sua eficiência, enquanto a concentração de Fe^{+2} e H_2O_2 foram os principais fatores no processo TiO_2 /ZnO/Fenton/Solar e não houve necessidade de ajuste de pH. Apesar do

processo apresentar valores de DQO e COT de acordo com o padrão de descarga de Omã para águas residuais, o valor de DQO não atenderia aos requisitos de EPA (1992) para água de refrigeração, irrigação ou combate ao incêndio nos parâmetros mencionados.

Já Demir-Duz *et al.* (2019) desenvolveu um estudo mostrando o desempenho dos processos de Foto-Fenton assistida por luz solar e da fotocatalise heterogênea para o tratamento de efluentes de uma refinaria localizada na Turquia, com objetivo de minimizar a necessidade de água doce, evitar uso de reagentes e diminuir consumo de energia. O autor explica que cerca de 90% dos poluentes são removidos no tratamento biológico e que, apesar de atender os requisitos para descarga, a água só poderia ser reutilizada após a remoção de certos contaminantes. Com isto, os autores pretendem estudar o POA como alternativa ou uma forma de melhorar o tratamento biológico.

O estudo foi desenvolvido com tentativas iniciais utilizando POA com auxílio da luz solar em um efluente sintético, seguido experimentos com casos reais de dois tipos de efluentes da refinaria (uma amostra coletada após o tratamento primário e uma após o tratamento biológico), a fim de avaliar o desempenho do processo oxidativo através de parâmetros como COT, DQO, DBO, eficiência de remoção, composição da água e análise de toxicidade para averiguar se este tratamento seria vantajoso no processo secundário ou terciário.

Após os experimentos, os autores relatam que o tratamento Foto-Fenton e de fotocatalise heterogênea apresentaram alta eficiência no efluente sintético e foram considerados como referência durante o estudo, mas para os efluentes reais o processo Foto-Fenton apresentou maior eficácia. O processo foi simulado como pré-tratamento do processo secundário e os resultados apontaram melhora na biodegradabilidade no tratamento biológico. Já como alternativa a um tratamento biológico (ou tratamento secundário), a água coletada apresentou valor de COT semelhante e de DQO menor em relação ao efluente obtido após tratamento biológico, mas não atenderia aos requisitos para reutilização.

Como pós-tratamento biológico (ou como tratamento terciário) atenderiam ao reúso dentro da refinaria, tendo em vista que os valores de COT e DQO decaíram e apresentaram valores dentro dos parâmetros requisitados. Desta forma, a água poderia ser uma alternativa para compensar água de resfriamento e de combate a incêndio, mas o teor de ferro seria um obstáculo para reutilizar para resfriamento, sendo sugerido pelo autor uma análise econômica para a possibilidade de recuperá-lo para fins de reutilização. Além disso, o tratamento foto-

fenton também reduziria a energia necessária por meio da luz solar, o que também seria uma forma de reduzir custos para a refinaria.

Os autores Pourehie e Saien (2021) relatam o desempenho do processo homogêneo de hipoclorito de sódio e ferro movido a energia solar (Solar/NaOCl/ Fe^{+2}) para o tratamento de efluentes provenientes da unidade de flotação por ar dissolvido, assim como descrito pelos autores Aljuboury e Shaik (2021) na entrada no tanque de aeração na refinaria de Arak. Foi montado um fotorreator em escala piloto contra superfície solar, a fim de avaliar a eficiência na remoção da DQO e COT. O artigo relata que tem havido muito interesse em utilizar processos oxidativos avançados como Fenton e foto-fenton, mas é necessária atenção a segurança e economia desses processos, de modo que uma alternativa seria um POA homogêneo eficiente, mas com custos mais baixos como Solar/NaOCl/ Fe^{+2} , além de ser uma alternativa para regiões com alta radiação solar. O artigo também relata que muitos processos oxidativos estão sendo empregados como pré-tratamento dos tratamentos biológicos.

Os resultados mostraram que o efluente foi tratado eficientemente tornando o tratamento biológico posterior viável. A água poderia ser descartada de forma segura ou reutilizada em sistemas de combate a incêndio, tendo em vista que o valor necessário é abaixo de 20 mg/L para COT e o obtido foi em torno de 19,2 mg/L. Para DQO, o valor atingiu 29 mg/L, sendo o limite de 150 mg/L para reutilização na irrigação e para descarte seguro. No entanto, utilização de reagentes para a obtenção eficiente DQO após uma alimentação de 4 etapas limitaria a reutilização na irrigação. Em relação ao processo, o Solar/NaOCl/ Fe^{+2} apresentou menor dependência do pH que em relação ao fenton. Mostrou ser um processo mais econômico, apesar de ser um pouco menos eficiente. Assim, outra técnica eficiente poderia reduzir custos com a utilização de luz solar e ser um aprimoramento para os tratamentos biológicos, assim como visto pelo autor Demir-Duz *et al.* (2019).

5. CAPÍTULO 5 – CONCLUSÃO E SUGESTÕES FUTURAS

5.1. CONCLUSÃO

É notório que a crise hídrica é uma preocupação mundial e em função dos resultados gerados, foi possível identificar um avanço no aprimoramento e desenvolvimento de tecnologias voltadas para o tratamento e reúso de água no período de 2012-2022, de modo a reaproveitar o efluente que poderia ser descartado gerando impactos ambientais e destinar a água com maior qualidade para fins essenciais. Além disso, a Índia se destacou em relação aos outros países acerca da quantidade de artigos publicados embasados neste tema, o que pode ser justificado pela crescente preocupação com a crise hídrica que assola o país e pela busca de novas tecnologias para melhor gestão do recurso hídrico.

Foi possível identificar em uma rede palavras-chave que algumas tecnologias estão sendo mais abordadas no tratamento de água da indústria petrolífera como a de membranas envolvendo nanofiltração, ultrafiltração, biorreator de membrana (BRM) e processos de oxidação avançada. Também foi possível constatar que a indústria petrolífera vem desenvolvendo cada vez mais estudos visando o reúso, pois cerca de 86% dos artigos selecionados mencionam a reutilização de água.

Somado a isto, não há como determinar a melhor técnica utilizada, pois esta deve condizer com a característica da água e contaminantes presentes na mesma visando sua reutilização. No entanto, foi possível verificar através da análise crítica dos artigos, que a tecnologia de membranas vem sendo largamente utilizada pela indústria na remoção de matéria orgânica.

Dentre as tecnologias, cita-se a membrana de ultrafiltração de PPESK (Poli-ftalazina éter sulfona cetona) como uma alternativa para melhorar a qualidade do efluente visando sua reutilização em equipamentos de energia a vapor. O sistema integrado composto por coagulação, filtração de areia e nanofiltração visa a reutilização na forma de injeção, além da aplicação da nanofiltração com membrana polimérica para remover poluentes e recuperar sódio gerando uma solução cáustica permeada que poderia ser reciclada no processo dentro da refinaria.

No entanto, as incrustações ainda são um obstáculo que geram mais paradas nos equipamentos e, conseqüentemente, mais custos. Com isto, os processos oxidativos avançados

estão sendo aprimorados e estudados como uma forma de melhorar o tratamento biológico pela sua capacidade em retirar componentes recalcitrantes.

Dentre eles cita-se a fotólise assistida por peróxido de hidrogênio (UV/H_2O_2) aplicado ao biorreator de membrana como um pré-tratamento para os sistemas de nanofiltração visando o reúso em sistemas de refrigeração. O processo oxidativo utilizando os fotocatalisadores de TiO_2 e ZnO com energia solar e utilizando ar com fonte de oxigênio ($TiO_2/ZnO/Ar/Solar$) também é mencionado possibilitando a descarga do efluente de forma segura. Já o processo Foto-Fenton foi estudado após o tratamento biológico visando o reúso em sistemas de refrigeração e combate a incêndio. Por último, o processo homogêneo de hipoclorito de sódio e ferro movido a energia solar ($Solar/NaOCl/Fe^{+2}$) foi desenvolvido com objetivo de obter uma descarga segura e também reutilizar em sistemas de combate a incêndio.

Desta forma é possível concluir que o mercado tem adquirido maior responsabilidade sustentável e segue em busca de tecnologias mais eficazes para o tratamento visando o reúso de água na indústria do petróleo, de modo que haja mitigação de danos ao meio ambiente.

5.2. SUGESTÕES FUTURAS

- Pesquisar e explorar o desenvolvimento dos processos oxidativos avançados no mercado.
- Fazer um levantamento das tecnologias utilizadas no Brasil visando reúso.
- Estudar a viabilidade de uma refinaria utilizando técnicas citadas e a redução de impactos ambientais em consequência da reutilização.
- Analisar a água proveniente da indústria petrolífera e verificar se atende aos parâmetros.

REFERÊNCIAS

AHMAD, N.N.R; ANG, W.L.; TEOW, Y.H.; MOHAMMAD, A.W. HILAL, N. *Nanofiltration membrane processes for water recycling, reuse and product recovery within various industries: A review*. Journal of water process engineering. 2021. Acesso em: 31 de maio 2022. Acesso em: 31 de maio 2022.

ALJUBOURY, D. A. D. A.; SHAIK, F. *Optimization of the petroleum wastewater treatment process using TiO_2/Zn photocatalyst*. South African Journal of chemical engineering. p. 61-69, 2021. Acesso em: 31 de maio 2022.

AMIRI, A. S.; BOLTON, J. R.; CATER, S. R., 1997. **Ferrioxalate-mediated photodegradation of organic pollutants in contaminated water.**, Water Research, v. 31, n. 4, pp. 787-798.

ALVA-ARGÁEZ, A.; KOKOSSIS, A.C.; SMITH, R. *The design of water-using systems in petroleum refining using a water-pinch decomposition*. Chemical Engineering Journal, v. 8, pp. 33-46, 2007.

ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual Book of ASTM Standards: Section 05 - **Petroleum products, lubricants and fossil fuels**. Pennsylvania, 2011.

ANA - Agência Nacional das águas. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil**. 2019. Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura-completo.bb39ac07.pdf>. Acesso em 03 nov. de 2021.

ANA - Agência nacional de águas. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. Relatório Pleno. Brasília, 2017. 169p. Acesso em 03 nov. de 2021.

ANA 2014b. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**: Encarte Especial sobre a Crise Hídrica. Brasília, 2015. Acesso em 03 nov. de 2021.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS. **Anuário - Estatístico**. 2021a. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/arquivos-anuario-estatistico-2021/textos/secao2-novo.pdf>. Acesso em: 24 out. 2021.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS. **Boletim da produção de petróleo e gás natural**. 2021b. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/boletins-anp/boletins/arquivos-bmppgn/2021/2021-01-boletim.pdf>. Acesso em: 24 out. 2021.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E BIOCMBUSTÍVEIS. **Dados Estatísticos**. 2018.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS NATURAL E COMBUSTÍVEIS. **Anuário estatístico Brasileiro**. Rio de janeiro, 2011.

BACIA DE SANTOS. **Monitoramento de água produzida**. Petrobrás. Disponível em: <https://comunicabaciadesantos.petrobras.com.br/programa-ambiental/monitoramento-de-agua-produzida.html>. Acesso em 03 nov. de 2021.

BARBOSA, F.L. **Regulamentação do reúso da água em refinarias**: Análise do modelo americano e perspectivas para o cenário nacional. Dissertação de mestrado (Mestra e Ciências em planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Fernanda_Leite_Barbosa.pdf. Acesso em 4 out. 2021.

BARBOSA, F.L.; SZKLO, A.; MAGRINI, A. **Regulamentação do reúso de água em refinarias**: Análise do modelo americano e perspectivas para o cenário nacional. 3º Congresso Brasileiro de P&D em Petróleo e Gás. 2005. 6p. Disponível em: http://www.portalabpg.org.br/PDPetro/3/trabalhos/IBP0413_05.pdf. Acesso em 6 nov. 2021.

BARCZA, M.V. Refino do petróleo. Sistemas USP, (s.d.). Disponível em: <<https://sistemas.eel.usp.br/docentes/arquivos/1285870/313/Refino%20do%20Petroleo.pdf>>. Acesso em 2 de março de 2022.

BARROS, H.M.M.; VERIATO, M.K.L; SOUZA, L.P.; CHICÓ, L.R. BAROSI, K.X.L. **Reúso de água na agricultura**. Revista Verde de Agroecologia e Desenvolvimento sustentável. Vol. 10, n. 5, p 11-16. Disponível em: <https://www.gvaa.com.br/revista/index.php/RVADS/article/view/3868>. Acesso em 4 out. 2021.

BORGES, B. B. G. **Tratamento da água produzida do petróleo para injeção em mananciais**. 2017. 78 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2017.

BRASIL. **Conselho Nacional dos Recursos Hídricos**. Resolução nº 54, de 28 de Novembro de 2005. Publicado em 9 de Março de 2006. Acesso em: <https://www.diariodasleis.com.br/busca/exibmlink.php?numlink=1-173-34-2005-11-28-54>.

BRASIL. Lei nº 14026, de 15 de julho de 2020. Publicado em 16 de julho de 2020. Acesso em: <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/lei-n-14.026-de-15-de-julho-de-2020-267035421>.

BRASIL. **Lei da Natureza ou dos Crimes Ambientais**. Lei nº 9605. Publicada em 12 Fevereiro de 1998. Acesso em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19605.htm#:~:text=LEI%20N%C2%BA%209.605%2C%20DE%2012%20DE%20FEVEREIRO%20DE%201998.&text=Disp%C3%B5e%20sobre%20as%20san%C3%A7%C3%B5es%20penais,ambiente%2C%20e%20d%C3%A1%20outras%20provid%C3%A2ncias.

BRASIL, N. I.; ARAÚJO, M.A.S.; DE SOUSA, E.C.M. **Processamento de petróleo e gás**. LTC; 2º ed., 2017. 692 p.

CARNEIRO, P.; TOLEDO, T. **Dados: Matriz energética**. FGV Energia, 2020. Disponível em: <https://fgvenergia.fgv.br/dados-matriz-energetica>. Acesso em: 18 set. 2021.

CONAMA. **Resolução nº 20, de 18 de junho de 1986.** Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Portaria/1986/res_conama_20_1986_revvd_classificacaoaguas_altrd_res_conama_274_2000_revvd_357_2005.pdf. Acesso 14 nov. 2021.

CONAMA. **Resolução nº 357, de 17 de março 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. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 9 nov. 2021.

DEMIR-DUZ, H.; AYYILDIZ, O. AKTURK, A.S.; ÁLVAREZ, M.G.; CONTRERAS, S. *Approaching zero discharge concept in refineries by solar- assisted photo-Fenton and photo-catalysis processs*. Catalyses B: Enviromenta. p. 341-348, 2019. Acesso em: 31 de maio 2022.

EPA - *Environmental Protection Agency*. **Guidelines for Water Reuse**. Estados Unidos. 1992. Acesso em 26 maio 2022.

EPA - *Environmental Protection Agency*. **Guidelines for Water Reuse**. Estados Unidos. 2004. Acesso em 26 maio 2022.

EPA - *Environmental Protection Agency*. **Guidelines for Water Reuse**. 2012. Estados Unidos. Acesso em 26 maio 2022.

EPE - EMPRESA DE PESQUISA ENERGÉTICA. **PDE- Plano Decenal de Expansão de Energia 2008/2017**. Brasília. MME/EPE, 2009.

ESPINOLA, A. **Ouro negro: Petróleo no Brasil de Lobato DNPM-163 a Tupi RJS - 646**. Editora Interciência, 2013. 1 ed., 496 p.

FARAH, M.A. **Petróleo e seus derivados**. Editora LTC, Petrobrás, Rio de Janeiro, 2015. 261 p.

FIESC – FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SANTA CATARINA. **História do Petróleo no Brasil**. Disponível em: https://www2.fiescnet.com.br/web/pt/site_topo/energia/info/historia-do-petroleo-no-brasil-1. Acesso em: 11 out. 2021.

FEEMA - Fundação Estadual de Engenharia do Meio ambiente. NT-202.R-10. **Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos**. 1986. Disponível em: <http://www.inea.rj.gov.br/wp-content/uploads/2018/12/NT-202-R-10.pdf>. Acesso em: 14 nov. 2021.

FGV PROJETOS. **O mercado do petróleo: Oferta, refino e preço**. Vol. 15. Abril, 2012, ISBN: 978-85-64878-05-1. Disponível em: https://fgvprojetos.fgv.br/sites/fgvprojetos.fgv.br/files/estudo_22.pdf. Acesso em 4 out. 2021.

FORGUIARINI, F.R.; SILVEIRA, A.A.L.L.; SILVEIRA, G.L. **Classificação das águas no Brasil e na Europa: Diferenças, aplicações e vantagens dos documentos para gestão dos recursos hídricos.** XVII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Disponível em: https://abrh.s3.sa-east-1.amazonaws.com/Sumarios/19/f05e822558eb8237d09028e1d8e287de_55c384fbbfa5d4fa9d1a42d6b222cd91.pdf. Acesso em: 9 nov. 2021.

GOMES, A.P.P. **Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: Melhores práticas e experiências internacionais.** Dissertação (mestrado em planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2014. Rio de Janeiro. 128 p. Disponível em: http://www.ppe.ufrj.br/images/publicações/mestrado/Ana_Paula_Pereira_Gomes.pdf. Acesso em 03 nov. 2021.

GONÇALVES, E.M. **Caracterização e proposta para otimização dos fluxos de água de reúso das principais unidades da refinaria Abreu e Lima - RNEST.** Dissertação (Mestrado em gestão ambiental). Instituto Federal de Educação, ciência, tecnologia de Pernambuco. Recife, Pernambuco. 2015. Disponível em: <https://repositorio.ifpe.edu.br/xmlui/bitstream/handle/123456789/58/Caracterização%20e%20proposta%20para%20otimização%20dos%20fluxos%20de%20água%20de%20uso%20e%20reuso%20das%20principais%20unidades%20da%20Refinaria%20Abreu%20e%20Lima.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 6 nov. 2021.

HANDAM, N.B.; DA SILVA, A.B.L.G.; SOTERO-MARTINS, A.; DOS SANTOS, J.A.A. **Agricultural reuse: Comparison between brazilian and international quality standards.** International Journal of Hydrology. Revista MedCrave. 2021, vol 5, pag. 28–31. Disponível em: <https://medcraveonline.com/IJH/IJH-05-00262.pdf>.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: Agricultura, Indústria, Municípios e Recarga de aquíferos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, vol. 7, n. 4, Out/Dez 2002, p. 75-95. Disponível em: <https://www.abrhidro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=1&ID=101&SUMARIO=1602>. Acesso em 4 out. 2021.

HESPANHOL, Ivanildo. **Potencial de reúso de água no Brasil.** In: PHILIPPI JR., Arlindo (coord.). **Reúso de Água.** São Paulo: Manole, 2003. Cap. 3.

HESPANHOL, I. **Reúso de água, prática que cresce na indústria.** Diário do Comércio. 2013. Disponível em: <http://www.diariodocomercio.com.br/noticia.php?id=125963>. Acesso em 6 nov. 2021.

HILL, C. **Water reuse in industries of the future. Prepared under to center for waste reduction technologies for U.S. Department of Energy.** Oregon, 2003.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. **A relevância do petróleo e gás para o Brasil.** 2019. Disponível em: https://rdstation-static.s3.amazonaws.com/cms%2Ffiles%2F49401%2F1566244541Publicao_IBP_EY-final.pdf. Acesso em: 18 set. 2021.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Os maiores produtores mundiais de petróleo em 2021.** 2021a. Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-produtores-mundiais-de-petroleo-em-2020/#:~:text=Atualmente%2C%20o%20Brasil%20é%20o,metade%20da%20produção%20mundial%20total>. Acesso em 4 jun. 2022.

IBP - INSTITUTO BRASILEIRO DE PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. **Maiores consumidores de petróleo e LGN em 2021.** 2021b Disponível em: <https://www.ibp.org.br/observatorio-do-setor/snapshots/maiores-consumidores-de-petroleo-e-lgn-em-2020/>. . Acesso em 4 jun. 2022.

IEA - INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. *World Energy Outlook – Executive Summary*. 2018.

KHEDR, G.M. *Nanofiltration of oil field-produced water for reinjection and optimum protection of oil formation*, Desalin and Water Treatment. p. 11-15, 2014.

LCA Setorial. **Relatório de Petróleo e Gás – Setembro 2021.** Disponível em www.emis.com Acesso em 01 de maio de 2022.

MACHADO, L. M. O. **Estudo da Regeneração com NaOH em Carvão Ativado Saturado Utilizado no Tratamento de Efluentes de Refinaria de Petróleo.** 2013. 101f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental – Programa de Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.

MANCUSO, P.C.S; SANTOS, H. F. **Reúso de água.** Universidade de São Paulo. – Barueri, SP: Manole, 2003, 579p.

MARIANO, J. **Impactos ambientais no refino do petróleo.** 2001. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2001. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/ppe/production/tesis/jbmariano.pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.

MOURA, P.G.; ARANHA, F. N.; HANDAM, N. B.; MARTIN, L. E.. SALLES, M. J.; CARVAJAL, E.; JARDIM, R.; SOTERO- MARTINS, A. **Água de reúso: Uma alternativa sustentável para o Brasil.** Revista Engenharia Sanitária Ambiental, vol. 2, n. 6, Nov/Dez. 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/7888VSVHBqZK7Bnz85X5Z8x/?lang=pt>. Acesso em 4 out. 2021.

MOSER, P.B.; RICCI, B.C.C; REIS, B.G.; NETA, L.S.F.; CERQUEIRA, C.C.; AMARAL, M.C.S. **Effect of MBR-H₂O₂/UV Hybrid pre-treatment on Nanofiltration performance for the treatment of petroleum refinery wastewater.** Separation and purification Technology, 2017. Acesso em: 31 de maio 2022.

NAÇÕES UNIDAS - Centro Regional de Informação para Europa Ocidental. **Água.** Disponível em: <https://unric.org/pt/agua/>. Acesso em 03 nov. de 2021.

NETO, A.C.S.; SILVA, J.S. **Tratamento da água do petróleo por eletrocoagulação/eletrofloculação.** Revista Ambientale. Ano 2, vol. 2, 2010. 13 p.

Disponível em: <https://periodicosuneal.emnuvens.com.br/ambientale/article/download/24/24/>. Acesso em 03 nov. 2021.

NIU, H; LEE, K.; HUSAIN, T.; VEITCH, B.; BOSE, N. 2011. *A coupled model for simulating the dispersion of produced water in the marine environment*. Cap. 12 In: Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies. Lee, K. & Neff, J. (eds.). Springer Science, 608p.

NUNES, R. **Conservação da Água em Edifícios Comerciais: Potencial de Uso Racional e Reúso em um Shopping Center**. Dissertação de M.Sc., COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: <http://antigo.ppe.ufrj.br/pppe/production/tesis/rtsnunes.pdf>. Acesso em 31 maio 2022.

PETROBRAS. **Batemos meta de produção e aumentamos cargas de refinarias em 2021**. 2022. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/batemos-metas-de-producao-e-aumentamos-carga-de-refinarias-em-2021.htm>. Acesso em 10 abr. 2022.

PETROBRAS. **Novos caminhos**. 2020a. Disponível em: <https://novoscaminhos.petrobras.com.br>. Acesso em: 2 de março de 2022.

PETROBRAS. **Petrobras economiza R\$ 35,8 milhões com reúso de água em 2019**. 2020c. Disponível em: <https://petrobras.com.br/fatos-e-dados/petrobras-economiza-r-35-8-milhoes-com-reuso-de-agua-em-2019.htm>. Acesso 8 nov. 2021.

PETROBRAS. **Reduc passa a utilizar água de reúso na rede de combate a emergências**. 2020b. Disponível em: https://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=982984#:~:text=A%20iniciativa%20está%20alinhada%20ao,1%2C5%20milhões%2Fano. Acesso em 6 nov. 2021.

PETROBRAS. **Refinarias da Petrobrás em São Paulo reutilizam quase 11 bilhões de litros de água por ano**. 2021a. Disponível em: https://www.agenciapetrobras.com.br/Materia/ExibirMateria?p_materia=983888. Acesso 8 nov. 2021.

PETROBRAS. **Refino**. 2021b. Disponível: <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/areas-de-atuacao/refino/>. Acesso em 4 out. 2021.

PINTO, H.S.; FARIA, I.D.; BAPTISTA, R.; KASSMAYER, K.; ABBUD, A.; PINTO, V.C. (2014) **A Crise Hídrica e suas Consequências**. Brasil: Núcleo de Estudo e Pesquisas, Senado Federal. 32 p.

PNUD BRASIL. **Objetivo 6: Água limpa e saneamento**. Disponível em: <https://www.br.undp.org/content/brazil/pt/home/sustainable-development-goals/goal-6-clean-water-and-sanitation.html>. Acesso em 03 nov. de 2021.

PUC RIO. **A origem do Petróleo no Brasil**. Disponível em: https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/18565/18565_5.PDF. Acesso em 14 nov. 2021.

POMBO, F.R. **Gestão da demanda de água na indústria de refino de petróleo:** Desafios e oportunidades de racionalização. Tese (Doutorado em Planejamento energético). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2011. 169 p. Disponível em: http://objdig.ufrj.br/60/teses/coppe_d/FelipeRamalhoPombo.pdf. Acesso em: 07 nov. 2021.

POUREHIE, O.; SAIEN, J. *Solar driven homogeneous sodium hypochlorite/iron process in treatment of petroleum refinery wastewater for reusing*. Separation and purification technology. 2021. Acesso em: 31 de maio 2022.

RAVAZI, S. M. R.; MIRI, T. *A real petroleum refinery wastewater treatment using hollow fiber membrane bioreactor (HF - MBR)*. Journal of water process engineering, vol. 8, p. 136-141, 2015. Acesso em: 31 de maio 2022.

ROJAS, H.D.C.; LEITE, B.E. **Refino do petróleo:** Desafios históricos e reposicionamento do setor. Revista brasileira de direito do Petróleo, Gás e Energia. v.5, nº 1, p 20-32, 2018. Disponível em: <https://www.e-publicacoes.uerj.br/index.php/rbdp/article/view/38998/pdf>. Acesso em 24 out. 2021.

SANTOS, B.; CRESPO, J.G.; SANTOS, M.A.; VELIZAROV, S. *Oil refinery hazardous effluents minimization by membrane filtration: An on-site pilot plant study*. 2016. Volume 181, 1 October 2016, Pag. 762-769. Acesso em: 22 maio. 2022.

SAUTCHÚK, C. A.; LANDI, F.D. N.; MIERZWA, José Carlos; VIVACQUA, Maria Carolina Rivoir; SILVA, Maurício da Costa Cabral da; LANDI, Paula Del Nero; SCHMIDT, William. Conservação e Reúso de Água. **Manual de Conservação e Reúso de Água Para a Indústria**, São Paulo: FIESP/CIESP. vol.1, 93 p., 2004.

SCHOR, A.R. **Riscos e alternativas para o suprimento de água em uma refinaria de petróleo. Estudo de caso:** Refinaria Duque de caxias - REDUC. Dissertação de mestrado (Engenharia civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2006. Acesso em 14 out. 2021.

SCIENCEDIRECT. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/>. Acesso em: 01 maio. 2022.

SEVERINO, A. J. **Metodologia do trabalho científico**.1. ed. -- São Paulo: Cortez, 2013. ISBN 978-85-249-2081-3. Disponível em: https://www.ufrb.edu.br/ccaaab/images/AEPE/Divulgação/LIVROS/Metodologia_do_Trabalho_Científico_-_1ª_Edição_-_Antonio_Joaquim_Severino_-_2014.pdf. Acesso em 04 abr. 2022.

SIMPLÍCIO, C.F. **Sistemas de Tratamento e reuso de água produzida do petróleo:** Uma revisão integrativa da literatura. 2019. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia de Petróleo) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/39477/2/SistemasdeTratamentoeReuso_Simplício_2019.pdf. Acesso em: 22 set. 2021.

SOITO, J. **Caderno opinião:** Usos múltiplos da água. FGV Energia. 2019. Disponível em: https://fgvenergia.fgv.br/sites/fgvenergia.fgv.br/files/coluna_opinioao_maior_usos_multiplos_da_agua.pdf. Acesso em 03 nov. de 2021.

SOUZA, B.M. **Avaliação de processos oxidativos avançados acoplados com carvão ativado granulado com biofilme para reúso de efluentes de refinaria de petróleo.** 2010. 179f. Dissertação de mestrado em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2010. Acesso em: <http://portal.peq.coppe.ufrj.br/index.php/dissertacoes-de-mestrado/2010-1/130-avaliacao-de-processos-oxidativos-avancados-acoplados-com-carvao-ativado-granulado-com-biofilme-para-reuso-de-efluentes-de-refinaria-de-petroleo/file>. Acesso em 28 maio 2022.

SZKLO, A.S.; ULLER, V.C.; BONFÁ, M.H.P.; **Fundamentos de refino do petróleo:** Tecnologia e economia. Editora Interciência, 2012. 2 ed., 346 p.

TARGUETA, J.P.; SANTANA, N.S. **O desafio contemporâneo da gestão de água na indústria:** Um estudo de caso sobre o tratamento de água de produção na indústria petrolífera. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Química e de Petróleo) - Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2016. Disponível em: <https://app.uff.br/riuff/bitstream/1/2134/1/TCC%20Juliana%20Targueta%20e%20Naienne%20Santana.pdf>. Acesso em: 22 set. 2021.

THOMAS, J.E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo.** Editora Interciência. Petrobras, Rio de Janeiro, 2001. 271 p.

UNESCO - *United Nations educational, scientific and cultural organization*. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos Hídricos 2021:** O valor da água. 2021. Resumo Executivo. 12 p. Disponível em: https://d15k2d11r6t6rl.cloudfront.net/public/users/Integrators/7ba73aaa-3da9-4cfl-abf2ccc85dea5875/uid_3084837/Summary_Portuguese-WWDR-2021.pdf. Acesso em 03 nov. de 2021.

UNESCO - *United Nations educational, scientific and cultural organization*. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos Hídricos 2021:** O valor da água. 2021. Fatos e Dados. 12 p. Disponível em: https://d15k2d11r6t6rl.cloudfront.net/public/users/Integrators/7ba73aaa-3da9-4cfl-abf2ccc85dea5875/uid_3084837/Facts-Figures_Portuguese-WWDR-2021.pdf. Acesso em 03 nov. de 2021.

VEIL, J.A.; PUDER, M.V.; ELCOCK, D.; REDWEIK Jr., R.J. 2004. *A white paper describing produced water from production of crude oil, natural gas and coal bed methane.* Argonne National Laboratory/US Department of Energy, 87p.

VIANA, F.L.E. Petróleo e gás natural. Caderno Setorial - ETENE. Nº 145, dezembro, 2020. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/496/1/2020_CDS_145.pdf. Acesso em: 24 out. 2021.

VIANA, F.L.E. Petróleo e gás natural. Caderno Setorial - ETENE. Nº 193, novembro, 2021. Disponível em: https://www.bnb.gov.br/s482-dspace/bitstream/123456789/1009/3/2021_CDS_193.pdf. Acesso em: 01 maio. 2022.

ZHAO, S.; WANG, P.; WANG, C.; LANGER, J.L.; ABULIKEMU, G.; SUN, X. ***Recycling of high temperature steam condensed water from petroleum refinery by thermostable PPESK ultrafiltration membrane***. Chemical engineering Journal. p. 419-428, 2012. Acesso em: 31 de maio 2022.

ANEXO A – PRINCIPAIS POLUENTES CONTIDOS NOS EFLUENTES EM FUNÇÃO DE TODAS AS UNIDADES DA REFINARIA

Unidades de refinaria	Poluentes
Armazenamento do óleo cru e seus produtos	Óleo livre e emulsionado, sólidos em suspensão e lama.
Dessalinização do óleo cru	Óleo livre e emulsionado, fenol, amônia, cloreto, sólidos em suspensão, demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO).
Destilação	Óleo, mercaptans, cloretos, fenol, DBO, DQO, carbono oxigênio total (COT) e sulfeto.
Craqueamento térmico	Amônia, sulfetos, fenol e óleo.
Craqueamento catalítico	Óleo, sulfeto, amônia, fenol, DBO, DQO e COT.
Hidrocrackeamento	Sulfeto, fenol, amônia, DBO, DQO e COT.
Reforma catalítica	Sulfetos, mercaptans, óleo e amônia.
Coqueamento	Sulfetos, sólido em suspensão, DQO e amônia.
Polimerização	Amônia, mercaptans e sulfetos.
Alquilação	Sulfeto, ácido sulfúrico ou fluorídrico, DQO, baixo pH e sólidos dissolvidos e em suspensão.
Isomerização	Fenóis e materiais que demandam oxigênio.
Extração por solvente	Fenol, glicol e amina.
Desparafinação	Solvente.
Hidrotratamento	Sulfeto, fenol, sólido em suspensão e amônia.
Desasfaltação	Óleo, sulfeto e amônia.
Processo de adoçamento	Soluções de tratamento, catalisadores e soda cáustica.
Hidroacabamento de óleo lubrificante	Sulfeto, sulfonato, sólidos em suspensão, DBO, DQO, COT e emulsões estáveis.
Embalagem e mistura	Óleo emulsionado.
Geração de hidrogênio	Enxofre, fenol e óleo emulsionado.

Fonte: Autoria própria baseado em Brasil *et al.* (2015) e Mariano (2001).



Datas e horários baseados no fuso horário (GMT -3:00) em Brasília, Brasil
Sincronizado com o NTP.br e Observatório Nacional (ON)
Certificado de assinatura gerado em 08/07/2022 às 12:52:28 (GMT -3:00)

TCC pós banca- Ana beatriz loureiro

 ID única do documento: #25dc7bc7-f50b-421b-970c-76e60e4bb6a9

Hash do documento original (SHA256): 74de69b907c4901559aa9375cd70006c142b615ac599fb7c94c44d40a1f43495

Este Log é exclusivo ao documento número #25dc7bc7-f50b-421b-970c-76e60e4bb6a9 e deve ser considerado parte do mesmo, com os efeitos prescritos nos Termos de Uso.

Assinaturas (5)

- ✓ **Adriana Sotero Martins (Participante)**
Assinou em 13/07/2022 às 09:03:30 (GMT -3:00)
- ✓ **Elene de Souza Freitas (Participante)**
Assinou em 08/07/2022 às 10:06:50 (GMT -3:00)
- ✓ **Tanise Mori Flores (Participante)**
Assinou em 08/07/2022 às 14:06:23 (GMT -3:00)
- ✓ **Idila Rafaela Carvalho Gonçalves (Participante)**
Assinou em 08/07/2022 às 11:08:33 (GMT -3:00)
- ✓ **Héctor Napoleão Conzendey da Silva (Participante)**
Assinou em 11/07/2022 às 10:13:44 (GMT -3:00)

Histórico completo

Data e hora

08/07/2022 às 12:52:28
(GMT -3:00)

Evento

Ana Beatriz solicitou as assinaturas.



Data e hora

Evento

08/07/2022 às 13:06:50
(GMT -3:00)

Elene de Souza Freitas (Autenticação: e-mail esfreitas@cetiqt.senai.br; IP: 191.162.158.251) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

08/07/2022 às 14:08:33
(GMT -3:00)

Idila Rafaela Carvalho Gonçalves (Autenticação: e-mail idila@eq.ufrrj.br; IP: 189.92.250.85) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

08/07/2022 às 17:06:23
(GMT -3:00)

Tanise Mori Flores (Autenticação: e-mail tmflores@cetiqt.senai.br; IP: 177.38.98.162) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

11/07/2022 às 13:13:44
(GMT -3:00)

Héctor Napoleão Conzendey da Silva (Autenticação: e-mail hnsilva@cetiqt.senai.br; IP: 189.92.195.40) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.

13/07/2022 às 12:03:30
(GMT -3:00)

Adriana Sotero Martins (Autenticação: e-mail adrianasotero@ensp.fiocruz.br; IP: 201.17.124.234) assinou. Autenticidade deste documento poderá ser verificada em <https://verificador.contraktor.com.br>. Assinatura com validade jurídica conforme MP 2.200-2/01, Art. 10o, §2.