



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

Escola Politécnica & Escola de Química

Programa de Engenharia Ambiental

Natasha Veiga Louzada

PROPOSTA DE UMA ROTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA EM
PLATAFORMAS DE PETRÓLEO *OFFSHORE* – CONSOLIDAÇÃO DE UM ESTUDO
BIBLIOMÉTRICO

Rio de Janeiro

2024



NATASHA VEIGA LOUZADA

PROPOSTA DE UMA ROTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA EM
PLATAFORMAS DE PETRÓLEO *OFFSHORE* – CONSOLIDAÇÃO DE UM ESTUDO
BIBLIOMÉTRICO

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Orientadora: Dr^a. Lídia Yokoyama.

RIO DE JANEIRO

2024

Louzada, Natasha Veiga.

Proposta de uma Rota de Tratamento de Água Produzida em Plataformas de Petróleo *Offshore* – Consolidação de um Estudo Bibliométrico / Natasha Veiga Louzada. – 2024.

93 f.

Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Rio de Janeiro, 2024.

Orientadora: Lídia Yokoyama

1. Água produzida. 2. Offshore. 3. Tratamento. 4. Bibliometria. I. Yokoyama, Lídia, orient. II. Título.



PROPOSTA DE UMA ROTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA EM
PLATAFORMAS DE PETRÓLEO *OFFSHORE* – CONSOLIDAÇÃO DE UM ESTUDO
BIBLIOMÉTRICO

Natasha Veiga Louzada

Orientador: Lídia Yokoyama

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica & Escola de Química, da Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental.

Aprovada pela Banca:



Documento assinado digitalmente

LIDIA YOKOYAMA

Data: 30/10/2024 12:48:28-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof^a Lídia Yokoyama, DSc Orientadora, UFRJ.



Documento assinado digitalmente

FELIPE SOMBRA DOS SANTOS

Data: 24/10/2024 14:26:47-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Felipe Sombra dos Santos, DSc, UFRJ.



Documento assinado digitalmente

YSRAEL MARRERO VERA

Data: 23/10/2024 22:18:19-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Ysrael Marrero Vera, DSc, CETEM/MCT.



Documento assinado digitalmente

DIEGO MACEDO VENEU

Data: 25/10/2024 10:38:53-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Diego Macedo Veneu, DSc, UERJ-Cabo Frio.

Rio de Janeiro

2024

Dedico este trabalho à minha família, especialmente à minha mãe Tereza (em memória), que me acompanhou por toda a vida até meados do mestrado, ao meu pai Celso, minha irmã Camila e meu esposo Rafael por me proporcionarem todo carinho e apoio nas minhas escolhas.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, agradeço a Deus pela oportunidade de me formar e manter meus sonhos vivos, pelas vivências e carinho que recebi ao longo da vida.

Agradeço à minha rede de apoio, primeiramente, minha mãe, que desde sempre esteve presente, me incentivando nos estudos, me orientando para que eu conquistasse os meus sonhos com sabedoria e responsabilidade. Sempre orgulhosa das minhas conquistas, me manteve equilibrada, positiva, e me fez enxergar “lá na frente”. Ao meu pai, com quem sempre pude dividir as dúvidas e conquistas profissionais, me incentivou a alcançar novos objetivos e incansavelmente ser amor. À minha metade Camila, que infinitamente torce por mim, essa conquista também é sua! Foram muitas mudanças ao longo do mestrado, e sem você ao meu lado, esse dia não chegaria. Obrigada por tudo e seguiremos juntas!

Agradeço à minha orientadora Lídia Yokoyama, uma pessoa que me conheceu profissionalmente há 15 anos, por quem sempre tive grande admiração, por sua maturidade em tornar os dias leves, com profissionalismo, não esquecendo sua humanidade. Agradeço pelos momentos em que não me deixou desistir, e pelo tempo que trabalhamos juntas. Foram muitos momentos marcantes. Agradeço também, à professora Magali Christe Cammarota, que me ajudou muito quando eu ainda realizava experimentos no Laboratório de Tecnologias Ambientais.

Aos meus supervisores Monica Costa Padilha e Henrique Marcelo Gualberto Pereira, que me deram a possibilidade de conciliar o mestrado com o trabalho, e por muitas vezes me incentivaram e mostraram o quanto é importante continuar, mesmo que para isso, fosse preciso fazer do laboratório um novo lar. Aos amigos do LBCD, posso agradecer mais de perto à Bruna, Mariana, Felipe, Márcia, Carol, Cris, Thais, Fabio, Gutierri e Thamara pela parceria, pelos momentos de descontração, pelos almoços diários e acolhimentos tão necessários nos momentos mais difíceis do mestrado. Foram muitos momentos querendo dar um passo atrás e vocês me empurraram à frente, dando apoio, ombro amigo e segurando a minha mão.

Às amigas da faculdade Amanda, Adriana, Mariana, Renata e Vanessa, agradeço pelos nossos encontros, e aos lindos exemplos de vocês que me inspiram sempre a buscar a minha realização profissional e pessoal. Obrigada por estarem presentes, me aconselhando e torcendo para que juntas, possamos comemorar mais uma vitória do nosso grupo.

Agradeço ao meu amor, meu esposo Rafael, que me incentiva diariamente, caminhamos juntos. Obrigada pelo seu zelo, carinho, paciência, compreensão, pelo apoio incondicional e estar sempre disposto a me ajudar. Juntos somos muito fortes. E os chocolates também fizeram muita diferença! Que continuemos nessa jornada da vida conquistando sempre mais.

Agradeço, em geral, à todas as pessoas que foram presentes no mestrado e ao longo da minha vida, porque se eu estou finalizando o mestrado é porque tive encontros e desencontros que contribuíram para eu ser a pessoa que sou.

“Tudo o que é seu encontrará uma maneira de chegar até você.” Chico Xavier.

RESUMO

Louzada, Natasha Veiga. Proposta de uma Rota de Tratamento de Água Produzida em Plataformas de Petróleo *Offshore* – Consolidação de um Estudo Bibliométrico. Rio de Janeiro, 2024. Programa de Engenharia Ambiental, Escola Politécnica e Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

O efluente de água produzida (AP) é gerado a partir da exploração e produção de óleo e gás pela indústria petrolífera. De acordo com o crescente volume de resíduos no mundo, o descarte de AP no meio ambiente tornou-se uma preocupação ambiental relevante. Em 2020, o volume global foi de, aproximadamente, 340 bilhões de barris de AP. A indústria de petróleo e gás tem a responsabilidade de descartar a AP dentro dos padrões legais vigentes, uma vez que, apresenta alta carga salina, com a presença de sólidos dissolvidos, ácidos orgânicos, óleos e graxas, além de compostos inorgânicos e metais. Dessa forma, o tratamento adequado da AP requer uma alta demanda de tecnologias específicas. O espaço da produção *offshore* restringe o tamanho dos sistemas de tratamento, cuja proposta inicial para a AP é baseada em separação térmica e gravitacional, sendo necessário um tratamento de polimento da AP para a remoção de óleo e graxa. A abordagem bibliométrica visa descrever, avaliar e monitorar as pesquisas por mapeamento científico, relacionando a ligação entre temas inseridos em uma determinada área e traçar seu desenvolvimento. Dessa forma, o objetivo do estudo é propor uma rota de tratamento da água produzida em plataformas de petróleo *offshore*. Foram realizadas pesquisas bibliográficas delimitando as publicações aos três temas: água produzida, plataforma *offshore* e tratamento de efluentes. Foram criados os mapas de visualizações em rede e realizada a avaliação temporal dos tratamentos de AP. As pesquisas bibliográficas permitiram a realização do estudo bibliométrico, através dos dados obtidos da *Web of Science* e análise no *software VOSviewer*. A rota proposta presume a associação, na etapa do flotor, de um tratamento por eletrocoagulação ou oxidação eletroquímica, conforme observado no estudo. Porém, essa proposta teórica se torna indispensável a otimização de pesquisas, incluindo a remoção de Óleo & Graxa para polimento final da água produzida, visando o enquadramento do lançamento do efluente em mar, perante a legislação vigente.

Palavras-chave: água produzida, tratamento, remoção, óleos e graxas, plataforma *offshore*, bibliometria.

ABSTRACT

Louzada, Natasha Veiga. Proposal for a route of produced water treatment on oil platforms – statements from a bibliometric study. Rio de Janeiro, 2024. Dissertation – (Master degree). Environmental Engineering Program, Polytechnic School and Chemistry School, Federal University of Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

Produced water (PW) wastewater is generated from oil and gas exploration and production by the oil industry. Given the increasing volume of waste worldwide, the disposal of PW into the environment has become a significant environmental concern. In 2020, the global volume was approximately 340 billion barrels of PW. The oil and gas industry are responsible for disposing of PW within current legal standards. Composed of high salinity, dissolved solids, organic acids, oils and greases, inorganic compounds, and metals, proper treatment of PW requires a high demand for technologies. *Offshore* production space restricts the size of treatment systems, with the initial approach for PW based on thermal and gravity separation, which is insufficient for treating wastewater, requiring a polishing treatment to remove oil and grease. The bibliometric approach aims to describe, evaluate, and monitor research by scientific mapping, linking topics within a specific area and tracing their development. Thus, the aim of this study is to propose a treatment route for produced water on *offshore* oil platforms. Bibliographic research was conducted, focusing on publications in three themes: produced water, *offshore* platforms, and effluent treatment. Network visualization maps were created, and a temporal evaluation of PW treatments was performed. Bibliographic research allowed for the bibliometric study through data obtained from the *Web of Science* and analysis in the *VOSviewer* software. The proposed route assumes an association, in the floatation stage, of a treatment by electrocoagulation, electrochemical oxidation, or AOP, as observed in this study. However, this theoretical proposal becomes essential to optimize research, including the removal of Oil & Grease for final polishing of the PW, aiming to classify the discharge of effluent into the sea, in compliance with current legislation.

Keywords: produced water, treatment, removal, oil and grease, *offshore* platform, bibliometrics.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Produção de Petróleo por regiões geográficas (milhões de barris/dia).....	20
Figura 2 - Esquema de um separador trifásico.....	26
Figura 3 - Esquema de um separador API	27
Figura 4 - Esquema de filtração simples	27
Figura 5 - Esquema de separação de água e óleo por hidrociclone.	28
Figura 6 - Processo de coagulação e floculação.....	29
Figura 7 - Processo de flotação.....	31
Figura 8 - Processo de eletroflotação.....	32
Figura 9 - Processos de separação por membranas e suas aplicações	33
Figura 10 - Processo de eletrocoagulação	36
Figura 11 - Reator de oxidação eletroquímica.....	37
Figura 12 – Representação dos processos oxidativos avançados.....	38
Figura 13 - Fluxograma geral de tratamento de AP em plataforma <i>offshore</i> no Brasil.	39
Figura 14 - Número de publicações das palavras-chave “produced water”, “offshore” e “wastewater treatment” no banco de dados <i>Web of Science</i>	51
Figura 15 - Mapa gerado pelo software <i>VOSviewer</i> , representando a co-ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ” e “ <i>offshore</i> ”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados <i>WOS</i>	53
Figura 16 - Mapa temporal gerado pelo software <i>VOSviewer</i> , representando a co- ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ” e “ <i>offshore</i> ”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados <i>WOS</i>	54
Figura 17 - Palavras-chave correspondentes à cada <i>cluster</i> , relativas ao mapa de visualização de rede representando a co-ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ” e “ <i>offshore</i> ”.	55
Figura 18 - Mapa gerado pelo software <i>VOSviewer</i> , representando a co-ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ” e “ <i>treatment process</i> ”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados <i>WOS</i>	58
Figura 19 - Mapa temporal gerado pelo software <i>VOSviewer</i> , representando a co- ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ” e “ <i>treatment process</i> ”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados <i>WOS</i>	59
Figura 20 - Palavras-chave correspondentes à cada <i>cluster</i> , relativas ao mapa de visualização de rede representando a co-ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ” e “ <i>treatment process</i> ”.....	60
Figura 21 - Mapa gerado pelo software <i>VOSviewer</i> , representando a co-ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ”, “ <i>treatment process</i> ” e “ <i>offshore</i> ”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados <i>WOS</i>	63
Figura 22 - Mapa temporal gerado pelo software <i>VOSviewer</i> , representando a co- ocorrência das palavras-chave “ <i>produced water</i> ”, “ <i>treatment process</i> ” e “ <i>offshore</i> ”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados <i>WOS</i>	64
Figura 23 - Palavras-chave correspondentes à cada <i>cluster</i> , relativas ao mapa de visualização de rede representando a co-ocorrência das palavras-chave	65
Figura 24 - Análise de desempenho da pesquisa com as palavras-chave “produced water” e “offshore” obtidas no <i>WOS</i> , com o número de publicações correspondentes a: A) Países que mais publicam. B) Autores que mais publicam. C) Tipo de documento.	67

Figura 25 - Análise de desempenho da pesquisa com as palavras-chave “Produced water” e “Treatment process” obtidas no WOS, com o número de publicações correspondentes a: A) Países que mais publicam. B) Autores que mais publicam. C) Tipo de documento.	69
Figura 26 - Análise de desempenho da pesquisa com as palavras-chave “produced water”, “ <i>offshore</i> ”, “treatment” e “oil removal” obtidas no WOS com o número de publicações correspondentes a: A) Países que mais publicam. B) Autores que mais publicam. C) Tipo de documento.....	71
Figura 27 - Fluxograma da proposta de rota de tratamento de água produzida em plataformas <i>offshore</i>	75

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixa de composição da água produzida compreendendo diferentes campos de produção de petróleo ao redor do mundo.	23
Tabela 2 - Limites de concentração de óleo em água produzida de determinados países.	24
Tabela 3 - Palavras-chave utilizadas nas pesquisas bibliográficas na base de dados <i>Web of Science</i>	47

LISTA DE SIGLAS

AP	Água Produzida
BTEX	Benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DNA	Ácido desoxirribonucleico
DQO	Demanda Química de Oxigênio
HPA	Hidrocarbonetos poliaromáticos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis
NORM	Materiais radioativos de ocorrência natural
NPD	Naftaleno, fenantreno e dibenzotiofeno
O&G	Óleo & Graxa
pH	Potencial hidrogeniônico
POA	Processos Oxidativos Avançados
SAO	Separação de Água e Óleo
USEPA	Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos
UV	Ultra-violeta

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	16
2	OBJETIVOS	18
2.1	OBJETIVOS ESPECÍFICOS	18
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	19
3.1	ÁGUA PRODUZIDA	19
3.1.1	Formação	19
3.1.2	Impactos gerados.....	19
3.1.3	Composição	22
3.2	LEGISLAÇÃO	24
3.3	TRATAMENTOS DE EFLUENTES	25
3.3.1	Separação gravitacional.....	26
3.3.2	Filtração	27
3.3.3	Hidrociclone	28
3.3.4	Coagulação e floculação	29
3.3.5	Flotação	30
3.3.6	Eletroflotação	31
3.3.7	Membranas	32
3.3.8	Processo eletroquímico.....	34
3.3.9	Eletrocoagulação	34
3.3.10	Oxidação eletroquímica.....	36
3.3.11	Processos oxidativos avançados	37
3.4	TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA EM PLATAFORMAS <i>OFFSHORE</i> 39	
3.5	BIBLIOMETRIA	40
4	METODOLOGIA	46
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	50
5.1	MAPEAMENTO BIBLIOMÉTRICO E ANÁLISE DE REDE.....	51
5.1.1	Avaliação das palavras-chave “produced water” e “ <i>offshore</i> ”.	52
5.1.2	Avaliação das palavras-chave “produced water” e “treatment process”.	57

5.1.3	Avaliação das palavras-chave “produced water”, “treatment process” e “offshore”	62
5.2	ANÁLISE DE DESEMPENHO	67
5.3	PROPOSTA DA ROTA DE TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA EM PLATAFORMAS DE PETRÓLEO <i>OFFSHORE</i>	73
6	CONCLUSÕES	77
7	PERSPECTIVAS FUTURAS	79
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	80
	APÊNDICE A – SELEÇÃO DO TIPO DE DADO A SER UTILIZADO PARA CRIAR O MAPA.	84
	APÊNDICE B – SELEÇÃO DO TIPO DE ARQUIVO OBTIDO NA BASE DE DADOS. 85	
	APÊNDICE C – SELEÇÃO DO ARQUIVO DE TEXTO OBTIDO NA BASE DE DADOS.	86
	APÊNDICE D – ESCOLHA DO TIPO E UNIDADE DE ANÁLISE E MÉTODO DE CONTAGEM.	87
	APÊNDICE E – DEFINIÇÃO DO NÚMERO MÍNIMO DE OCORRÊNCIA DAS PALAVRAS-CHAVE.	88
	APÊNDICE F – TABELA OBTIDA COM AS PALAVRAS-CHAVE, RESPECTIVAS OCORRÊNCIAS E SUAS FORÇAS DE CONEXÃO.	89
	APÊNDICE G – CRIAÇÃO DO MAPA DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS ESCOLHIDOS, VISUALIZAÇÃO EM REDE.	90
	APÊNDICE H – CRIAÇÃO DO MAPA DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS ESCOLHIDOS, VISUALIZAÇÃO SOBREPOSTA.	91
	APÊNDICE I – CRIAÇÃO DO MAPA DE ACORDO COM OS CRITÉRIOS ESCOLHIDOS, VISUALIZAÇÃO POR DENSIDADE.	92
	APÊNDICE J – APRESENTAÇÃO DO DETALHE NA SELEÇÃO DA PALAVRA-CHAVE.	93

1 INTRODUÇÃO

A indústria de petróleo e gás é responsável pela geração de água residuária associada às atividades de extração, a água produzida (AP), de composição complexa e alto potencial poluidor, demandando o uso de tecnologias para o tratamento adequado. Na economia atual, o petróleo desempenha um papel importante para garantir um crescimento contínuo, entretanto, os ecossistemas ficam sujeitos às alterações ambientais, resultantes de atividades operacionais. Devido ao aumento das atividades de produção de petróleo e gás, a quantidade de AP em campos petrolíferos vem crescendo em todo o mundo e o seu descarte se tornou uma questão ambiental mundial (AMAKIRI, CANON, et al., 2022).

A exploração e produção de petróleo e gás é uma realidade do Brasil e uma atividade central das grandes empresas fornecedoras de energia. O foco da exploração e produção vem sendo a reposição das reservas de petróleo e gás, visando aumentar a oferta de forma competitiva, por meio de práticas estratégicas para manter os recursos empregados e garantir retorno financeiro de forma íntegra e sustentável (PETROBRAS, 2022).

O teor de Óleo e Graxa (O&G) vem sendo pauta em campos *onshore* e *offshore*, uma vez que é um parâmetro controlado pela legislação (AMAKIRI et al., 2022). No Brasil, o descarte de AP de plataformas marítimas é regulado pela Resolução CONAMA nº393/07, que estabelece em seu Artigo 5º que “o descarte de água produzida deverá obedecer à concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg.L^{-1} , com valor máximo diário de 42 mg.L^{-1} ” (CONAMA, 2007). Uma Instrução normativa do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e Recursos Naturais Renováveis (IBAMA) nº. 01/2011, também possui requisitos para atividades *offshore*, a nível nacional, visando a conservação marinha que reflete aos empreendimentos marítimos de exploração e produção de óleo e gás (PETROBRAS, 2022).

A busca por alternativas para destinação adequada de AP é fundamental, devido à predominante atividade de produção *offshore* no Brasil. As operações *offshore* são intermitentes e bastante complexas, o que impõe restrições severas quanto a limitações de espaço para armazenamento, manuseio e transporte da AP, dificuldades de infraestrutura e disponibilidade de energia a bordo das plataformas,

em conformidade com os requisitos ambientais, além das exigências impostas pelos órgãos ambientais para o descarte no mar (ZHENG et al., 2016).

Em 2022, a produção nacional de petróleo atingiu cerca de 1,1 bilhão de barris, com uma média de 3 milhões de barris/dia, levando o Brasil à 9ª colocação mundial de produtores de petróleo. A produção em mar correspondeu a 97,4% do total. O Rio de Janeiro manteve a maior produção no país, com 84,5% da produção total, e média de 2,6 milhões de barris/dia (ANP, 2023).

Neste contexto, a indústria de produção de petróleo se depara com altos volumes de AP, necessidade de atendimento à legislação de controle ambiental vigente e limitação de espaço físico em plataformas *offshore*, requerendo tratamento eficiente para remoção de O&G em um tempo relativamente curto, é, portanto, um dos desafios tecnológicos no gerenciamento da água produzida.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho tem como objetivo principal avaliar a rede de correlação entre os tratamentos de água produzida em plataformas *offshore* por meio de uma análise bibliométrica através de dados específicos coletados na base de dados *Web of Science (WOS)* e posterior aplicação no *software VOSviewer*. Após a análise bibliométrica, PROPOR UMA ROTA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA EM PLATAFORMAS DE PETRÓLEO *OFFSHORE*.

2.1 Objetivos específicos

Neste propósito, seguem os objetivos específicos deste estudo.

- Realizar uma pesquisa bibliométrica através da base de dados *Web of Science*;
 - Relacionar os tratamentos que são mais aplicados em plataformas de petróleo *offshore*;
 - Relacionar e avaliar a evolução temporal das tecnologias de tratamento mais utilizados para a matriz de água produzida;
 - Relacionar os tratamentos eficientes, focando na matriz e local estipulados;
- Propor uma rota de tratamento para a água produzida, a partir dos procedimentos de tratamento atualmente realizados nas plataformas de petróleo *offshore*, de forma a refinar o processo com tecnologias eficientes para a remoção de óleo e graxa, visando o enquadramento do lançamento do efluente perante a legislação vigente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Água produzida

3.1.1 Formação

As indústrias petrolíferas utilizam o termo água de produção, ou água produzida, para nomear a água gerada durante as atividades de exploração e produção de óleo e gás (AL-GHOUTI et al., 2019).

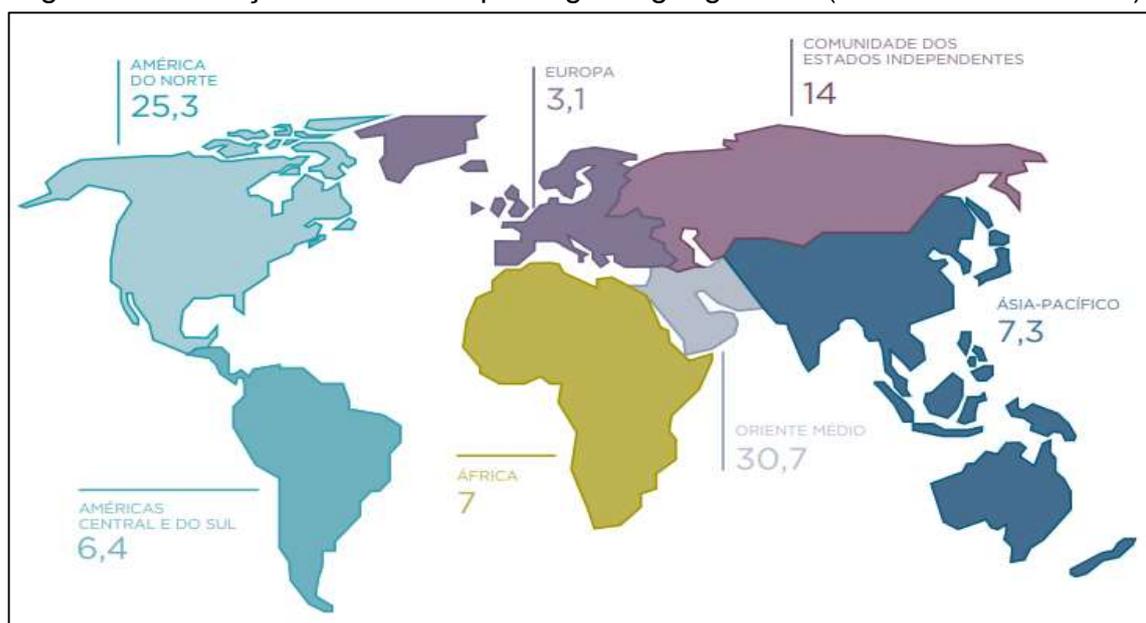
Naturalmente, as rochas que ocorrem em formações subterrâneas são geralmente permeadas com água, petróleo, gás ou uma combinação desses fluidos. Estima-se que antes do aprisionamento do petróleo, as rochas estavam preenchidas completamente com água em sua maioria. Antes do processo de produção no reservatório e dos fluidos serem trazidos à superfície, a água é conhecida como água de formação. Durante a extração, ao redor do poço, ocorre uma mistura entre água do mar e petróleo (AL-GHOUTI et al., 2019).

Ao longo do processo de extração, a pressão do reservatório é reduzida, sendo prevista a injeção de água adicional para manter a pressão hidráulica e melhorar a recuperação do óleo. A água produzida é, portanto, uma mistura de água de formação e de água de injeção, além de diversos compostos associados ao processo de extração, como hidrocarbonetos e produtos químicos, componentes de Inibidores de corrosão, biocidas, desemulsificantes e antiespumantes (IGUNNU; CHEN, 2012).

3.1.2 Impactos gerados

No Brasil, a maior parte da produção de petróleo ocorre em campos marítimos, exigindo atividades de perfuração em águas cada vez mais profundas (PETROBRAS, 2024). Em 2020, o volume global foi de, aproximadamente, 340 bilhões de barris de AP. A geração do resíduo líquido causa um impacto ambiental que ocorre nas produções tanto em unidade *onshore*, quando ocorre em terra, quanto em unidades *offshore*, praticadas no mar (GHAFARIAN KHORRAM et al., 2023). A Figura 1 mostra a produção de petróleo, em termos de barris por dia, em diferentes continentes.

Figura 1 - Produção de Petróleo por regiões geográficas (milhões de barris/dia).



Fonte: Anuário de 2023 da ANP.

Durante a exploração de petróleo e gás, diversos efluentes são formados, provenientes da água injetada nos poços, água condensada e traços de produtos químicos utilizados (GHAFFARIAN KHORRAM et al., 2023). Porém, a maior parte do volume do fluxo de resíduos nas operações de produção de petróleo e gás em plataformas *offshore* corresponde à AP, representando 80% dos resíduos líquidos (IGUNNU; CHEN, 2012).

Entre os novos campos petrolíferos e os mais antigos, o volume de AP tende a crescer a cada ano, proporcionando um aumento na manipulação desses resíduos. À medida que a idade do poço aumenta, a produção de petróleo e gás reduz, levando a um crescimento no volume de AP, pela necessidade de aumentar cada vez mais a pressão no poço (AL-GHOUTI et al., 2019). Para uma produção diária estimada em cerca de 80 milhões de barris de petróleo, são gerados, cerca de, 250 milhões de barris de AP (GHAFFARIAN KHORRAM et al., 2023).

A relação água:óleo é de aproximadamente 3:1; entretanto, levando-se em consideração o envelhecimento dos poços, estima-se que até 2025 esse valor alcance a média de 12:1 para a produção de petróleo, aumentando a necessidade de reúso e de um gerenciamento adequado da água produzida (AL-GHOUTI et al., 2019).

Alguns fatores que influenciam a geração de um determinado volume de água produzida e as suas características são a idade do reservatório, a localização geográfica, o tipo de tecnologia e metodologia de extração, bem como a profundidade

da formação geológica e o tipo de hidrocarboneto produzido. Por exemplo, a toxicidade da água produzida oriunda de plataformas de gás é 10 vezes maior do que a de poços de petróleo (AL-GHOUTI et al., 2019).

A indústria de petróleo e gás tem a responsabilidade do descarte da água produzida, sendo essencial o seu tratamento para a manutenção dos corpos hídricos. No entanto, o tratamento do efluente apresenta grandes desafios devido à sua complexidade e toxicidade. Para níveis de contaminação tão elevados, as indústrias devem investir muito para proporcionar um tratamento, que pode ser de custo elevado. Uma vez que o campo petrolífero determina sua rentabilidade pelo custo de operação das instalações, o custo e manuseio da AP pode exceder a receita, causando até o fechamento do poço (NADERSHA; ALY HASSAN, 2022).

A redução do volume de AP no fundo do poço permite maior produção de óleo e diminui os custos de levar um produto mais pesado à superfície. Além disso, os custos de manutenção de equipamentos e tratamento da água produzida são reduzidos, uma vez que é necessária uma menor quantidade de reagentes químicos e tempo utilizados na separação de água e óleo, e conseqüentemente, menor geração de carga poluidora a ser lançada ao mar. Porém, a separação de água e óleo do fundo do poço envolve o uso de um hidrociclone, e essa técnica sendo aplicada no fundo do mar, se torna mais restrita, em virtude de sistemas submarinos serem mais custosos, podendo então, ser utilizada na superfície da plataforma (ZHENG et al., 2016)

Contudo, a água produzida é um produto complexo, tanto em relação à sua composição química e seu potencial poluidor. Os principais grupos de constituintes da água de produção são os sais (expressos em salinidade, sólidos totais dissolvidos ou condutividade elétrica), óleos e graxas, ácidos orgânicos, e alguns compostos inorgânicos e orgânicos naturais (JIMÉNEZ et al., 2018).

O descarte da água produzida pode trazer diferentes impactos. No caso do descarte em corpos hídricos de fluxos baixos, o impacto ambiental é maior comparado ao descarte em mar aberto, em virtude da diluição dos contaminantes. Quando ocorre em regiões costeiras, podem contaminar os sedimentos, havendo a necessidade de se estabelecer uma relação adequada entre o volume gerado de AP e a concentração de hidrocarbonetos (VEIL; PUDER; et al., 2004). No entanto, são observadas medidas de proteção ambiental, como no Art. 9º da Resolução CONAMA nº393/2007, onde “é vedado o descarte de água produzida em um raio inferior a dez quilômetros de unidades de conservação e a cinco quilômetros de áreas ecologicamente sensíveis”.

Em regiões mais profundas, onde a temperatura da água é menor, as taxas de biodegradação são reduzidas. Além disso, contaminantes que estão dissolvidos em temperatura mais elevada, comum ao descarte da AP, se apresentam no mar de forma mais dispersa ou menos solúvel, afetando o ambiente marinho de forma persistente (ZHENG et al., 2016).

3.1.3 Composição

A presença dos contaminantes, individual ou coletivamente, representa uma ameaça para a vida aquática. O descarte inadequado de AP afeta os organismos marinhos de diversas formas, uma vez que, sua composição apresenta componentes tóxicos. Essas características se dão por propriedades físico-químicas, pela composição, temperatura (VEIL et al., 2004). Assim como, a composição do óleo, pH, salinidade, sólidos totais dissolvidos e a relação óleo/ água influenciam a toxicidade dos contaminantes. A salinidade, ocorre, principalmente, devido à presença de sódio e cloreto dissolvidos e, em menor escala, ao cálcio, magnésio e potássio, e pode variar em até partes por milhão. Os compostos orgânicos mais solúveis são os constituintes polares com um baixo número de carbonos, como os ácidos orgânicos (fórmico e propiônico), bem como os hidrocarbonetos e compostos voláteis. Todavia, os óleos ditos dispersos (óleo livre) estão presentes na forma de pequenas gotas na água, como os hidrocarbonetos poliaromáticos (HPA) e fenóis alquilados (JIMÉNEZ et al., 2018).

A título de exemplo, nos organismos vivos, tem-se os HPA, que causam danos ao DNA por serem cancerígenos, e afetam a função cardíaca, além de interromper o crescimento de embriões. Já os fenóis alquilados provocam o aumento das propriedades estrogênicas, perturbando o processo de crescimento, desenvolvimento e reprodução (HALIM et al., 2021). Os HPA são poluentes ambientais provenientes de combustão de materiais que contém carbono. São classificados como pirogênicos, quando decorrentes da queima de combustíveis fósseis, e petrogênicos, que são oriundos de petróleo bruto quando ocorre um derramamento de óleo. Os últimos se diferem por serem extensamente alquilados ou oxigenados (HUANG; PENNING, 2014).

A maioria dos hidrocarbonetos é insolúvel em água, então grande parte dos orgânicos estão presentes como óleo, cuja presença se faz em dispersão como uma

emulsão ou forma duas fases (JIMÉNEZ et al., 2018). Os componentes do óleo são uma mistura de hidrocarbonetos, incluindo os voláteis como benzeno, tolueno, etilbenzeno e xileno (BTEX), HPA, naftaleno, fenantreno e dibenzotiofeno (NPD) e fenóis (IGUNNU; CHEN, 2012)

Na água anóxica, também são gerados os sulfetos através da redução do sulfato por bactérias. Além de alguns compostos químicos, os quais, são utilizados para evitar problemas operacionais, como inibidores de corrosão, biocidas, desemulsificantes e antiespumantes. Em função disso, é notada a presença de materiais diversos, como os produtos de corrosão e incrustação, bactérias, ceras e asfaltenos. Alguns materiais radioativos de ocorrência natural (NORM) também podem ser encontrados na água de produção (FAKHURU'L-RAZI et al., 2009).

Em suma, a variedade dos compostos é encontrada e/ou utilizada em todo o processo de perfuração, fraturamento e operação do poço (AL-GHOUTI et al., 2019).

Na Tabela 1, podem ser observados valores referentes aos diversos parâmetros da AP, apresentados como uma média mundial, ou também, faixas correspondentes a vários países, conforme relatado por Alomar et.al. (2022).

Tabela 1 – Faixa de composição da água produzida compreendendo diferentes campos de produção de petróleo ao redor do mundo.

Parâmetro (mg.L ⁻¹)	Faixa de valores	Parâmetro (mg.L ⁻¹)	Faixa de valores
pH	4.3-7.4	Sódio	1.030 - 150.000
DBO	750 - 957	Cálcio	329 - 74.000
DQO	1.220 - 1.910	Sulfito	828
TOC	491 - 1.700	Magnésio	4,7 - 12.341
Nitrogênio total	34 - 647	Brometo	51
Nitrogênio Kjeldahl	83 - 155	Bicarbonato	144 - 15.000
BTEX	12,4 - 83,6	Sulfato	54 - 15.000
Fenol	11,5 - 1.000	Potássio	44 - 2.162
Óleo & Graxa	40,5 - 654	Tiosulfato	14
Sólidos suspensos totais	500,6 - 7.820	Acetato	347
THP*	45	Amônio	11 - 14,54
Condutividade (µS/cm)	7.200 - 87.542	Amônia	9,6 - 74
Sólidos dissolvidos totais	5.189 - 400.000	Nitrato	2,2 - 9,5
Salinidade	7.165 - 100.000	Nitrito	0,05
Cloreto	2.265 - 250.000	Fósforo total	0,71

* Total de hidrocarbonetos de petróleo: Hexano, óleo mineral, benzeno, tolueno, xileno, naftaleno, fluoreno

Fonte: Adaptado de ALOMAR et al., 2022.

3.2 Legislação

O teor de óleo e graxa (O&G) constitui um dos grupos de compostos que apresenta restrições mais exigentes para descarga da AP. Dessa forma, a referência de tratamento da água produzida tem como foco, a remoção de O&G. A água produzida bruta contém, em média, aproximadamente 500 mg.L⁻¹ de O&G.

No entanto, após um tratamento convencional, o teor de O&G pode chegar a 35-40 mg.L⁻¹, com uma opção de tratamento com instalações otimizadas, 15 mg.L⁻¹ e em instalações de tratamento visando apenas atender os limites de descarga em água do mar 100 mg.L⁻¹, resultando em um efluente tratado de forma insuficiente (JIMÉNEZ et al., 2018).

No Brasil, a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n°. 430/2011 dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes. Em todo o Brasil, a legislação exige o enquadramento dos efluentes a serem lançados, bem como, exigem requisitos a serem cumpridos referente à qualidade de água do corpo receptor de acordo com a sua classe, ainda que, o efluente esteja enquadrado, existindo, assim, uma dupla exigência (PETROBRAS, 2022). A Tabela 2 apresenta os limites mundiais de O&G, inclusive, os referentes ao Brasil.

Tabela 2 - Limites de concentração de óleo em água produzida de determinados países.

País	Limite de concentração de óleo (mg.L ⁻¹)
Equador, Colômbia	30
Argentina e Venezuela	15
Indonésia	25
Malásia, Oriente Médio	30
Nigéria, Angola, Camarões, Costa do Marfim	50
Mar do Norte, Austrália	30
Tailândia	50
USA	29 para águas externas à Plataforma Continental Descarga zero em águas interiores
Brasil	29 - Média mensal 42 - Máximo diário

Fonte: Adaptado JIMÉNEZ et al., 2018.

Alguns efluentes possuem Resoluções específicas, como é o caso da água produzida, cujo descarte *offshore* deve atender a resolução CONAMA nº. 393/2007.

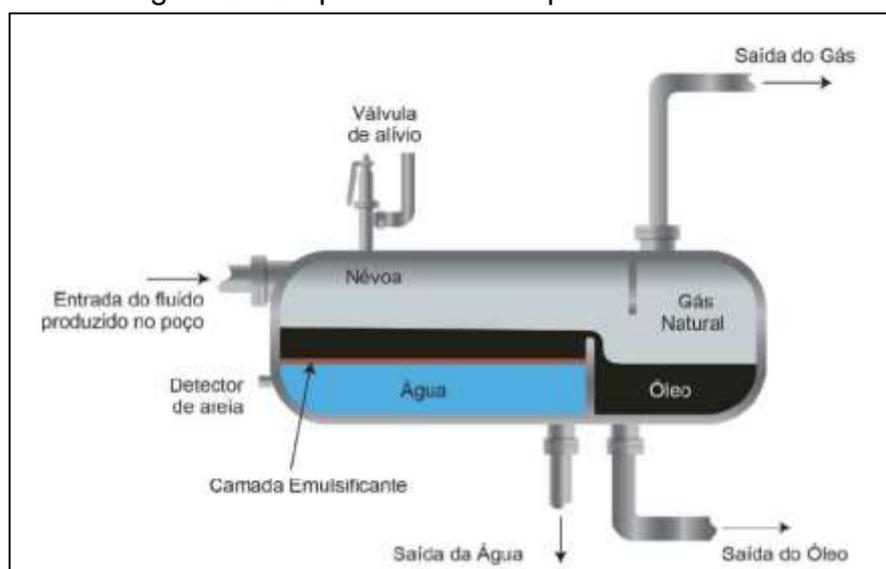
No Atlântico Norte, a Convenção da Proteção do Meio Ambiente Marinho, criada em 1992, estabelece para a região do Mar do Norte, o limite para o despejo de água produzida na maioria das águas *offshore* de 30 mg.L⁻¹. Nessa região, em 2020, foram perfurados em 231 poços (OSPAR, 2022). Nos Estados Unidos, a Agência de Proteção Ambiental (USEPA) estipula uma quantidade média mensal de óleo na água produzida descartada de 29 mg.L⁻¹ e um máximo diário de 42 mg.L⁻¹ para a região da Plataforma Continental Exterior (JIMÉNEZ et al., 2018).

A maioria das indústrias de petróleo e gás do mundo está atualmente trabalhando para a implementação da "descarga zero" de contaminantes em água produzida. Além da legislação, muitos países com poucos recursos hídricos, que possuem campos de petróleo, estão procurando maneiras de complementar seus recursos limitados de água doce. Eles se concentram em métodos eficientes e econômicos para tratar as águas produzidas, para que estas possam ser canalizadas para usos agrícolas e industriais, além disso, muitas procuram reutilizar a própria água produzida para reinjeção (JIMÉNEZ et al., 2018).

3.3 Tratamentos de Efluentes

Convencionalmente, o processo de tratamento da água produzida passa por três etapas principais: o pré-tratamento, o tratamento principal e o polimento (AL-GHOUTI et al., 2019). O tratamento inicial proposto para a água produzida é baseado em separação por massa específica, como pode ser verificado na Figura 2, através do separador trifásico, porém, o efluente tratado somente por este método ainda provoca a contaminação do solo, águas superficiais e subterrâneas. Determinados métodos têm sido amplamente utilizados ainda no tratamento primário da água produzida, como o hidrociclone e o separador eletrostático. Os hidrociclones podem ser utilizados combinados a outras tecnologias em um processo de pré-tratamento seguido de um tratamento secundário, que, geralmente, é um flotador (IGUNNU; CHEN, 2012).

Figura 2 - Esquema de um separador trifásico.



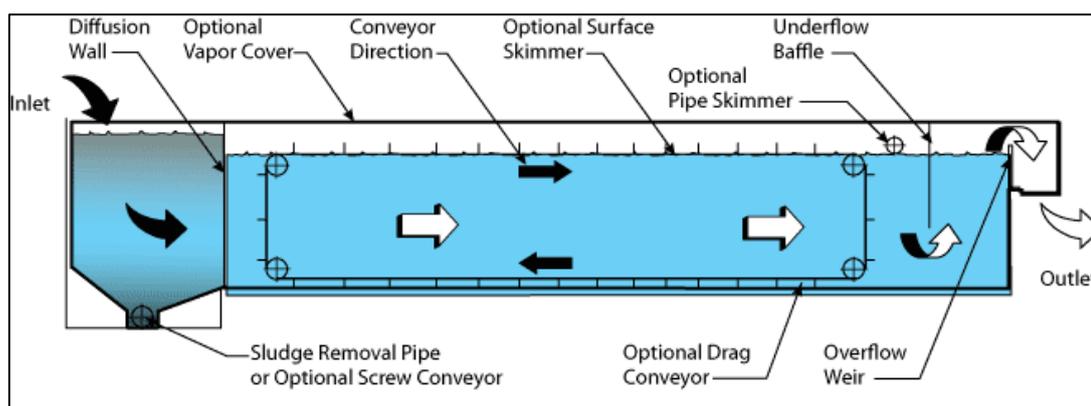
Fonte: VIANA JUNIOR et al., 2023.

Entretanto, a combinação de tecnologias convencionais é, na maioria dos casos, incapaz de produzir um efluente compatível com os padrões de reutilização na irrigação ou na indústria. Nesses casos, é necessário um tratamento de polimento da água produzida para a remoção de O&G, como adsorção em carvão ativado, filtração por membrana, radiação ultravioleta, oxidação química, entre outros. No entanto, deve-se atentar para os tipos de tratamento que podem ser aplicados, e a demanda de estudos relacionados à caracterização da água produzida em questão (JIMÉNEZ et al., 2018).

3.3.1 Separação gravitacional

A separação gravitacional é uma técnica adaptável, de baixo custo, e uma tecnologia simples que pode ser complementada com outros métodos para aumentar a performance do tratamento, como uso de agentes químicos, campos elétricos, variação de temperatura. O equipamento chamado separador *API* (*American Petroleum Institute*), promove a separação entre água e óleo (SAO) após a entrada do efluente, por meio do critério de variação da gravidade dos componentes, conforme a Figura 3, onde o óleo é carregado para a coleta na superfície, e o lodo formado na parte inferior é carregado ao início do processo, para decantação e remoção (AMAKIRI et al., 2022).

Figura 3 - Esquema de um separador API



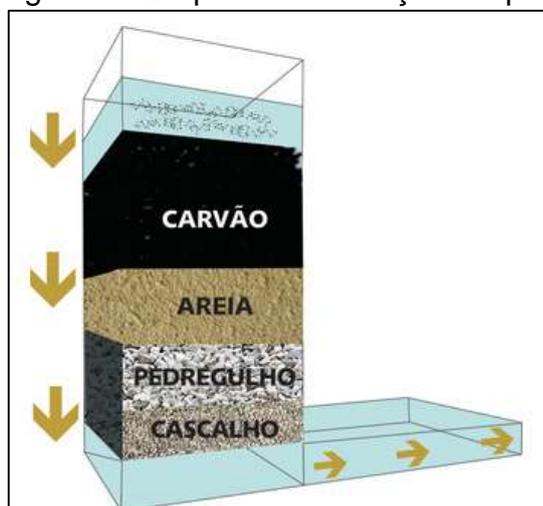
Fonte: Monroe Environmental Corp. (2024).

Esse processo inicial pode remover até 60% dos sólidos suspensos, resultando em um lodo que requer um tratamento posterior. Entretanto, o consumo de energia é baixo e exige o mínimo de manutenção (AMAKIRI et al., 2022).

3.3.2 Filtração

A filtração é uma técnica relativamente simples, mais utilizada no processo de tratamento de água e esgoto, porém, existem diversos materiais porosos que podem ser utilizados como meios filtrantes, como areia, brita e carvão ativado, como pode ser observado na Figura 4. À medida que a filtração ocorre, as partículas coloidais e suspensas acumulam e incrustam o sistema, sendo necessária uma manutenção frequente nesse processo (AL-GHOUTI et al., 2019).

Figura 4 - Esquema de filtração simples



Fonte: UFRPE, (2024)

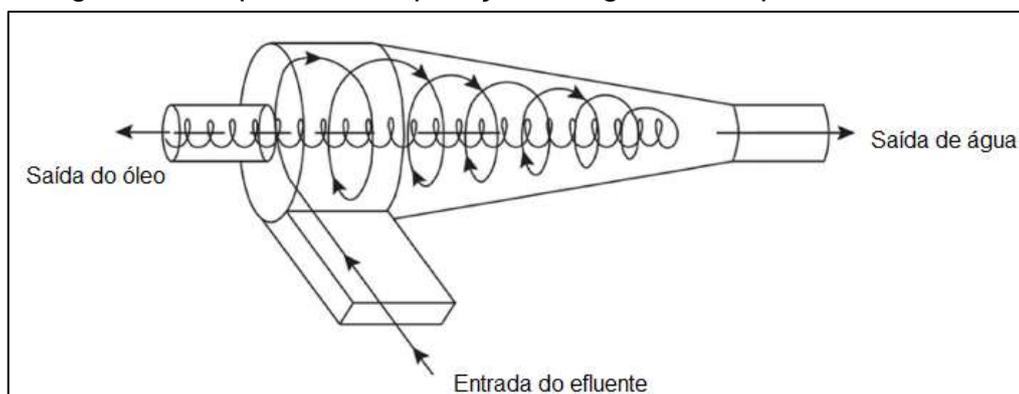
3.3.3 Hidrociclone

A primeira pesquisa sobre a aplicação da tecnologia de separação por hidrociclone para sistemas líquido-líquido foi publicada na década de 80. E, logo foi transformada em uma técnica de aplicação em plataformas *offshore*, sendo muito utilizada atualmente como um tratamento primário (DUDEK et al., 2020).

O processo, utilizado no tratamento de água produzida, pode ser utilizado junto a outras tecnologias como um pré-tratamento de água de alimentação (IGUNNU; CHEN, 2012) Os hidrociclones podem remover gotículas de até 5-15 μm . Se utilizados em série, são capazes de reduzir o teor de O&G à níveis próximos ao limite de descarte (DUDEK et al., 2020).

O hidrociclone utiliza a aplicação da força centrífuga para remover as gotículas de óleo dispersas em água, tendo como resultado o aumento da aceleração gravitacional (DUDEK et al., 2020). Esse sistema é constituído por uma câmara cilíndrica ligada a um corpo cônico, onde a água oleosa é introduzida sob pressão, tangencialmente, na maior abertura, e direcionada à saída de menor diâmetro, conforme pode ser visto na Figura 5 (AMAKIRI et al., 2022).

Figura 5 - Esquema de separação de água e óleo por hidrociclone.



Fonte: Adaptado de Amakiri et. al. 2022

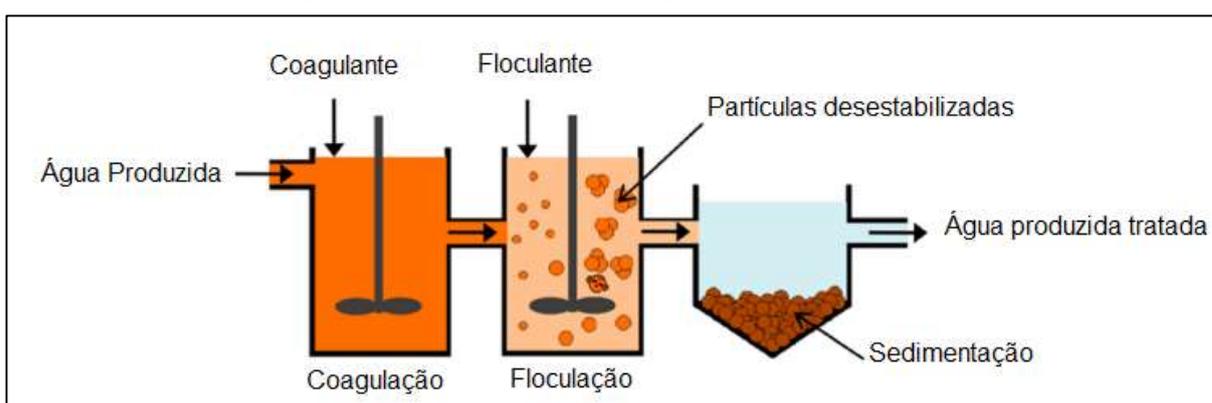
O sistema possui uma vida útil longa, demandando baixo custo de manutenção e, relativamente, baixo custo com energia, além de não consumirem reagentes químicos no processo (AMAKIRI et al., 2022). Sua desvantagem é a geração de resíduos concentrados (IGUNNU; CHEN, 2012).

3.3.4 Coagulação e floculação

O processo de coagulação e floculação faz parte de um tratamento primário e pode ser uma alternativa eficaz para remover sólidos suspensos e partículas coloidais. Os coagulantes e floculantes são compostos, principalmente, por metais inorgânicos, como ferro ou alumínio, utilizados no tratamento baseado em precipitação para a remoção de óleo emulsionado na água, e geram, dessa forma, um lodo como resultado da sedimentação, conforme visto na Figura 6 (AL-GHOUTI et al., 2019).

Com a adição dos reagentes à água produzida, a desestabilização das partículas suspensas promove a formação de flocos por adsorção e agregação, como pode ser observado na Figura 6. Amakiri et al. (2022) menciona experimentos que foram conduzidos em uma faixa de pH de 6-9, com amostras contendo sólidos suspensos totais na faixa de 100-1.000 mg.L⁻¹ e os resultados mostraram níveis aceitáveis de remoção dentro do limite de descarte. Esses processos são eficazes na remoção de sólidos suspensos totais, porém, não são aplicáveis a todo tipo de efluente. Visando remoção de matéria orgânica dissolvida, esse processo é considerado inadequado, como é o caso do tratamento de água produzida (AMAKIRI et al., 2022).

Figura 6 - Processo de coagulação e floculação.



Fonte: Adaptado de Amakiri et. al. 2022.

As instalações industriais para o processo são de baixo custo, porém, podem ser complementadas com a etapa de flotação, e dessa forma, o custo se eleva, uma vez que o tratamento consome maior energia (AMAKIRI et al., 2022).

3.3.5 Flotação

O processo de flotação é amplamente utilizado no tratamento de água produzida. Este se baseia na inserção de pequenas bolhas de gás a fim de separar partículas em suspensão que não são removidas por sedimentação (IGUNNU; CHEN, 2012). Essa é uma técnica de tratamento secundário, embora também possa ser utilizada em série, como tratamento primário e secundário (DUDEK et al., 2020).

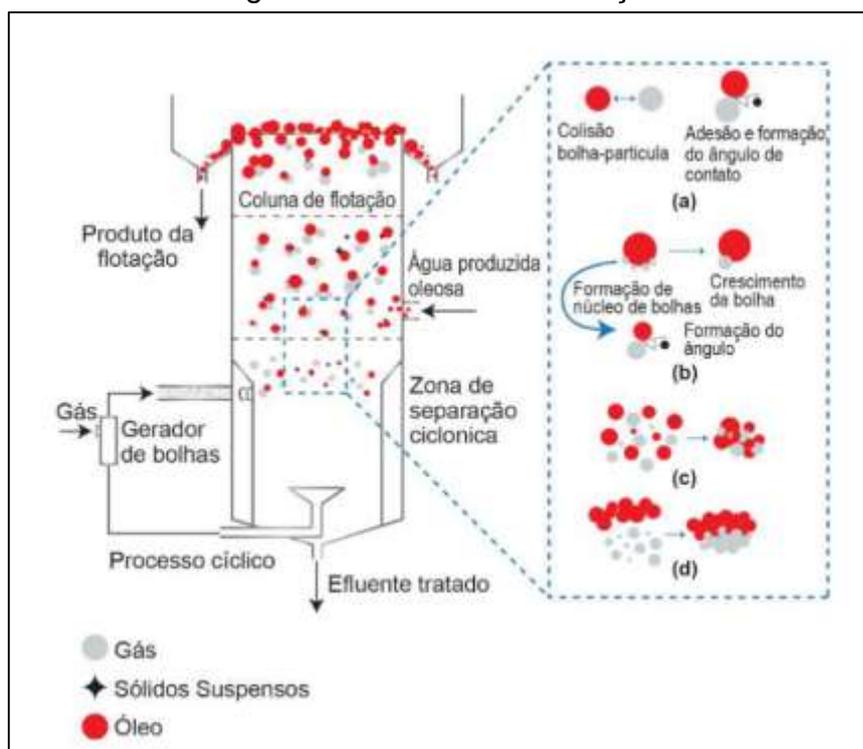
Uma etapa de coagulação/ floculação prévia pode ser realizada com o objetivo de aumentar a eficiência da flotação (JIMÉNEZ et al., 2018). Porém, esse caso implica na disposição final do lodo gerado. A flotação pode remover partículas de 25 mm, e até mesmo de 3 mm, quando realizada após um pré-tratamento, porém, não remove constituintes solúveis de óleo na água (IGUNNU; CHEN, 2012).

Na maioria dos casos, o gás natural é o mais utilizado por ser mais abundante. Em geral, nos processos de tratamento de água *offshore*, a flotação é uma unidade utilizada, podendo ser flotação por gás dissolvido ou induzido, ou até mesmo, uma combinação de ambos, no caso de uma água supersaturada de óleo (DUDEK et al., 2020).

Quando o gás é injetado na água, partículas suspensas e gotículas de óleo são presas às bolhas, que combinadas, possuem menor densidade que a da água. A corrente ascendente da combinação água/óleo resulta na formação de espuma na superfície da água, podendo ser removida mais facilmente por raspadores, e a água tratada é coletada na parte inferior do compartimento de flotação (IGUNNU; CHEN, 2012; DUDEK et al., 2020).

A água produzida, naturalmente, contém surfactantes, o que dificulta o processo da flotação pela formação de óleos emulsionados. Sua eficácia aumenta quando as bolhas de gás são menores que as gotículas de óleo. A alta salinidade da AP provoca o aumento de sua densidade, viscosidade e tensão superficial, prejudicando a flotação. No entanto, a dissolução do gás é favorável às temperaturas mais baixas (IGUNNU; CHEN, 2012; JIMÉNEZ et al., 2018). Um sistema de flotação pode ser visto na Figura 7.

Figura 7 - Processo de flotação



Fonte: VIANA JUNIOR et al., 2023.

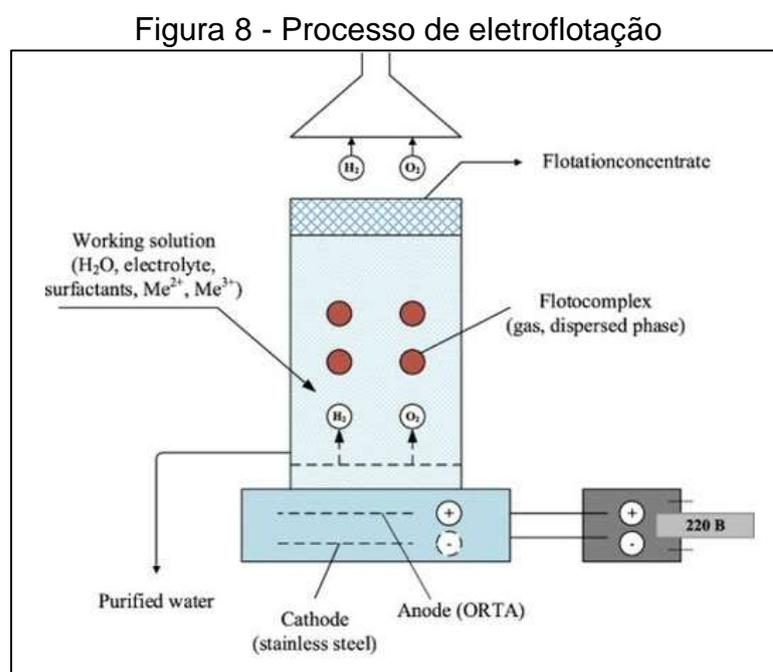
3.3.6 Eletroflotação

O processo de eletroflotação se baseia no uso de eletrodos com propriedades mecânicas e elétricas específicas. A floculação do material suspenso ocorre a partir de um gradiente de campo elétrico criado entre os eletrodos. No caso do uso de ânodo de ferro ou alumínio de sacrifício, inicialmente a produção de seus respectivos íons forma os coagulantes. Portanto, nesse caso, a eletrocoagulação precede a flotação (SHADI et al., 2021). As condições operacionais são facilmente controladas, uma vez que a corrente utilizada compreende a faixa de 5-20 V, as quantidades de gases produzidos são em função da densidade de corrente e da salinidade da solução. Com a utilização de um soprador, qualquer risco de escape de hidrogênio pode ser eliminado (KYZAS; MATIS, 2016).

A aplicação dessa tecnologia é limitada pela estabilidade do material do eletrodo. A partir da década de 70, o desenvolvimento de Ânodo Dimensionalmente Estáveis (DAS) trouxe um avanço na área de tratamentos de águas residuais e industriais (NONATO et al., 2017). Nonato (2017) promoveu um estudo para avaliar a eficiência de remoção de óleo e graxa e observou que em apenas 30 minutos de

eletrólise, o valor de O&G atingiu nível inferior à média mensal permitida pela legislação brasileira, obtendo exatamente $28,69 \text{ mg.L}^{-1}$ O&G. Os DAS possibilitaram a aplicação da eletroflotação em tratamentos sem a deterioração dos eletrodos, promovendo, ainda, a remoção de poluentes orgânicos, com uma redução do tempo consumido do tratamento.

A Figura 8 apresenta um esquema de um reator eletroquímico utilizado no processo de eletroflotação.



Fonte: Imran Ali, 2022.

3.3.7 Membranas

O processo de separação por membranas pode ser utilizado no tratamento de água produzida através de membranas específicas que funcionam como uma barreira, que separa duas fases e que restringe total ou parcialmente o transporte de uma ou várias espécies químicas presentes nas fases. O fluido é transportado através da membrana pela ação de uma força motriz, a partir de diversas fontes, a mais utilizada para tratamento de água é a pressão hidráulica. As membranas que empregam gradiente de pressão são divididas em microfiltração para sólidos suspensos, ultrafiltração para macromoléculas, nanofiltração para separação seletiva de íons multivalentes, e osmose inversa para separação de componentes

dissolvidos e iônicos. Na Figura 9 podem ser observados os materiais retidos e os permeados possíveis para cada processo, além de suas aplicações (JIMÉNEZ et al., 2018).

Figura 9 - Processos de separação por membranas e suas aplicações

Processo	Força Motriz	Material Retido	Material que Permeia	Aplicações
Microfiltração (MF)	ΔP (0,5 – 2 atm)	Material em suspensão, bactérias. Massa molar > 500k Da (0,01 μ m).	Água e sólidos dissolvidos.	Esterilização bacteriana; clarificação vinhos e cervejas; concentração de células; oxigenação de sangue.
Ultrafiltração (UF)	ΔP (1 – 7 atm)	Colóides, Macromoléculas. Massa molar > 5.000 Da.	Água (solvente), sais solúveis de baixa massa molar.	Fracionamento/concentração de proteínas, recuperação de pigmentos/óleos.
Nanofiltração (NF)	ΔP (5 – 25 atm)	Moléculas de massa molar. Média 500 < MM < 2.000 Da.	Água, sais e moléculas de baixa massa molar.	Purificação de enzimas; bioreatores a membrana.
Osmose Inversa (OI)	ΔP (15 – 80 atm)	Todo material solúvel ou em suspensão.	Água (solvente).	Dessalinização de águas; concentração de suco de frutas; desmineralização de águas.

Fonte: HABERT; NOBREGA; BORGES (2006)

As membranas são classificadas com base em sua morfologia, tais como poliméricas e não poliméricas. As primeiras podem ser constituídas principalmente por acetato de celulose, poli (sulfona), poli (éter sulfona), poli (acrilamida), poli (éter imida), poli (carbonato). Já as demais, incluem as de cerâmicas, de carbono, de óxidos metálicos e de metais. Também chamadas de membranas inorgânicas, conferem uma estabilidade química e térmica. Além de serem inertes a solventes, são resistentes a condições mais agressivas de limpeza e a altas pressões, e apresentam maior vida útil (HABERT et al., 2006 e SAMUEL et al., 2022).

A remoção de partículas pode ocorrer por dois mecanismos principais: retenção por tamanho ou por sorção, em que a membrana atua como uma barreira para a permeação das partículas, e difusão no material da membrana, onde

solubilização por afinidade físico-química. Contudo, o fluxo do permeado é afetado pelos fenômenos de polarização de concentração e *fouling*. A polarização ocorre com a formação de um gradiente de concentração na superfície da membrana, diferentemente do *fouling*, que é mais complexo, podendo levar à irreversibilidade da permeabilidade da membrana. As principais vantagens em aplicar a separação por membrana são a qualidade obtida dos permeados, retendo até gotas de óleo com dimensões abaixo de 10 µm e baixo custo operacional (MOTTA et al., 2013).

No entanto, a incrustação é a principal desvantagem dessa tecnologia, o que implica em maiores requisitos de pressão durante a operação e produtos químicos necessários para a limpeza, além de paradas na produção por um determinado tempo. Uma membrana com incrustação possui menor produtividade, menor seletividade, menor fluxo e sua vida útil é muito reduzida (JIMÉNEZ et al., 2018).

3.3.8 Processo eletroquímico

A eletroquímica é considerada uma tecnologia “verde” e há de se considerar o consumo de energia para as células eletroquímicas. Apesar de ser utilizada no tratamento de águas residuais, para o tratamento específico de água produzida ainda não é difundida. Essa tecnologia pode gerar resíduos, no entanto, não envolve o consumo de produtos químicos adicionais (AL-GHOUTI et al., 2019). Outra vantagem é a possibilidade de gerar e armazenar energia, remover orgânicos, com pouco ou nenhum impacto no meio ambiente. Para a obtenção de um efluente final de qualidade, esse processo permite a sua integração a outros processos químicos, visando atingir uma produção mais limpa, ou até mesmo, a recuperação de metais de um campo petrolífero (JIMÉNEZ et al., 2018).

3.3.9 Eletrocoagulação

O princípio da eletrocoagulação depende do anodo de sacrifício, do catodo, do pH do meio e solubilidade do metal. O anodo é oxidado a cátion metálico, que por sua vez, é utilizado como um coagulante para os ânions, enquanto a água é reduzida gerando gás hidrogênio e ânions hidroxila no catodo. Conseqüentemente, os cátions metálicos e ânions hidroxila formam os precipitados de hidróxido metálicos, enquanto,

finalmente os ligantes orgânicos formam um complexo insolúvel com o hidróxido metálico (YAMBA; MOUTLOALI; MABUBA, 2020)

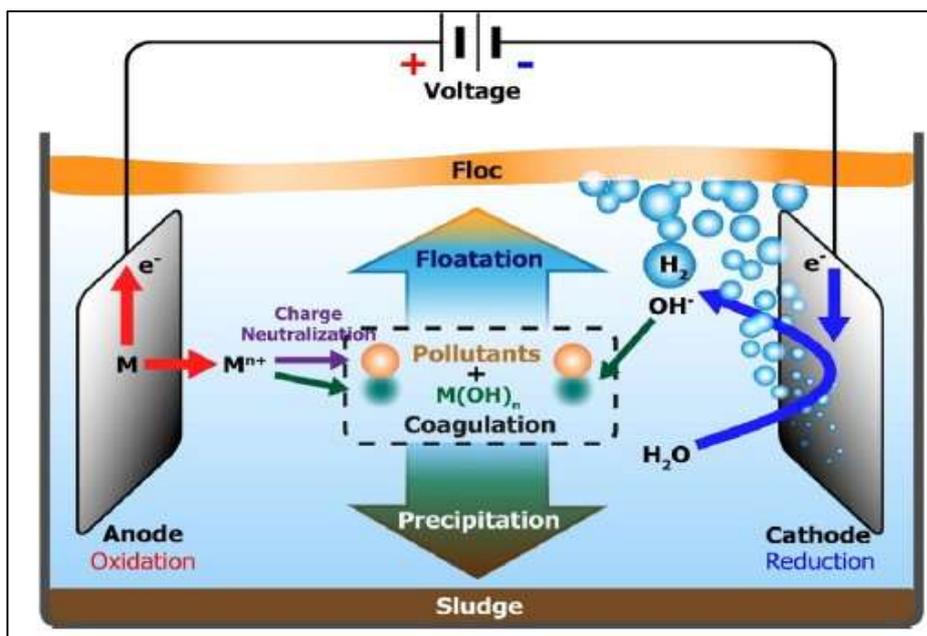
Uma das vantagens é o aproveitamento de contaminantes do efluente, que são utilizados na coagulação, não havendo necessidade de uso de reagentes. Um exemplo constatado por Yamba (2020) foi a observação do uso de uma chapa de ferro corrugado, em que continha alto teor de zinco e oxigênio (ferrugem). Os metais da chapa foram utilizados como metais de sacrifício, e o Zinco foi oxidado, atuando como coagulante para sulfatos, fluoretos e fosfatos em água.

Determinadas indústrias produzem efluentes contendo alta concentração de sulfato, como as têxteis, de bateria, celulose e papel, fabricação de alimentos, o que provoca a corrosão de canos, rachadura de paredes de cimento e destruindo a infraestrutura, inclusive, de estações de tratamento. Porém, de forma alternativa, a eletrocoagulação foi projetada como uma técnica para tratar diversas águas residuais, como chorume de aterro, águas residuais salinas, urbanas e de polimento químico.

Resultados eficientes foram observados na redução de sulfato de 1300 para 250 mg.L⁻¹ em empresas de mineração, atendendo o limite aceitável de descarte. Além disso, foram realizados experimentos de eletrocoagulação empregando eletrodos de alumínio com obtenção de 53% de remoção de sulfato da drenagem de mina a uma concentração inicial de 3567 mg.L⁻¹, tendo ainda uma expressiva remoção de 86% utilizando um tratamento combinado de CaO/ eletrocoagulação (YAMBA; MOUTLOALI; MABUBA, 2020).

A Figura 10 representa o esquema de um processo de eletrocoagulação.

Figura 10 - Processo de eletrocoagulação



Fonte: AN et al., 2017.

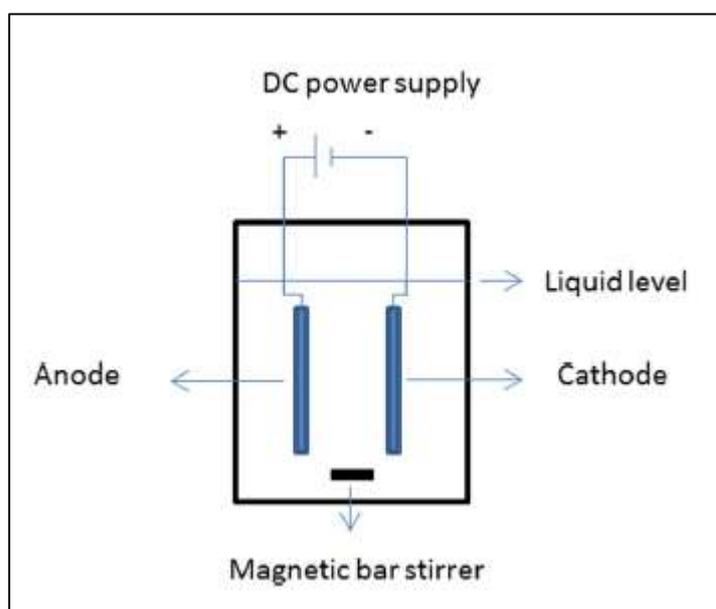
No caso de efluente de refinarias de petróleo, AN et al., (2017) cita estudos onde eletrodos de ferro mostraram melhor desempenho comparado aos de alumínio no processo de eletrocoagulação, onde a remoção de DQO se apresentou mais lenta do que a de óleo e sulfetos. Em outros estudos com águas residuais oleosas de refinarias de gás foram realizados utilizando eletrodo de alumínio, com dosagem de Cloreto de polialumínio (PAC) como auxiliar de coagulação. Foram observados resultados de remoção de quase 99% dos hidrocarbonetos nesse processo. Nesse estudo, ainda foram verificados fatores, como distância do eletrodo, pH inicial, sulfato de sódio como eletrólito de suporte e a densidade de corrente aplicada.

3.3.10 Oxidação eletroquímica

Os processos de oxidação eletroquímica representam tecnologias alternativas promissoras para a degradação e mineralização de substâncias orgânicas e inorgânicas. Esse processo se baseia na produção de radicais hidroxila na superfície do ânodo, que por sua vez, levam à oxidação dos poluentes. Dessa forma, os materiais orgânicos e organometálicos se tornam íons inorgânicos e CO_2 e água (AL-AMERI, et al. 2023). Al-Ameri (2023) abordou a eficiência do tratamento com água produzida, resultando em uma remoção de 90% de DQO e DBO, 99% de redução de

sólidos suspensos totais e bactérias. O autor ainda cita a combinação de tecnologias de oxidação, coagulação e floculação para tratar água produzida offshore alcançando uma remoção completa de óleos e graxas totais, além da redução de cor e turbidez. A Figura 11 apresenta um reator de oxidação eletroquímica.

Figura 11 - Reator de oxidação eletroquímica.



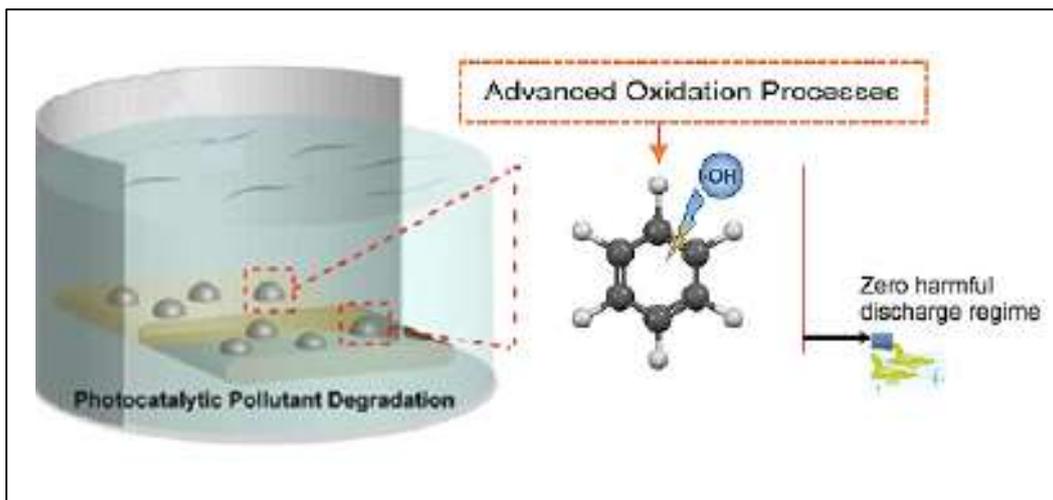
Fonte: AL-AMERI, 2023.

3.3.11 Processos oxidativos avançados

Os Processos Oxidativos Avançados (POA) são processos que apresentam elevado potencial de redução pela formação de radicais livres, geralmente os radicais hidroxilas, conforme representado na Figura 12. Radicais livres são espécies que apresentam vacâncias na sua distribuição eletrônica e, portanto, altamente reativas, podendo oxidar substâncias orgânicas a CO_2 , água e compostos inorgânicos ou inertes. Porém, é importante avaliar a formação de subprodutos e sua toxicidade (POYATOS et al., 2010).

Os POAs podem ser opção vantajosa nos tratamentos de AP a qual apresenta composição complexa e a presença de contaminantes recalcitrantes e micropoluentes resistentes, como fenóis e algumas substâncias persistentes aos tratamentos convencionais. Os principais processos são UV/ O_3 , UV/ H_2O_2 , Fenton, O_3 , $\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{Fe}^{2+}$ (POYATOS et al., 2010).

Figura 12 - Representação dos processos oxidativos avançados



Fonte: Amakiri, 2022

O peróxido de hidrogênio é um oxidante forte que pode ser utilizado no tratamento de água produzida reagindo diretamente com compostos orgânicos. Quando usado em combinação com outro reagente ou recebendo energia, é capaz de gerar radical hidroxila, promovendo maior oxidação no meio. Esta técnica combinada com radiação UV (catalisador) apresenta vantagens, como alta solubilidade do peróxido de hidrogênio em água, além de não ser necessária uma etapa de separação do efluente tratado, uma vez que, não há geração de resíduo. Porém, na combinação de processos oxidativos, a geração de subprodutos, como lodo, ou compostos tóxicos pode ocorrer, dependendo dos processos realizados (JIMÉNEZ et al., 2018).

O processo Fenton pode ser definido como um processo combinado de uma reação aquosa de peróxido de hidrogênio e íons de ferro II (Fe^{2+}). O mesmo não é um processo seletivo, porém se destaca por ser uma tecnologia simples de ser empregada, tendo como vantagens as condições ambientais do processo e facilidade no armazenamento de reagentes. Apresenta a desvantagem da geração de lodo como descarte, além da necessidade de controle do pH na faixa ácida 2-4, elevando assim, o custo com reagentes (ORAL; KANTAR, 2019).

A ozonização é um processo de oxidação que pode reagir de forma relativamente lenta. Porém, combinado com peróxido de hidrogênio e radiação UV, o processo gera radicais hidroxila, promovendo com maior eficiência, a remoção de compostos orgânicos. No caso da utilização do ozônio com radiação UV, a degradação de BTEX, componentes tóxicos da água produzida, ocorre rapidamente

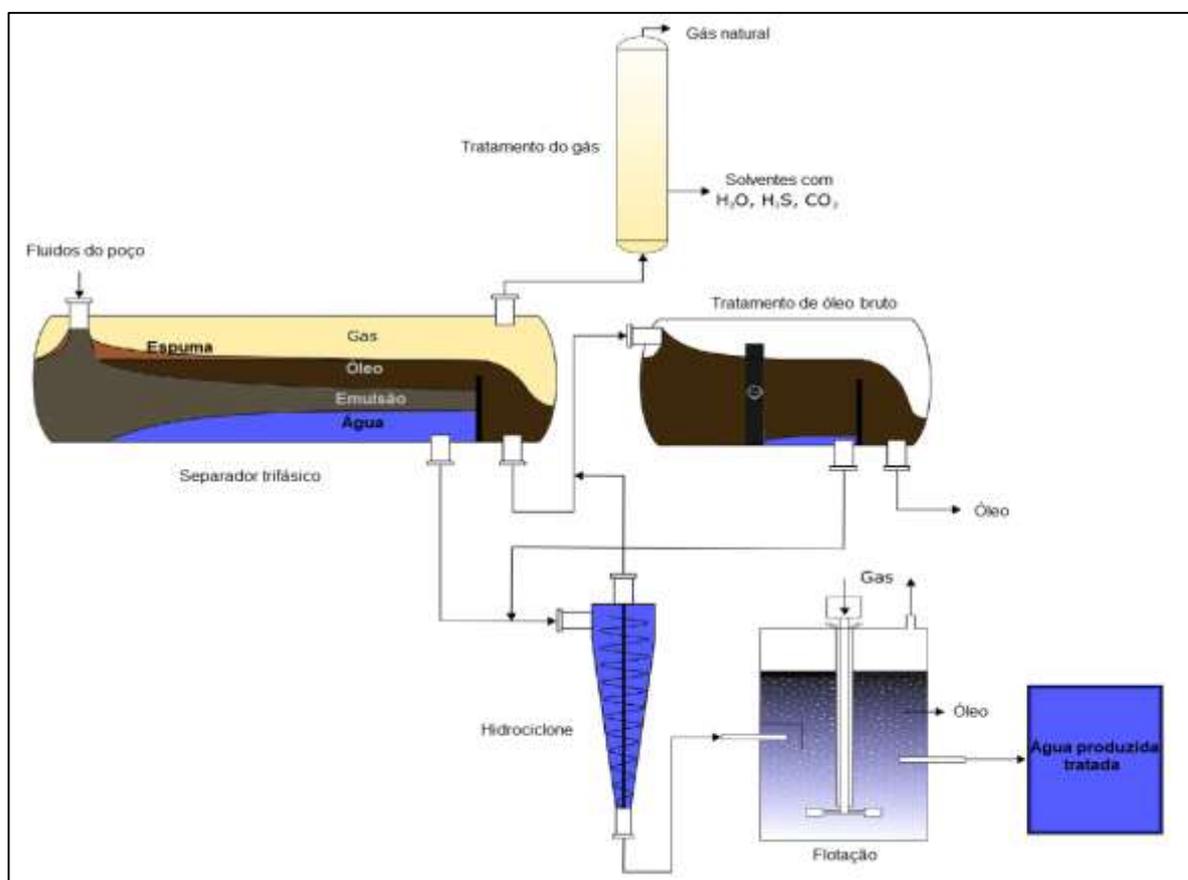
(JIMÉNEZ et al., 2018). O método de ozonização apresenta a desvantagem de demandar elevado consumo de energia e de produtos químicos, gerando, também altos custos operacionais (FAKHURU'L-RAZI et al., 2009).

3.4 Tratamento de água produzida em plataformas *offshore*

Em uma instalação *offshore*, vários poços de petróleo são, geralmente, conectados a um coletor de produção, de onde os fluidos avançam para as etapas de processamento. Na primeira fase, os fluidos entram em um separador de gravidade em que ocorre a separação trifásica do gás, óleo e água, onde essa segue para tratamento secundário e os demais são enviados para processamento (DUDEK et al., 2020).

Na Figura 13, podem ser observadas as etapas de tratamento de AP que representam uma realidade, atualmente, para plataforma *offshore* no Brasil.

Figura 13 - Fluxograma geral de tratamento de AP em plataforma *offshore* no Brasil.



Fonte: Adaptado de DUDEK, 2020.

As principais diferenças no gerenciamento da água produzida *onshore* e *offshore* são as limitações de peso e espaço, o movimento das plataformas *offshore*, entre outros fatores como regulamentos, volumes gerados, e a prioridade de remoção de contaminantes. Tecnologias que exigem grandes espaços e longa retenção são mais amplamente utilizadas em terra. O espaço da produção *offshore* restringe o tamanho dos sistemas de tratamento, afetando a eficiência da remoção de contaminantes (ZHENG et al., 2016). As instalações de tratamento de água de produção em terra são projetadas principalmente para a remoção de O&G disperso, a fim de evitar obstruções e danos nas operações, enquanto no mar o tratamento visa reduzir o teor de O&G a níveis aceitáveis de descarte e mitigar os impactos nos organismos aquáticos (JIMÉNEZ et al., 2018).

Diante da complexa composição da água produzida, diversos tipos de tratamentos podem ser empregados visando a remoção dos mais variados contaminantes. Porém, selecionar somente uma técnica para a remoção completa dos contaminantes se torna incoerente diante da diversidade de poluentes, tamanho das moléculas e custo operacional. Geralmente, em áreas *offshore*, as técnicas mais econômicas são escolhidas, dependendo ainda da capacidade da planta, da disponibilidade de energia à bordo, da qualidade do efluente, e da demanda de lançamento da legislação vigente. Previamente ao lançamento, o método de tratamento deve atender aos padrões regulatórios (SAMUEL et al., 2022).

3.5 Bibliometria

A produção científica foi avaliada de forma mensurável, inicialmente, no final do século XIX, com a necessidade de se avaliar as características do processo de produção e divulgação dos produtos científicos. O termo “bibliografia estatística” foi muito utilizado para expressar o que mais tarde foi proposto, por *Pritchard*, como a “bibliometria” atual (LIMA; LEOCÁDIO, 2018).

A abordagem bibliométrica vem sendo utilizada para descrever, avaliar e monitorar as pesquisas já publicadas sobre um assunto, promovendo um mapeamento científico sobre o desenvolvimento de campos e disciplinas científicas. Visando o avanço de uma determinada linha de pesquisa, se faz necessária uma busca nos campos da ciência a fim de se obter resultados de pesquisas já existentes (ZUPIC; ČATER, 2015).

A comparação da análise bibliométrica com outras alternativas de revisão frequentemente utilizadas, como meta-análises e revisões sistemáticas da literatura se mostra importante, visto que, este estudo não se trata apenas de um estudo bibliométrico, mas sim, do uso da bibliometria como uma ferramenta para discussão e continuidade a outros temas (DONTHU et al., 2021).

Um método tradicional para a busca é a pesquisa sob uma abordagem qualitativa. As revisões sistemáticas da literatura utilizam métodos clássicos que requerem um escopo de estudo restrito e, portanto, tendem a utilizar menos artigos para revisão, como dezenas e poucas centenas. Pode ser aplicado quando o conjunto de dados é pequeno o suficiente para que seu conteúdo possa ser revisado manualmente, sendo viável quando o escopo da revisão for específico. Por ter um viés qualitativo, a técnica pode ser prejudicada por preconceitos de interpretação de alguns estudiosos de diferentes formações acadêmicas. Já a análise bibliométrica e a meta-análise se baseiam em técnicas quantitativas, portanto, podem minimizar esse preconceito (DONTHU et al., 2021).

Especificamente, a meta-análise visa resumir as evidências, analisando o tamanho do efeito de cada estudo e das relações entre as variáveis, sendo utilizada para esclarecer descobertas empíricas e realizar a combinação estatística dos estudos. No entanto, a análise bibliométrica tem por objetivo as relações sociais e estruturais entre diferentes constituintes da pesquisa, como por exemplo, relacionar autores, países, instituições e tópicos (DONTHU et al., 2021).

Contudo, o método de pesquisa bibliométrica se baseia em uma análise quantitativa capaz de potencializar o processo de revisão de forma sistemática, transparente e reprodutível, apresentando as tendências emergentes de um tópico ou campo de pesquisa, portanto, adequada para um escopo amplo de revisão. O método ainda permite ao pesquisador uma orientação antes do início da leitura, uma vez que se tem acesso aos trabalhos mais influentes e ao mapeamento de pesquisa de forma imparcial. Essa pesquisa se torna uma combinação da classificação e visualização de mapas que expressam as relações entre as disciplinas, especialistas e os artigos individuais (ZUPIC; ČATER, 2015 e DONTHU et al., 2021).

O uso de qualquer um dos três métodos de revisão aqui discutidos depende dos objetivos da revisão e da magnitude e natureza do tema que está sendo revisado (DONTHU et al., 2021).

O estudo da Ciência da Informação traz com a bibliometria uma possibilidade relevante a ser considerada, que é a avaliação do comportamento e desenvolvimento de determinada área do conhecimento. Várias frentes de trabalho vêm sendo desenvolvidas no Brasil, desde os anos 2000, para analisar o crescimento do estudo bibliométrico. Muitas delas na área de estudo de ciência da informação, história da ciência, progresso científico e tecnológico, e utilizam de variáveis para avaliar toda a produção científica, como a produção anual, a tipologia, o idioma, a titulação e formação acadêmica dos autores, e o comportamento das publicações sobre bibliometria ao longo dos anos (ARAÚJO; ALVARENGA, 2011). Uma análise com base em um estudo bibliométrico é importante para avaliar avanços, desafios, tendências e perspectivas futuras na investigação científica (TAMALA et al., 2022).

As possibilidades através da análise bibliométrica são das mais diversas. Os pesquisadores estudam os efeitos de diferentes medidas de similaridade, e podem escolher as diferentes técnicas de mapeamento. A maioria das representações gráficas são simples, no entanto, há uma tendência para mapas maiores, necessitando de um aprimoramento na representação gráfica (VAN ECK; WALTMAN, 2010).

As novas funcionalidades não podem ser incorporadas aos programas usuais, porém, uma ferramenta adequada para visualizar detalhadamente os mapas bibliométricos é o *software VOSviewer*, que oferece a exibição dos mapas contendo muitos itens. Para evidenciar essa capacidade, os criadores do software construíram e exibiram um mapa de cocitação de 5000 principais revistas científicas (VAN ECK; WALTMAN, 2010). Embora o VOSviewer tenha sido criado, principalmente, para análise de redes bibliométricas, o mesmo pode ser usado para criar, visualizar e explorar mapas a partir de qualquer tipo de dados da rede (ZUPIC; ČATER, 2015).

Os métodos bibliométricos possibilitam uma análise quantitativa na avaliação subjetiva da literatura. Esses, possuem dois focos principais: análise de desempenho e mapeamento científico. A análise de desempenho está relacionada à avaliação do desempenho de pesquisa e publicação dos indivíduos e instituições. Através dele, é possível avaliar as palavras-chave por autores, ano, número de citações, fonte de publicação, tipo de documento, país, instituições; enquanto o mapeamento científico revela a estrutura e o desenvolvimento dos campos científicos. Ou seja, essas informações são úteis quando a demanda é revisar uma determinada linha de pesquisa, onde o mapeamento mostra como as disciplinas, autores e

documentos se relacionam entre si por meio de mapas bibliométricos. Dessa forma, este método permite analisar qualquer tipo de estudo (SIMÕES et al., 2021; ZUPIC; ČATER, 2015).

O estudo bibliométricos não substitui os métodos de pesquisa tradicionais, mas pode funcionar como um complemento, desde que existam conexões entre os estudos analisados. O mapeamento científico tem um foco mais abrangente, pois pesquisa uma ampla gama de estudos. Dessa forma, quando realizado corretamente, o método proporciona uma objetividade maior na avaliação da literatura, pois o estudo pode ser sobre um artigo de análise bibliométrica apenas, ou fornecer informações adicionais para uso em revisões tradicionais da literatura (ZUPIC; ČATER, 2015). Os estudos de natureza bibliométrica são base para se conhecer um campo científico, seus aspectos de divulgação, bem como os padrões de comunicação entre seus pares, as parcerias realizadas e níveis de critérios selecionados para publicação, como índices de revistas mais escolhidas (ARAÚJO; ALVARENGA, 2011).

O mapeamento científico pode ser criado através do *software VOSviewer* para visualizar redes de publicações científicas, revistas científicas, pesquisadores, países, palavras-chave ou termos. Essas redes podem ser conectadas através de cinco principais métodos bibliométricos: citação, cocitação, acoplamento bibliográfico, coautor e co-ocorrência (ZUPIC; ČATER, 2015).

A partir destes métodos são levantadas inúmeras questões e discussões acerca da literatura, tendo cada um, seu objetivo específico.

Os três primeiros métodos mencionados utilizam dados de citações para obtenção de dados de autores e periódicos mais citados, gerando uma medida de influência e importância dos artigos na área estudada. Essa suposição se baseia na premissa de que os autores citam documentos que consideram importantes para seu trabalho (ZUPIC; ČATER, 2015).

A partir da cocitação, as conclusões são mais expressivas, pois este método tem a capacidade de identificar as redes de interconexões entre os acadêmicos, à medida que se mede a similaridade e relação entre documentos, autores ou periódicos. Ocorre quando dois artigos são citados juntos em algum trabalho. Sua premissa leva à análise de que quanto mais dois documentos possuem cocitações, maior a probabilidade de seus conteúdos estarem relacionados (ZUPIC; ČATER, 2015).

No campo da ciência, a cocitação é mais utilizada do que o acoplamento bibliográfico, este último revela quando dois autores diferentes citam um mesmo artigo, um caso contrário ao de cocitação. Basicamente, este é uma unidade de acoplamento entre os dois autores. A premissa é de que publicações acopladas tratam conceitos semelhantes, indicando novos estudos sobre o tema (ARAÚJO; ALVARENGA, 2011). Por esse motivo, faz mais sentido quando a análise por este método ocorre dentro de um determinado período de tempo das publicações em questão (ZUPIC; ČATER, 2015)

O método de coautor utiliza os dados para medir a colaboração de publicações científicas. Ocorre com a busca de publicações com a relação estabelecida de dois autores. Este método pode analisar qual o impacto que essa colaboração causa, além de poder verificar através da formação dos autores a presença de interdisciplinaridade entre as publicações, ou mesmo quando um campo de pesquisa se estabelece, como se relacionam as origens dos autores, no que se refere ao país de origem, área acadêmica ou instituição (ZUPIC; ČATER, 2015).

A análise de copalavras encontra as relações entre os conceitos que são mencionados simultaneamente em títulos, palavra-chave, resumos ou textos completos, a fim de construir um mapa semântico da área. Este método pode ser utilizado para relacionar a ligação entre temas dentro de uma determinada área e traçar seu desenvolvimento (ZUPIC; ČATER, 2015).

A utilização do programa VOSviewer implica em considerar o seu manual para seguir um procedimento sugerido como regra. O estudo bibliométrico demanda uma série de esforços para minimizar os erros na obtenção de resultados com publicações indesejadas. Por isso, a pesquisa deve ser realizada com muita cautela, seguindo todas as etapas (ZUPIC; ČATER, 2015)

A primeira e uma das mais importantes etapas de um estudo bibliométrico é o planejamento de pesquisa, onde se define a questão a ser pesquisada e se determina um método bibliométrico adequado para fornecer as respostas desejadas. Dentre os métodos citados anteriormente, deve-se atentar para o objetivo central do estudo a fim de se obter respostas de acordo com a proposta da pesquisa (ZUPIC; ČATER, 2015)

O mapeamento científico tem como segunda etapa a compilação dos dados bibliométricos. Para isso, é fundamental limitar o escopo do estudo com o objetivo de filtrar os artigos que devem participar do mapeamento. Essa limitação ocorre por meio

de dois processos, o primeiro é fazer essa determinação através da leitura dos títulos e resumos, excluindo os que estão fora de contexto (ZUPIC; ČATER, 2015)

A segunda opção é trazer uma limitação por periódicos. Limitar quais periódicos, ou um número pequeno de periódicos que contemplem a especialidade do assunto em questão. Uma busca por palavras-chave pode ser um problema no que diz respeito à qualidade da pesquisa, uma vez que nem todos os artigos utilizam esse recurso. Então, o ideal é a inclusão de títulos e resumos dos artigos. As palavras-chave da pesquisa devem representar com precisão o campo a ser estudado. Uma pré-análise pode ser realizada visando aumentar a validade dos termos de pesquisa, através de consultas em publicações sobre o tema, dessa forma os termos científicos se expressam de forma representativa. Após a escolha do conjunto de documentos, esses ainda podem se restringir à um filtro de citações com o objetivo de selecionar os estudos mais influentes na área, como por exemplo, artigos que tenham o mínimo de 5 citações (ZUPIC; ČATER, 2015).

A terceira etapa do mapeamento científico se baseia na análise, onde se inicia o pré-processamento dos dados. Os dados brutos precisam de uma “limpeza”, uma vez que pode ocorrer de referências aparecerem mais de uma vez da mesma publicação, ou terem autores abreviados de formas diferentes de um mesmo trabalho, os livros que possuem edições diferentes podem aparecer como dados diferentes. Então, devem ser realizadas correções em alguns dados, para não haver duplicidade de nenhum artigo (ZUPIC; ČATER, 2015).

4 METODOLOGIA

A metodologia utilizada, inicialmente, para o desenvolvimento deste trabalho consiste em realizar uma pesquisa bibliográfica através de publicações em revistas científicas, teses e legislações vigentes, sobre os temas referentes à AP e seus possíveis tratamentos adicionais aos tratamentos atualmente realizados nas plataformas *offshore*.

Para o estudo bibliométrico, foram definidas as estratégias de busca na base de dados *Web of Science*. Foi selecionado o intervalo dos últimos 24 anos, entre 2000 e 2024. A justificativa para a definição dessa faixa está descrita nos resultados. Alguns filtros foram utilizados visando padronizar as buscas, tais como idioma “inglês”, por ser considerado um idioma universal, e as opção de busca das palavras-chave em “Tópico”, que inclui a busca do texto em “título”, “palavras-chave” e “resumo” nas publicações. Esse formato visou aumentar a representatividade dos termos da pesquisa, evitando, assim, equívocos na obtenção dos resultados. Além disso, os tipos de documento selecionado nas buscas foram “artigo” e “artigo de revisão”, uma vez que esses dois tipos de documento expressam o crescimento do conhecimento e acompanhamento de uma tendência na investigação sobre o futuro promissor do tema.

Estes documentos foram suficientes para acompanhar os esforços científicos, de forma global, para atender à demanda do estudo. Os arquivos de dados gerados foram, posteriormente, utilizados no *software VOSviewer*.

A análise bibliométrica foi realizada de acordo com os procedimentos do manual do software *VOSviewer*, produzido por *Jan van Eck e Waltman*, (JAN VAN ECK; WALTMAN, 2022). O programa *VOSviewer* foi alimentado pelos arquivos gerados na base de dados *Web of Science*, personalizando as redes de conexões, a partir das escolhas entre citação, cocitação, acoplamento bibliográfico, coautor e co-ocorrência, podendo assim, transformar os dados em mapas.

O programa *VOSviewer* foi obtido por meio de download, com fácil acesso, uma vez que está disponível no próprio *website* de forma gratuita, e ainda permite suporte de dados das bases *Web of Science*, *Scopus*, *Dimensions*, *Lens* e *PubMed*.

Foram realizadas três pesquisas bibliográficas com o objetivo de delimitar as publicações aos três temas do estudo. Para essa finalidade, cada pesquisa compreendeu o termo “produced water”. A pesquisa 1 teve por objetivo delimitar o

local de escopo da pesquisa. A pesquisa 2 foi abordada a fim de obter os dados de processos de tratamentos de efluentes utilizados para tratar a água produzida. Já a pesquisa 3 foi elaborada com o propósito de obter dados relevantes ao que tange às práticas adotadas no tratamento de água produzida, especificamente, em plataformas *offshore*. Para as determinadas buscas, foram selecionadas as palavras-chave, como mostra a Tabela 3.

Tabela 3 – Palavras-chave utilizadas nas pesquisas bibliográficas na base de dados *Web of Science*.

Pesquisa	Tema da pesquisa	Palavras-chave
1	Plataforma <i>offshore</i>	“produced water” e “offshore”
2	Tratamento de água produzida	“produced water” e “treatment process”
3	Tratamento de água produzida em plataformas <i>offshore</i>	“produced water” e “treatment process” e “offshore”

De acordo com as recomendações do manual do *software*, os resultados foram exportados em formato “Delimitado por tabulações” (*Tab delimited file*) na opção “Referências Registradas e Citadas” (*Record and Cited References*).

Nos apêndices, estão inseridos os passo a passos para a criação dos mapas, a partir dos dados obtidos e exportados através do banco de dados *Web of Science*. Para fins de metodologia, serão descritos o procedimento da pesquisa 3, porém, as três pesquisas foram obtidas igualmente.

Com a ferramenta do *software VOSviewer*, foi possível criar os mapas das conexões entre as palavras-chave. Inicialmente, foi selecionado o tipo de dado a ser utilizado para criar o mapa, sendo esses, dados bibliográficos (apêndice A).

Posteriormente, foi escolhida a opção de arquivos gerados a partir de base de dados, com dados bibliográficos (apêndice B), inserindo o arquivo gerado pela mesma (apêndice C).

O tipo de rede construída foi de co-ocorrência com todas as palavras-chave possíveis como unidades de análise e contagem completa (apêndice D).

O número mínimo estipulado para a ocorrência de palavras-chave foi igual a 5 (apêndice E), como ferramenta de minimização de erros, evitando, assim, a ocorrência de publicações que divergem do tema de interesse.

No passo seguinte, as palavras-chave foram exibidas em forma de tabela, com o respectivo número de ocorrências e força de conexão (apêndice F).

Finalizando o processo de criação, o programa mostra as formas de visualização (apêndices G, H, I).

Para visualização dos resultados, o mapa principal utilizado foi de visualização em rede, onde os itens são representados por um rótulo e, de forma padrão do *software*, um círculo, cujo tamanho é determinado pelo peso do item. Quanto maior o peso de um item, maiores o rótulo e o círculo. A cor do círculo é determinada pelo agrupamento (*cluster*) ao qual pertence, sendo esse, a representação das palavras que são comumente utilizadas em conjunto nos trabalhos, ou seja, palavras que estão relacionadas.

As linhas e as distâncias entre as palavras representam as conexões entre elas. Quanto mais espessa a linha, maior a força de conexão entre as palavras-chave, o mesmo ocorre quanto menor for a distância entre elas. Os detalhes se tornaram visíveis passando o cursor em cima de cada palavra-chave, com informações complementares na barra inferior da janela (apêndice J).

O programa permite, ainda, alterações de algumas configurações na visualização do mapa, como critérios de repulsão e aproximação dos itens, tamanho das palavras de acordo com o número de ocorrências ou força de conexão, espessura da linha de conexão, cor de fundo etc.

Além disso, foram obtidos os mapas de visualização sobreposta, com a seleção da escala de tempo das publicações. O mapa expressa os mesmos resultados, porém, sob o ponto de vista temporal, compreendendo a faixa de tempo aplicada automaticamente pelo programa, de acordo com a data das publicações. Essa escala de tempo é identificada nas palavras-chave pela cor do círculo de cada item.

Ainda foram gerados os *QR code*, referentes à cada etapa da pesquisa, representando o mapa principal. O leitor passa, então, a ter acesso ao *VOSviewer* online, onde é possível visualizar o mapa com mais detalhes, podendo analisar cada item do mapa, aproximar a imagem, além de obter informações sobre o número de ocorrências das palavras, as conexões de cada palavra-chave, e ver detalhes como a

espessura das linhas de conexão. Nas configurações, também é possível alternar a visualização entre o mapa principal e o mapa temporal (abrindo a seta esquerda, selecionando em visualizar, a cor do ano de publicação). Os *QR codes* foram criados na primeira semana de junho de 2024.

Com os dados expressos em mapas, foram realizadas as análises pertinentes, assim como a análise de desempenho geral da pesquisa.

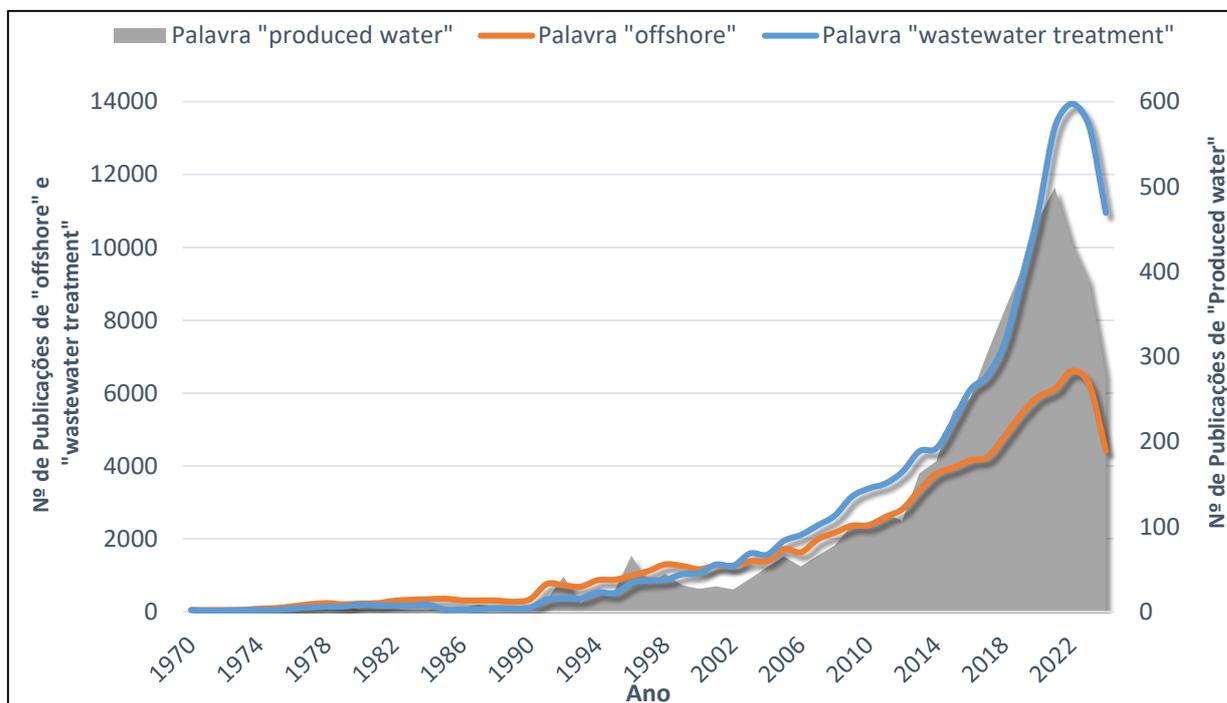
5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A primeira etapa do procedimento de pesquisa foi realizada a partir da busca das palavras-chave “produced water”, “offshore” e “wastewater treatment” no banco de artigos científicos *Web of Science*. Essas palavras-chave foram escolhidas por representarem o viés deste trabalho.

Os dados gerados forneceram uma delimitação na faixa de tempo a ser pesquisada. Como pode ser visto na Figura 14, a partir de 1992, o número de publicações se elevou consideravelmente. Um fato histórico ocorrido neste ano foi a ECO-92, ocorrida no Rio de Janeiro, que pode ter propiciado um número maior de publicações. A Conferência das Nações Unidas sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento reuniu representantes de 178 países no Rio de Janeiro para definirem um modelo de desenvolvimento sustentável.

Portanto, a faixa do levantamento considerada foi a partir de 2000. Pode ser observado um aumento significativo a partir de 2014, porém, nesse trabalho serão considerados todos os resultados expressivos com vista ao objetivo final. Por isso, foi preciso avaliar a evolução temporal das tecnologias de tratamento mais utilizados para a matriz de água produzida em unidades *offshore*.

Figura 14 - Número de publicações das palavras-chave “produced water”, “offshore” e “wastewater treatment” no banco de dados *Web of Science*.



Fonte: *Web of Science*.

Após a seleção da faixa de trabalho, foram realizadas as etapas de pesquisa apropriadas.

5.1 Mapeamento bibliométrico e análise de rede

As etapas do estudo envolveram mapeamento bibliométrico e análise de rede. O primeiro mapeamento avaliou os pontos fortes das relações entre as publicações, como o peso de co-ocorrência dos itens e a medida da força total das conexões, demonstrados em mapas bibliométricos. Por outro lado, a análise de rede representou a avaliação das redes, do conteúdo dos *clusters*, possibilitando uma visualização informativa (DONTHU et al., 2021)

A análise de co-ocorrência para as palavras-chave mostra o mapa de visualização de rede obtido entre os anos 2000 e 2024. Esse intervalo foi compreendido nas buscas iniciais do *Web of Science*. Os agrupamentos formados foram denominados *clusters*, e se apresentam diferenciados por cor. Os quadros das palavras-chave em cada *cluster* foram descritas em tabelas, após a apresentação dos mapas. O QR code, adicionado à cada mapa principal, permite ao leitor o acesso ao *VOSviewer online*.

5.1.1 Avaliação das palavras-chave “produced water” e “offshore”.

Na primeira etapa da pesquisa, foi realizada a busca das palavras-chave no banco de dados *Web of Science (WOS)*, em Tópicos, com o termo “produced water” e “offshore”. Foram encontrados 305 registros de publicações, os quais geraram 1809 palavras-chave. No entanto, após a seleção do número mínimo de 5 ocorrências, a quantidade de palavras-chave reduziu para 101. Ainda é um número elevado, porém, por padronização do procedimento, foi mantido o número estipulado de 5 ocorrências. Foram formados 5 *clusters*, com um total de 1123 conexões entre as palavras.

De forma expressiva, a palavra-chave “água produzida” foi encontrada 113 vezes, possuindo conexão com outras 93 palavras conforme o esperado, uma vez que é o tema central do estudo, como visto na Figura 15. Outra avaliação significativa foi feita através do mapa da Figura 16, que expressa em diferentes cores as palavras-chave, de acordo com as datas das publicações. A faixa de tempo da legenda é gerada automaticamente pelo programa. Por fim, na Figura 17 podem ser encontradas todas as palavras-chave do mapa de visualização de rede, separadas por *cluster*. Ao final, serão discutidos os resultados para essa pesquisa.

Figura 16 - Mapa temporal gerado pelo software VOSviewer, representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*” e “*offshore*”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados WOS.

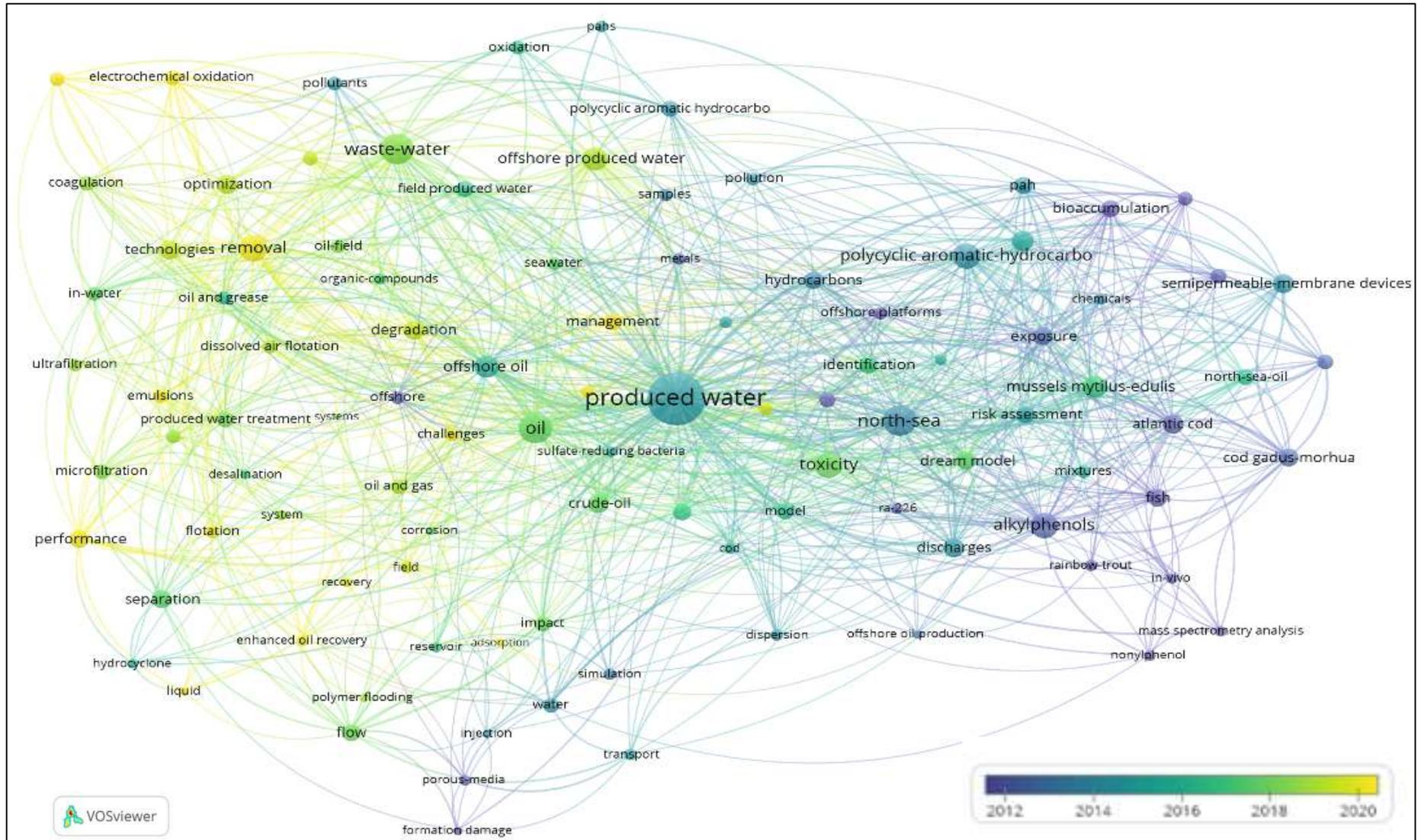


Figura 17 - Palavras-chave correspondentes à cada *cluster*, relativas ao mapa de visualização de rede representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*” e “*offshore*”.



Fonte: Autoria própria

O *cluster* 1 (Figura 15), em vermelho, mostra as palavras-chave em maior quantidade, essas estão relacionadas entre si, em sua grande maioria, como palavras que evidenciam alguns processos de tratamentos de efluentes. No mapa temporal (Figura 15), pode ser visualizado o período em que estão relacionados os processos considerados primários, como “separação”, “coagulação”, “hidrociclone” e “microfiltração” (2016) em comparação aos tratamentos mais recentes (2020), no caso de “flotação”, “oxidação eletroquímica”, “eletrocoagulação” e “processos de oxidação avançada”, com conexões próximas. Nesse *cluster* da Figura 15, a palavra de maior ocorrência foi “águas residuais”, com 30 ocorrências, e 53 conexões. Foi observada uma preocupação com o rejeito dos campos petrolíferos, uma vez que estão presentes também palavras relevantes, como “remoção”, com 23 ocorrências, “performance” (17), “otimização” (14), “tecnologias” (11), “óleo *offshore*” (15) e “águas residuais”, com 30 ocorrências.

O *cluster* 2 (Figura 15), em verde, tem como principal palavra-chave a “água produzida”, com 113 ocorrências e 93 conexões. Essa característica se reflete em todo o mapa, pelo maior número de conexões, incluindo palavras de todos os *clusters*. A maior força de conexão deste termo aparece com as palavras “Mar do Norte” (18), seguida de “óleo” (17) e “águas residuais” (15). Essas informações podem ser notadas

após a seleção da linha que conecta as duas palavras, no mapa online (*QR code*). Foi verificada a proximidade do termo citado com palavras que se relacionam com o óleo produzido em mar, como é o caso das plataformas *offshore*. Muito se deve ao fato de o Mar do Norte receber a primeira plataforma *offshore* da Europa, nas décadas de 60-70 (BENEDITO; NETO; TADAHIRO SHIMA, 2008). Nesse sentido, também foram avaliadas as palavras desse *cluster*, através do qual ficou evidenciada a relação da produção de óleo em mar com a exposição que animais marinhos sofrem na presença de contaminantes, são elas: “bacalhau”, “mexilhões”, “peixe”, “contaminantes orgânicos”, “alquilfenóis”, “hidrocarbonetos aromáticos policíclicos”, “monitoramento”, “bioacumulação”, “biomarcadores”, entre outras.

Uma palavra-chave de grande importância também observada, foi “toxicidade”, pertencente ao *cluster* amarelo (Figura 15), com 23 ocorrências, conectada com outras 47 que estão divididas entre todos os *clusters*. Entre elas, as mesmas apontadas no *cluster* verde, representando os animais marinhos, como também outras, do *cluster* vermelho, inclusive “óleo *offshore*” (15 ocorrências), “*offshore*” (7), “emulsão” (7), além de palavras de impacto do *cluster* azul, como “óleo”, que é a palavra-chave do grupo com maior ocorrência (identificado pelo maior círculo azul), ao todo 39 e 60 conexões, incluindo os demais *clusters*, “óleo cru” (14), “degradação” (13), biodegradação” (10), “bactérias redutoras de sulfato” (9). Ainda, há relação com “metais” e “descartes”, do *cluster* roxo. Essas conexões sugerem a associação do impacto causado pelas plataformas *offshore* no ambiente marinho. De acordo com o mapa da Figura 16, essa preocupação não é recente, visto que tais palavras encontram-se com coloração correspondente a um período muito anterior à 2015, como é o caso da própria palavra “água produzida”.

A primeira etapa da pesquisa objetivou encontrar dados que pudessem fornecer os tipos de tratamentos mais usuais em plataformas *offshore*. Logo, a avaliação da palavra-chave “óleo *offshore*” se tornou primordial. O termo “óleo *offshore*” está presente no *cluster* 1, em vermelho, onde se encontram os principais tipos de tratamentos de águas residuais, possuindo 15 ocorrências e 40 conexões. As conexões mais significativas são: “água produzida”, “tratamento de água produzida”, “emulsão”, “óleo e graxa”, “óleo e gás”, “remoção”, “óleo cru”, “mar do Norte” e “hidrocarbonetos aromáticos policíclicos”. Já entre os tipos de tratamentos conectados, estão: “separação”, “coagulação”, “hidrociclone”. Por fim, tendo em vista

os aspectos apresentados, os tratamentos praticados em plataformas *offshore* foram então, evidenciados nesta etapa da pesquisa.

5.1.2 Avaliação das palavras-chave “produced water” e “treatment process”.

Para a segunda etapa da pesquisa, foi realizada a busca das palavras-chave no banco de dados *Web of Science (WOS)*, em Tópicos, com o termo “produced water” e “treatment process”. Foram encontrados 554 registros, os quais agruparam 22 palavras-chave, considerando o número mínimo de ocorrências igual a 5. Foram formados 4 *clusters*, com um total de 132 conexões entre as palavras-chave.

Os mapas de visualização em rede criados pelo software *VOSviewer* estão representados pelas palavras que compõe essa pesquisa, na Figura 18, bem como a Figura 19 apresenta o mapa temporal correspondente. Subsequente, a Figura 20 aborda as palavras-chave obtidas na pesquisa, agrupadas por *cluster*.

Figura 18 - Mapa gerado pelo software VOSviewer, representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*” e “*treatment process*”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados WOS.

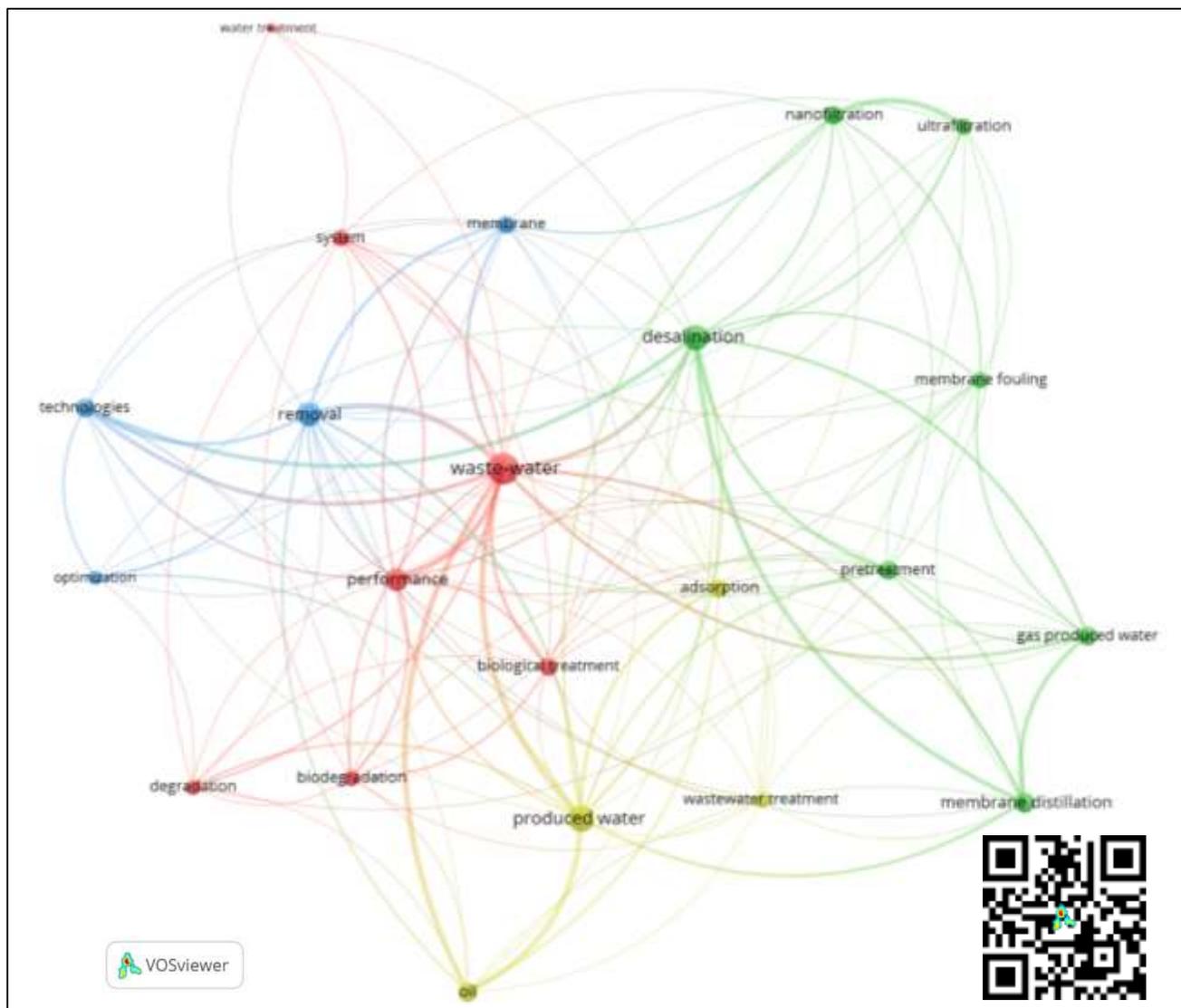


Figura 19 - Mapa temporal gerado pelo software VOSviewer, representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*” e “*treatment process*”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados WOS.

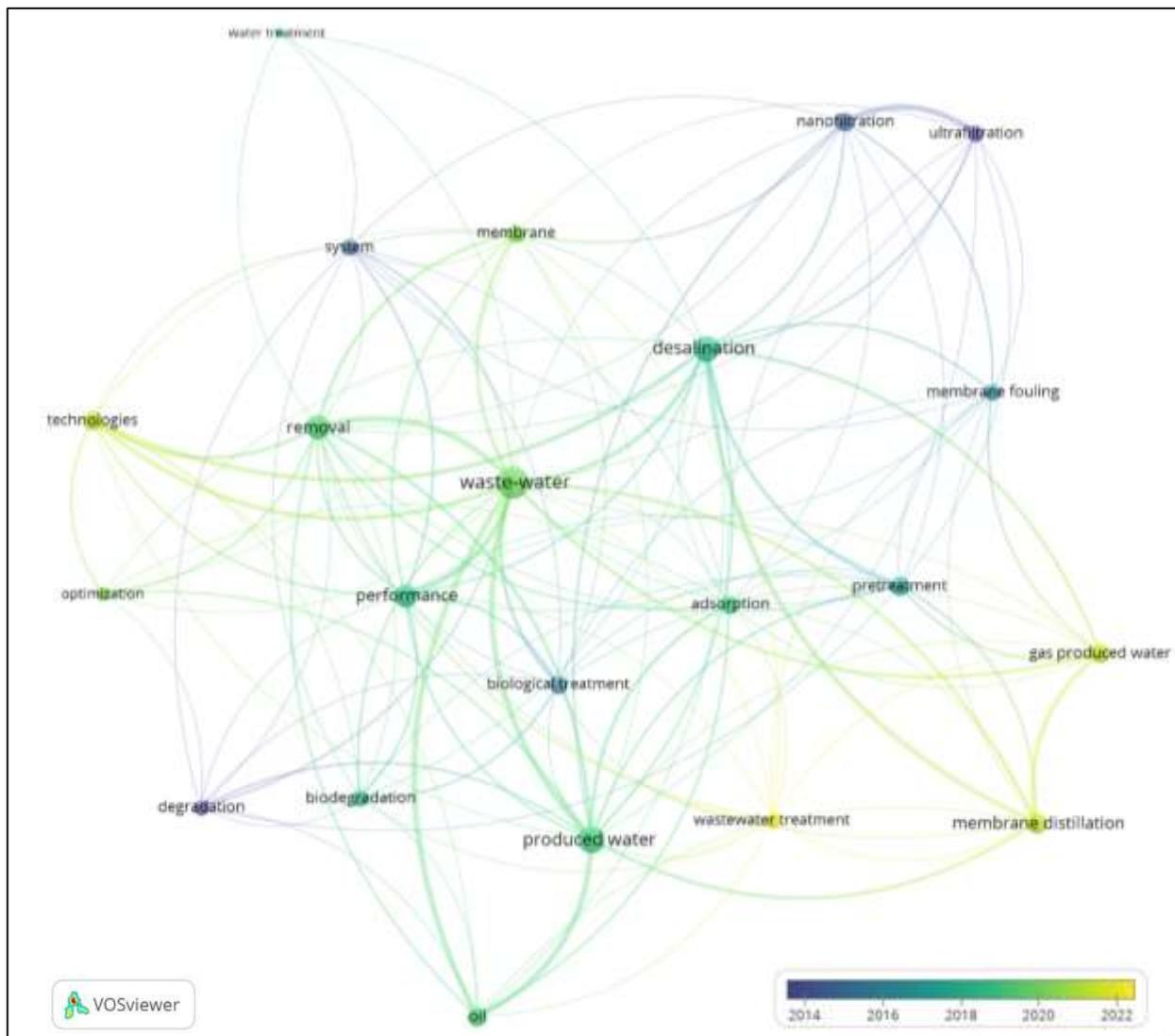
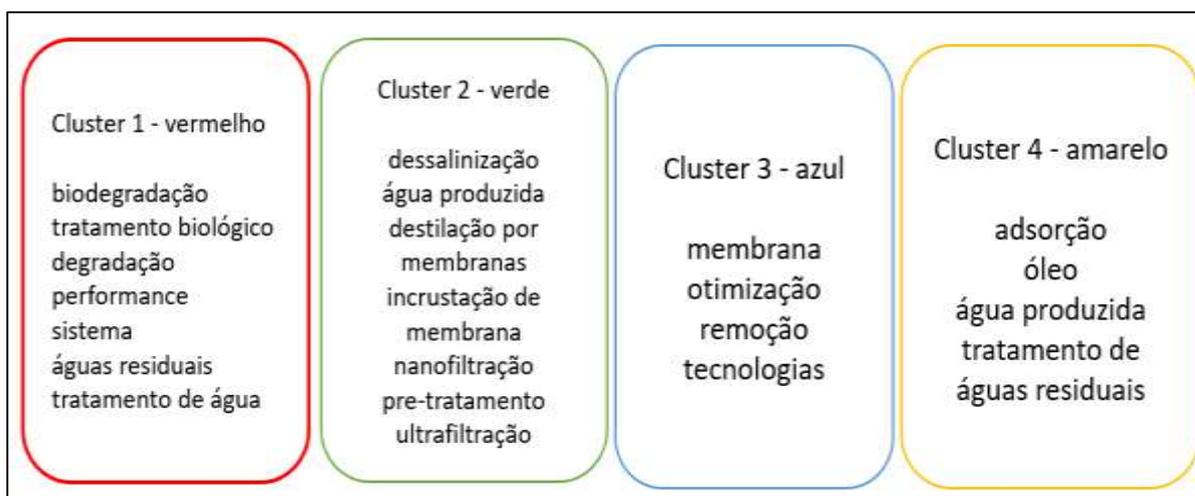


Figura 20 - Palavras-chave correspondentes à cada *cluster*, relativas ao mapa de visualização de rede representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*” e “*treatment process*”.



Fonte: Autoria própria.

No *cluster 1*, Figura 18, em vermelho, é possível notar a referência à tratamentos biológicos, de acordo com as palavras-chave “tratamento biológico” e “biodegradação”.

A palavra-chave de maior expressão no *cluster* vermelho mostra o termo “águas residuais” com 20 ocorrências e 21 conexões, as quais, estão presentes em todos os *clusters*, de acordo com o mapa da Figura 18, o que representa uma interação com os assuntos de cada tema principal dos *clusters*. Esta palavra-chave tem um significado abrangente, porém, ao avaliar as suas conexões, pode ser constatado que a mesma está mais fortemente conectada, ou seja, com uma força de ligação igual a 5, com os termos “óleo” (8 ocorrências/ 10 conexões), “água produzida” (23/17), “performance” (9/15) e “remoção” (12/17).

Essa força é expressa no mapa por meio de linhas mais espessas, mas também pode ser visto através do mapa virtual de forma aproximada. A interação entre essas palavras-chave sugere que o termo “águas residuais” pode ter sido utilizado na introdução das publicações encontradas para direcionar uma matriz mais específica, como é o caso da água produzida, e desenvolver o assunto sobre tratamento para remoção de óleo na matriz. Inclusive, as palavras conectadas estão dispersas em toda a faixa do tempo referente à Figura 19, sustentando a ideia de introdução nas publicações.

No *cluster* 3 Figura 18, azul, as conexões do termo “águas residuais” se destacaram, pois são palavras de impacto, como “otimização”, “tecnologias”, “remoção”, e, se apresentaram muito próximas, logo, essa relação é muito forte, sendo corroborado por Jan Van Eck e Waltman (2022). Além disso, a palavra-chave “tecnologias” também está relacionada à “água produzida”, e “óleo”, demonstrando um avanço mais recente do tema, de acordo com a sua cor apresentada na Figura 19, no sentido de busca de tratamentos mais eficazes e otimizados na remoção de óleo em água produzida. Segundo LU et al. (2021), estudos citam que o tamanho das gotas de óleo na AP é o que determina a tecnologia a ser empregada para o seu tratamento de forma mais efetiva, o que confere o resultado encontrado da busca de novas tecnologias visando remoção de óleo em AP mais recentemente.

Por outro lado, também pode ser observado, através da linha do tempo da Figura 19, que tratamentos com membrana se apresentam conectados a termos relacionados à “sistema”, “tratamento biológico”, “água produzida”, além de “remoção” e “performance”. No entanto, de acordo com LIU et al. (2021), o tratamento com membranas foi utilizado, por séculos, em águas residuais *onshore* e, principalmente, em aplicações industriais. O autor ainda relata que são crescentes os estudos relacionados às membranas cerâmicas com filtração de fluxo cruzado no setor *offshore*. Porém, apesar da técnica promissora, a utilização de membranas para água produzida ainda é um problema devido à incrustação da membrana.

Como pode ser observado na Figura 18, as palavras-chave do *cluster* verde aproximam uma ideia central ao uso de um pré-tratamento frente ao tratamento por membranas. O *cluster* 2 apresenta a “dessalinização” como a maior ocorrência no grupo, sendo 14 ocorrências e 16 conexões, as quais, incluem todo o cluster 2, além de “óleo” (8/ 10), “água produzida” (23/17), “pré-tratamento” (5 ocorrências/ 14 conexões), “tecnologias” (7/ 10), “otimização” (5/ 8), “adsorção” (9/ 13), “incrustação de membrana” (6/ 11), entre outras.

Através das conexões das palavras-chave de “dessalinização”, pode ser entendida a relação entre a presença de óleo em água produzida, o uso de um pré-tratamento, e busca por redução da incrustação de membranas. Ainda, conforme os dois itens “pré-tratamento” e “tratamento biológico” também relacionados, um tratamento biológico seria uma hipótese para a água produzida. Segundo AL-GHOUTI et al., (2019), a aplicação de biorreatores de membrana como pré-tratamento ajudou na redução de 83% da Demanda Química de Oxigênio (DQO) da água produzida e,

portanto, foi uma técnica de tratamento ideal em combinação com Osmose Inversa em termos de DQO e redução de condutividade. Por outro lado, a utilização de membranas de microfiltração e ultrafiltração foram capazes de remover menos de 25% do DQO e, o que representa uma baixa eficiência. As últimas mencionadas são mais adequadas à remoção de sais. Porém, a aplicação de algumas dessas técnicas em plataformas *offshore* pode se tornar um problema em decorrência da limitação de espaço físico.

5.1.3 Avaliação das palavras-chave “produced water”, “treatment process” e “offshore”.

Para a terceira etapa da pesquisa, foi realizada a busca das palavras-chave no banco de dados *Web of Science (WOS)*, em Tópicos, com o termo “*produced water*”, “*treatment process*” e “*offshore*”. Foram encontrados 780 registros, os quais agruparam 27 palavras-chave, considerando o número mínimo de ocorrências igual a 5. Foram formados 3 *clusters*, com um total de 182 conexões entre as palavras-chave.

Os mapas de visualização em rede criados pelo *software VOSviewer* estão representados pelas palavras que compõe essa pesquisa na Figura 21, assim como a Figura 22, apresentando o mapa temporal correspondente. Subsequente, a Figura 23 aborda as palavras-chave obtidas na pesquisa, agrupadas por *cluster*.

Figura 21 - Mapa gerado pelo software VOSviewer, representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*”, “*treatment process*” e “*offshore*”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados WOS.

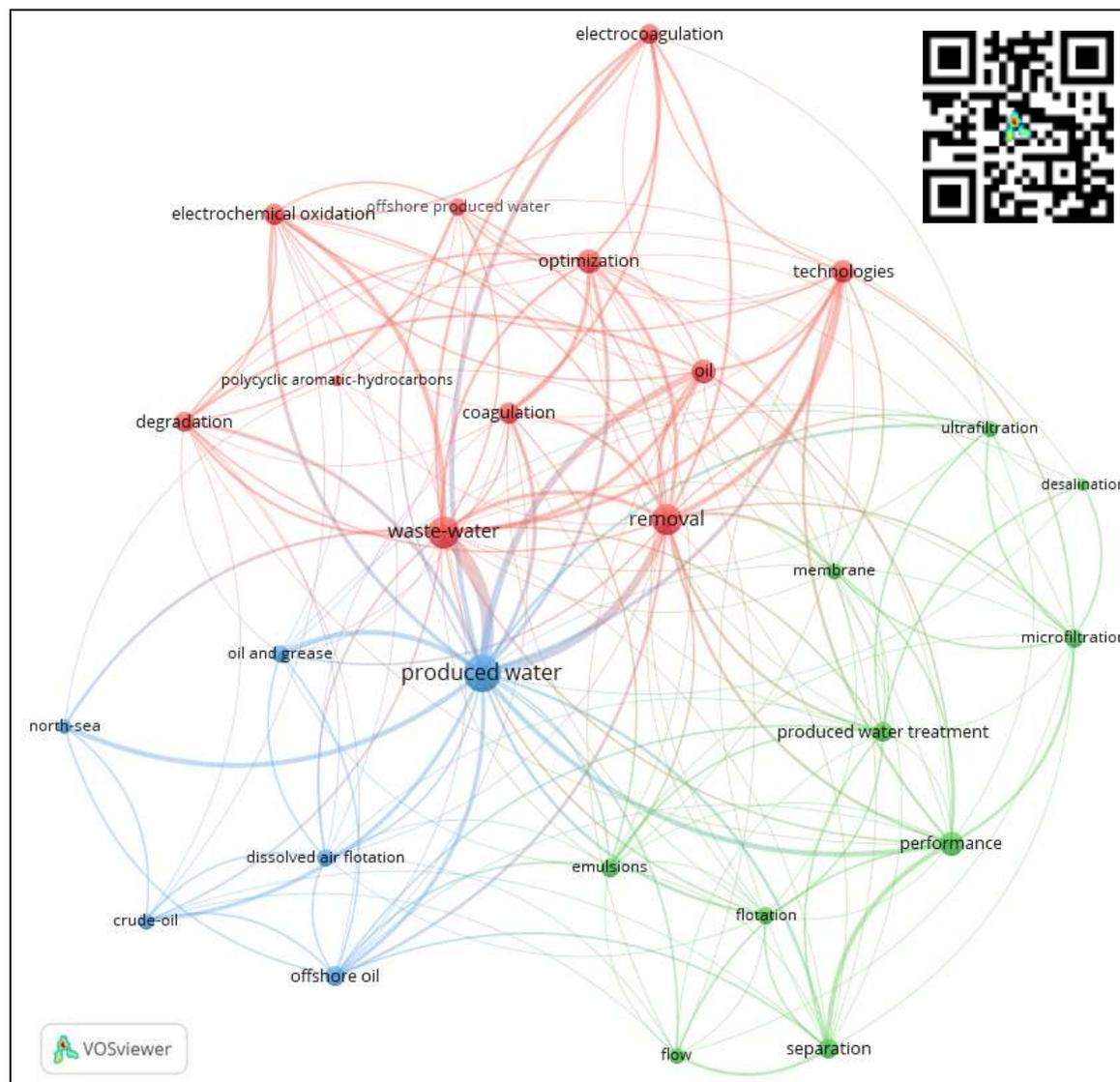


Figura 22 - Mapa temporal gerado pelo software VOSviewer, representando a co-ocorrência das palavras-chave “*produced water*”, “*treatment process*” e “*offshore*”, obtidas na busca entre 2000 e 2024, na base de dados WOS.

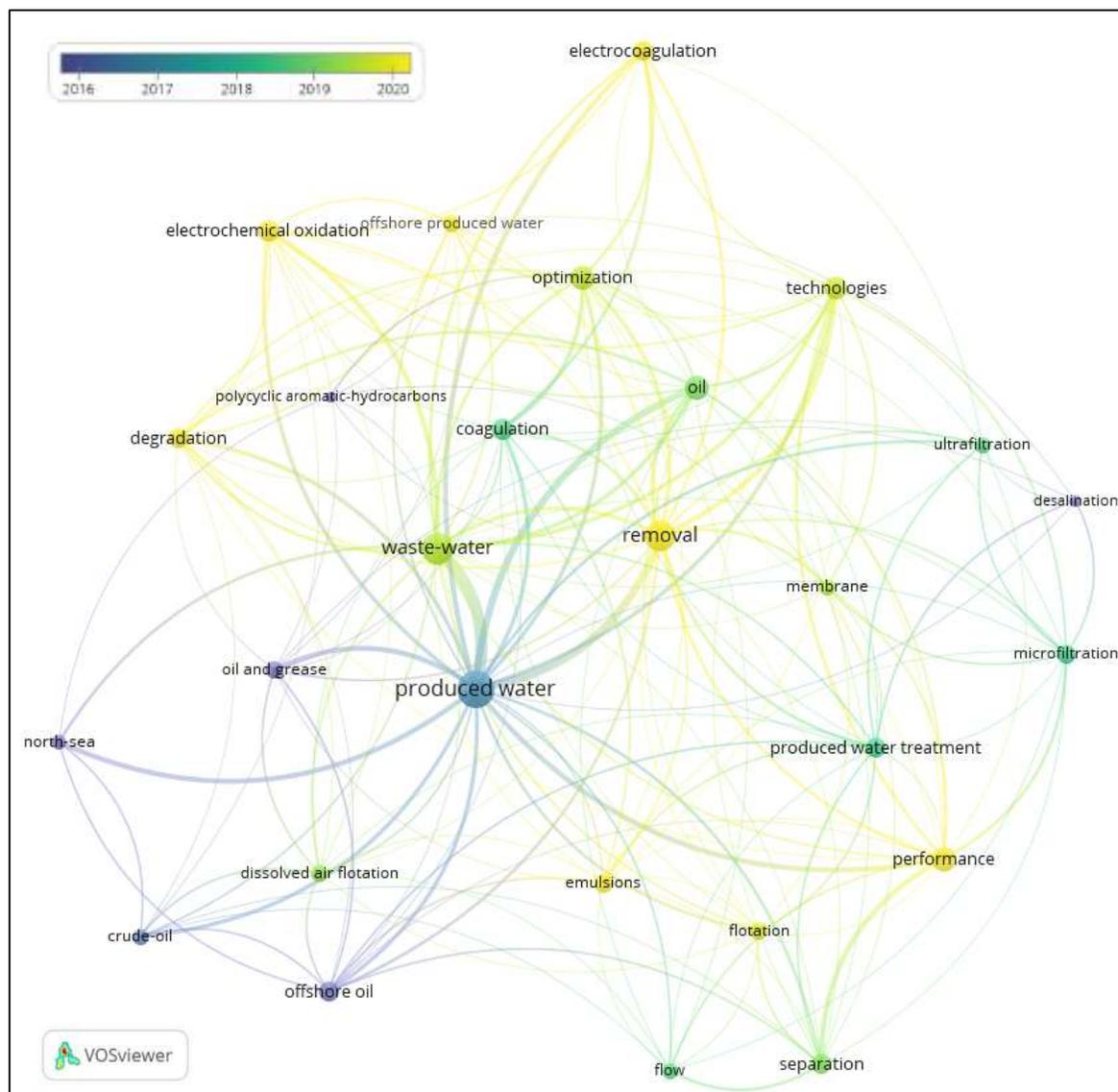


Figura 23 - Palavras-chave correspondentes à cada *cluster*, relativas ao mapa de visualização de rede representando a co-ocorrência das palavras-chave “produced water”, “treatment process” e “offshore”.



Fonte: Autoria própria.

Analisando o levantamento de dados, foi verificado que, diferentemente das etapas 1 e 2, o mapa de visualização de rede criado a partir das palavras-chave “produced water”, “treatment process” e “offshore” apresentou uma distinção maior dos temas entre os 3 *clusters* formados. Isto pode ser notado devido à uniformidade temática entre as palavras-chave de cada um, conforme observado nas Figura 21 e Figura 23.

O *cluster* 1, em vermelho (Figura 21), apresenta resultados com palavras-chave que se complementam, como a matriz em questão, os contaminantes e as formas de tratamento mais atuais, tais como “água produzida offshore”, “águas residuais”, “hidrocarbonetos aromáticos policíclicos”, “óleo”, “coagulação”, “eletrocoagulação” e “oxidação eletroquímica”. Visualizando o mapa temporal na Figura 22, os tratamentos citados, com exceção do tratamento “coagulação”, são palavras-chave encontradas mais recentemente, entre os últimos 5 anos, aproximadamente, o que representa uma tendência na pesquisa científica. Segundo artigo de GARCIA-SEGURA et al. (2017), a eletrocoagulação é uma tecnologia com ampla gama de aplicação capaz de reduzir efetivamente a presença de diversos contaminantes, desde metais, até compostos orgânicos persistentes.

Já o *cluster* 2 (Figura 21) apresentou palavras-chave direcionadas à processos de separação. A observação desse grupo teve grande relevância, uma vez que a alta salinidade é uma característica pertinente à água produzida, e a “dessalinização”, palavra pertencente ao grupo, é um dos principais objetivos do tratamento de água produzida, conforme descreve (IGUNNU; CHEN, 2012). Porém, se a água tratada for descartada no mar, não há necessidade de total remoção de sais, mas, preferencialmente, remoção de O&G. Neste caso, não cabe a utilização de sistema de membrana de osmose inversa. As demais palavras-chave que confirmam o tema em comum são “membrana”, “microfiltração”, “ultrafiltração”, “separação” e “fluxo”.

No *cluster* azul (Figura 21), a palavra de maior ocorrência encontrada foi “água produzida”, com 42 ocorrências e 23 conexões. Pode ser notada a relação desta com todos os *clusters*, o que de fato é apropriado, uma vez que, a água produzida é o motivo central deste estudo, e também, a palavra que identifica a matriz amostral nas buscas da pesquisa da terceira etapa. De um modo geral, o *cluster* 3, azul, se relaciona com o escopo do estudo, através da presença das palavras-chave “óleo offshore”, “óleo cru” e “óleo e graxa”. No mapa temporal da Figura 22, o *cluster* em questão possui palavras-chave de publicações anteriores a 2016, demonstrando uma atenção histórica ao tema, diferentemente dos demais *clusters*, com publicações próximas de 2020, nos termos “degradação”, “remoção”, “performance”, “tecnologias” e “otimização”.

Ainda no último grupo, o tratamento “flotação por ar dissolvido” foi verificado. Segundo IGUNNU e CHEN (2012), esse método de separação é muito utilizado para o tratamento de água produzida em campos petrolíferos. Esse processo visa o caso de partículas que não são facilmente separadas por sedimentação, onde o gás injetado tem bolhas menores do que as partículas de óleo, resultando na formação de uma espuma na superfície da água, sendo assim mais facilmente removida. Além disso, são unidades compactas que permitem a inclusão em plataformas *offshore*.

Uma observação que vale enfatizar foi a obtenção das palavras-chave “oxidação” e “processos de oxidação avançada” na pesquisa 1. No entanto, nas pesquisas 2 e 3 estas palavras não foram encontradas, o que mostra uma certa divergência nos resultados das buscas realizadas, uma vez que a palavra-chave “tratamento” só esteve presente nas pesquisas 2 e 3, no banco de dados *Web of*

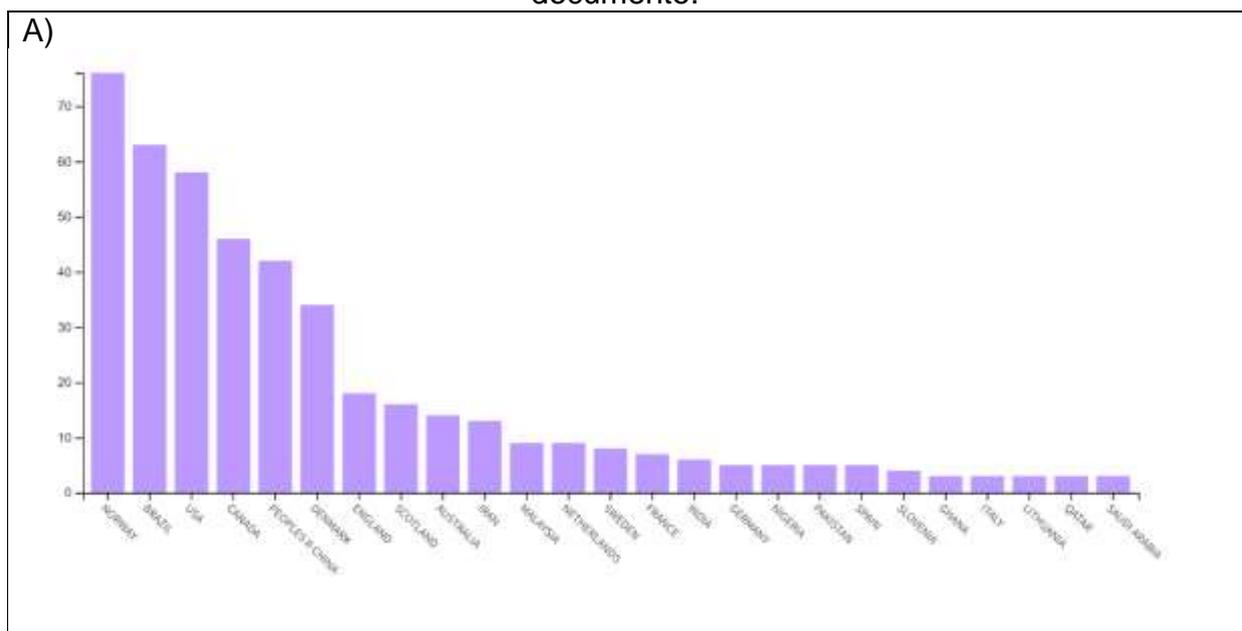
Science. Conforme observado e mencionado nesse estudo, diversos autores utilizam processos de oxidação, e de POA nos tratamentos de água produzida.

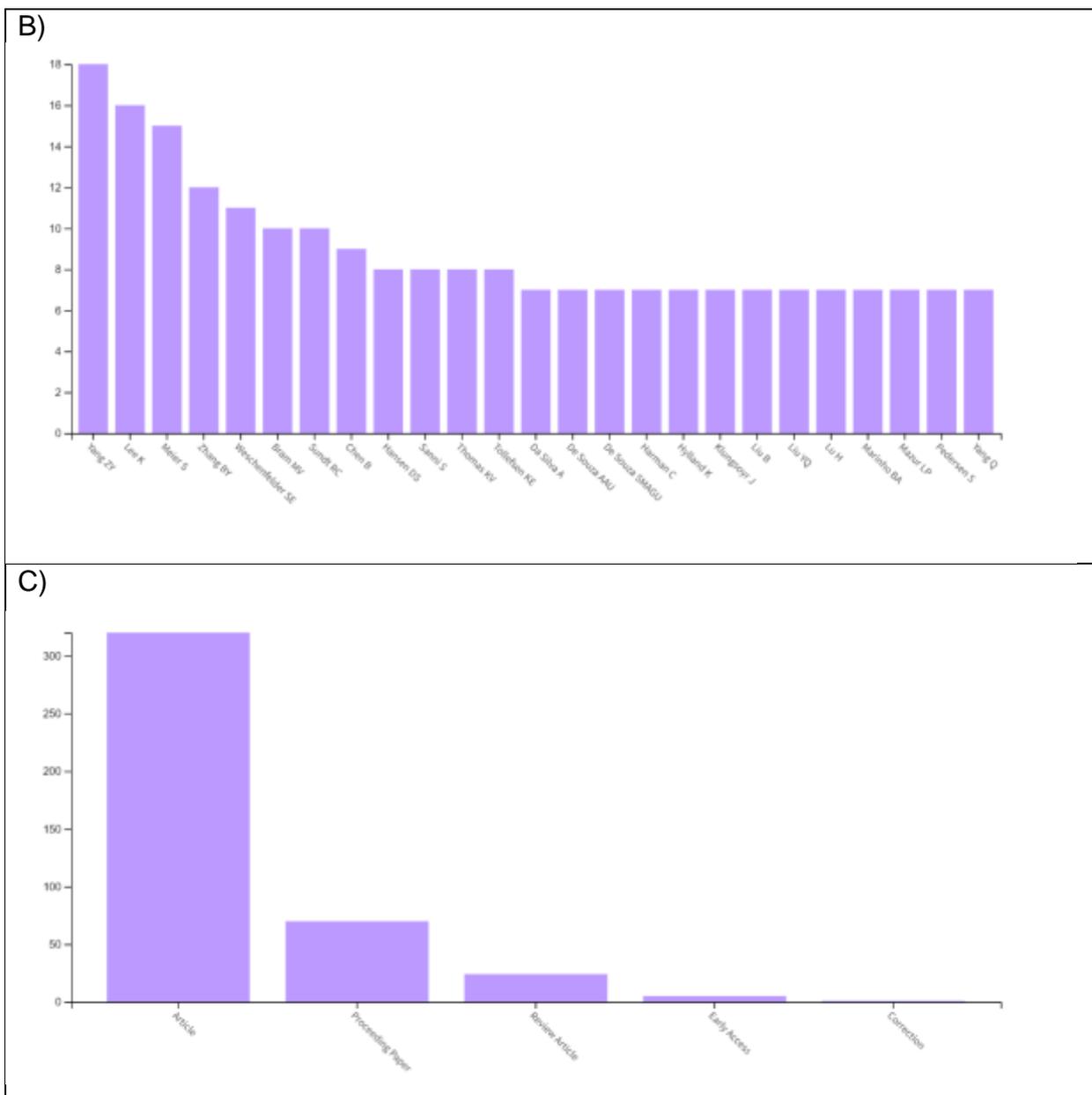
5.2 Análise de desempenho

A análise de desempenho foi realizada a fim de trazer contribuições dos constituintes da pesquisa, tais como países, autores e tipo de documento. Essa avaliação permitiu verificar os autores mais influentes na área, bem como, os países que realizam mais pesquisas acerca do assunto estudado, de acordo com as palavras-chave utilizadas na busca. Além destes, o tipo de documento foi selecionado para análise de desempenho visando verificar se as publicações encontradas são provenientes de estudos científicos ou publicações empresariais onde o foco é divulgação dos próprios serviços ou produtos.

Foram utilizadas, ao total, as palavras-chave “Produced water”, “Offshore”, “Treatment process” e “oil removal” na busca no site da WOS e foram gerados os gráficos referentes a cada consulta.

Figura 24 - Análise de desempenho da pesquisa com as palavras-chave “produced water” e “offshore” obtidas no WOS, com o número de publicações correspondentes a: A) Países que mais publicam. B) Autores que mais publicam. C) Tipo de documento.



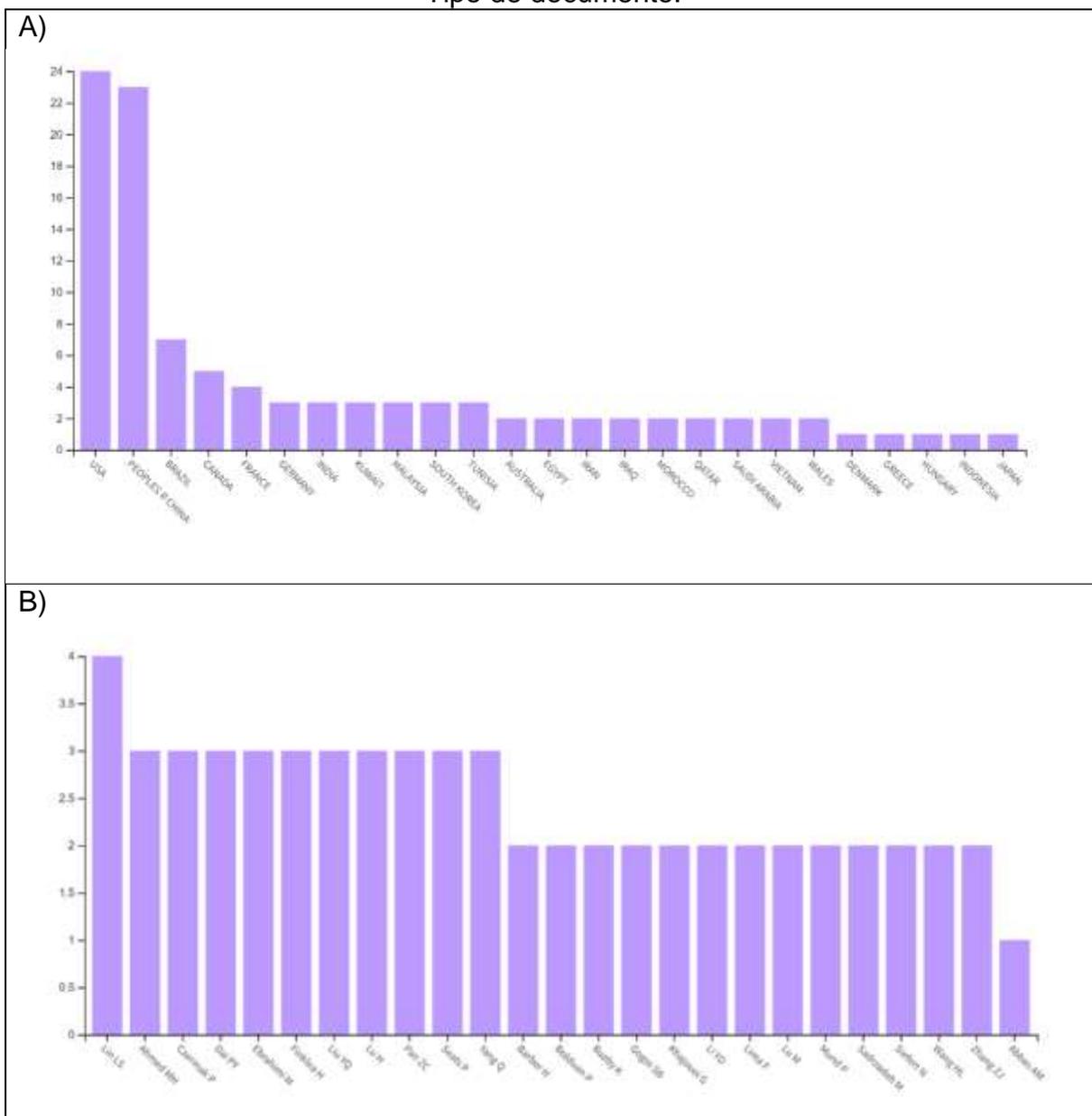


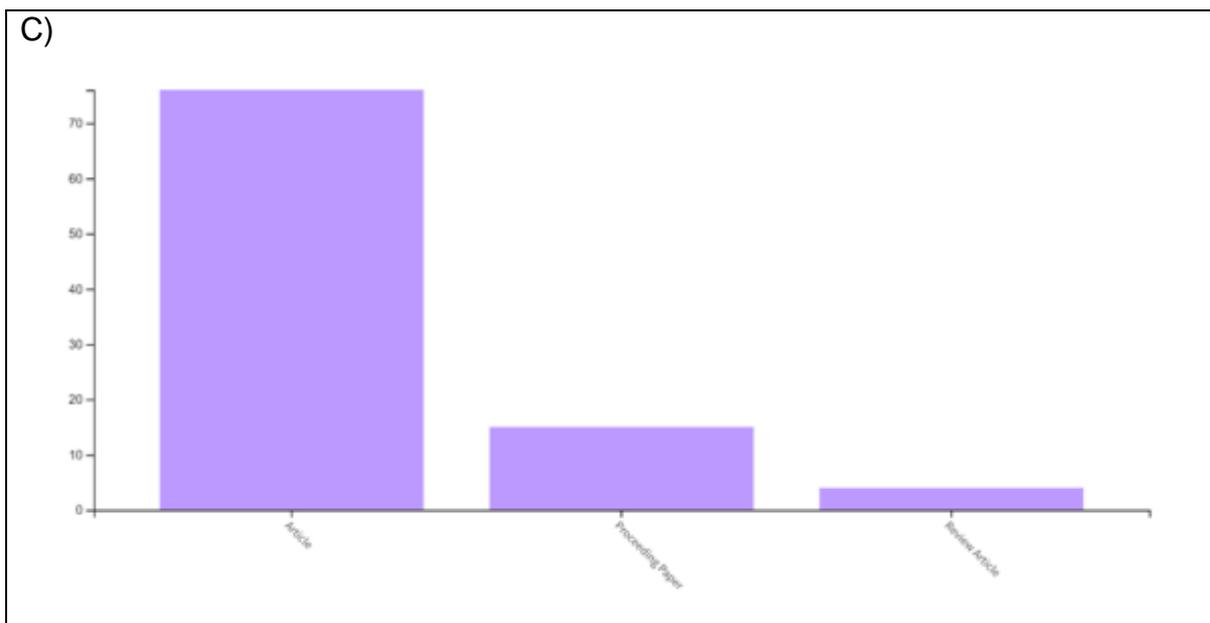
Fonte: *Web of Science*

A partir da análise de desempenho, inicialmente, foram verificadas as palavras-chave “Produced water” e “Offshore”. Como pode ser observado na Figura 24, puderam ser constatados os países que mais se destacam nas publicações sobre água produzida *offshore*, são eles: Noruega, seguido do Brasil, Estados Unidos, Canadá e China. Pode ser notada também a presença de países mais desenvolvidos, logo, o Brasil se encontra em uma posição relevante, uma vez que é o único país da América do Sul com publicações sobre água produzida *offshore*. Dentre os autores que se destacaram estão *Yang, Lee, Meier e Zhang*, como autores que tem o maior número de publicações com as palavras-chave pesquisadas. Outro item de importante

avaliação é o tipo de documento. Tendo em vista a grande maioria das publicações sendo artigos, o resultado foi significativo, pois apresentou representatividade no viés científico.

Figura 25 - Análise de desempenho da pesquisa com as palavras-chave “Produced water” e “Treatment process” obtidas no WOS, com o número de publicações correspondentes a: A) Países que mais publicam. B) Autores que mais publicam. C) Tipo de documento.

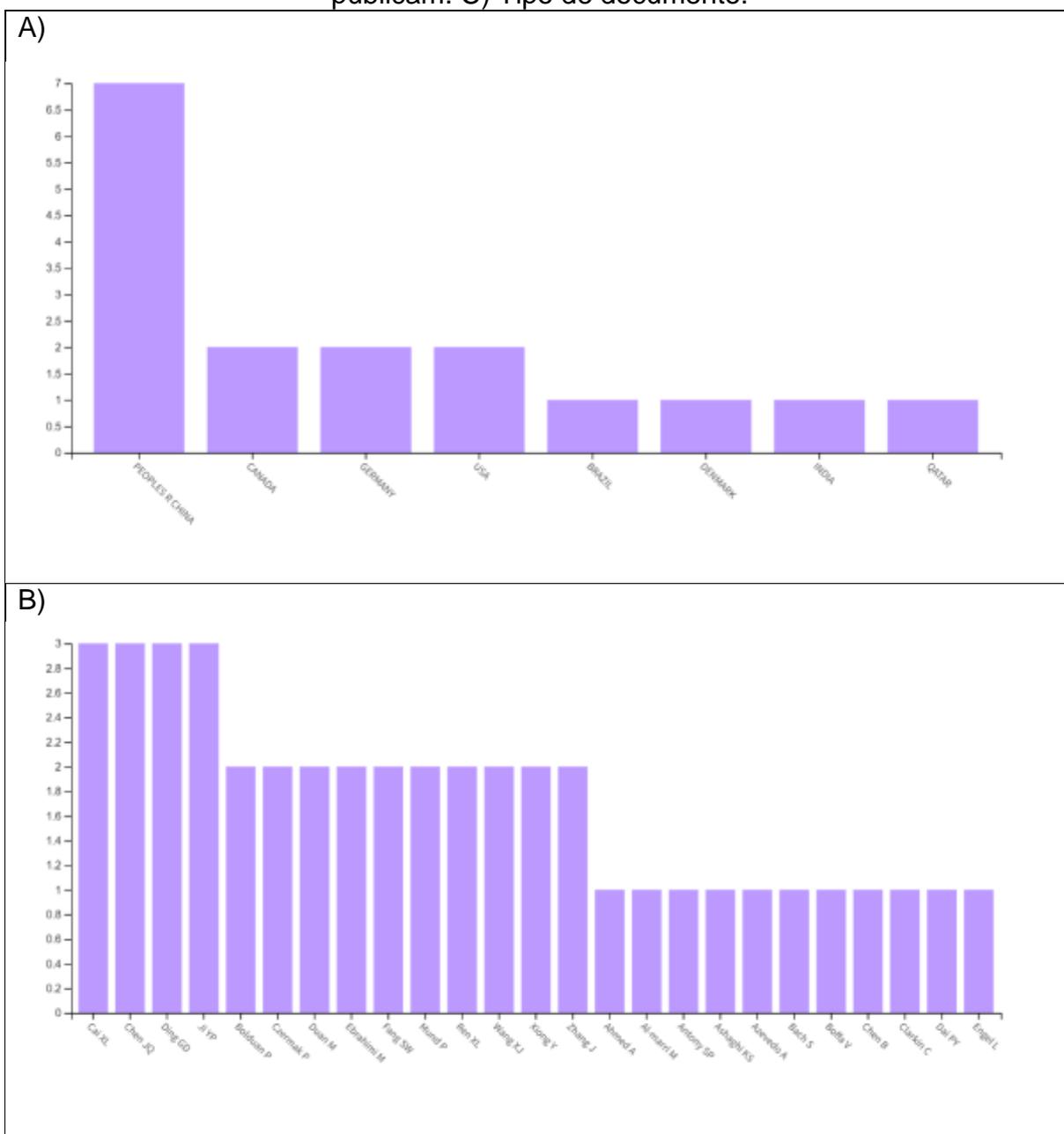


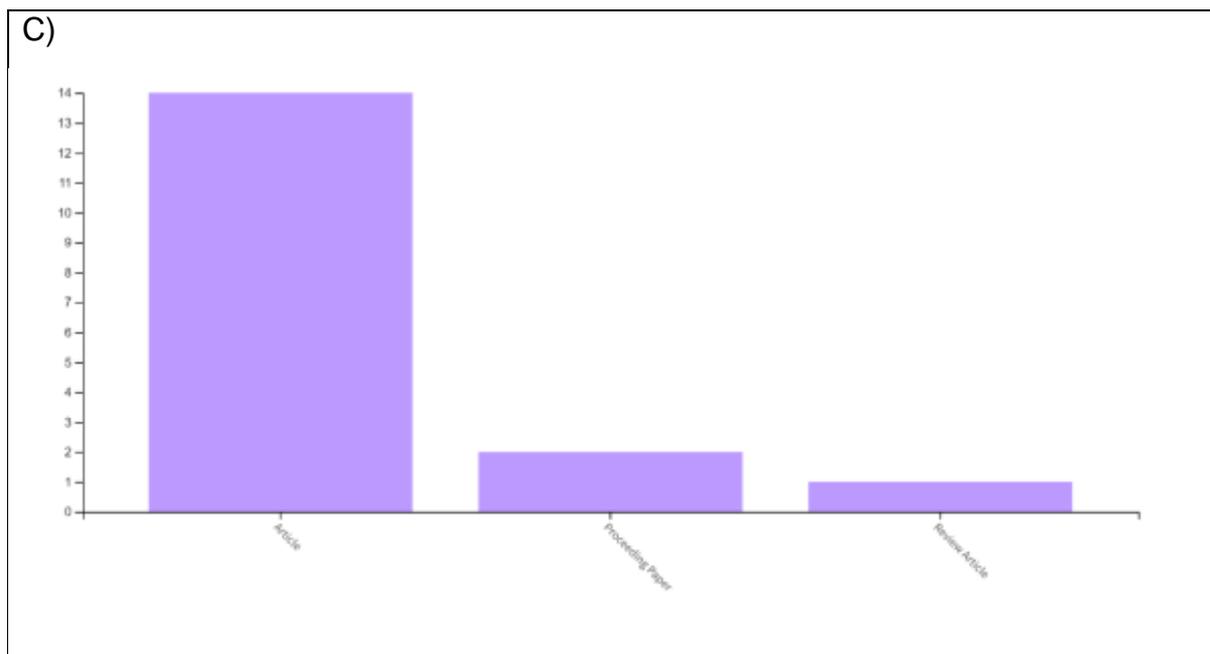


Fonte: *Web of Science*

Para analisar o desempenho da pesquisa sobre os tratamentos de água produzida, foram verificadas as palavras-chave “Produced water” e “treatment process”. As publicações obtidas na pesquisa podem ser observadas na Figura 25, onde foram verificados os países em destaque, como Estados Unidos e China, com número de publicações expressivos, comparado aos demais, seguido do Brasil, e de diversos países em menor quantidade. Dentre os autores das publicações está *Lins* (4 publicações), seguido de dez autores, todos com um mesmo número de publicações (3). Não houve grande variação de influência dos autores. Da mesma forma, os documentos obtidos, em sua grande maioria, são os artigos, corroborando a base científica da pesquisa.

Figura 26 - Análise de desempenho da pesquisa com as palavras-chave “produced water”, “offshore”, “treatment” e “oil removal” obtidas no WOS com o número de publicações correspondentes a: A) Países que mais publicam. B) Autores que mais publicam. C) Tipo de documento.





Fonte: *Web of Science*

Com o objetivo de trazer uma contribuição mais completa ao tema do presente estudo, foi realizada a análise de desempenho das publicações referentes às palavras-chave “Produced water”, “Offshore”, “Treatment” e “Oil removal”. Como pode ser observado na Figura 26, a China teve um grande destaque perante aos demais países, seguido do Canadá, Alemanha e Estados Unidos com menos de 30% de publicações que a China. O Brasil aparece na análise com somente uma publicação englobando todas as palavras pesquisadas. O total de publicações dessa pesquisa foi muito inferior às demais, uma vez que além de contemplar mais palavras-chave na busca, esta ainda se refere especificamente a um parâmetro de caracterização amostral, que é o óleo e graxa (oil removal).

Os autores, até mesmo os que mais publicam, não possuem mais do que três artigos, e também foi observado que a maioria dos autores apresenta somente um artigo incluindo todas as palavras-chave selecionadas.

Igualmente às análises anteriores, a maioria dos documentos obtidos são artigos, conferindo o foco científico. Ficou evidente a necessidade de estudos que envolvam o parâmetro “óleo” e sua remoção em tratamentos direcionados à água produzida *offshore*, sendo essa, uma necessidade mundial.

5.3 Proposta da rota de tratamento da água produzida em plataformas de petróleo *offshore*

Nas indústrias petrolíferas, a água produzida é o efluente aquoso trazido à superfície junto com óleo ou gás em operações de extração. Operações *offshore* são complexas e impõem restrições quanto a limitações de espaço para armazenamento, manuseio, tratamento e transporte da água produzida. Soluções adequadas para evitar o impacto ambiental deste tipo de águas residuais são, primeiramente, sua minimização, seguida de uma reutilização, por fim, seu descarte adequado. Para tal, um tratamento se faz necessário, tendo em vista a grande variedade de substâncias tóxicas em sua composição.

O Brasil detém uma larga produção de petróleo *offshore*, conforme dito anteriormente. Uma das exigências da legislação brasileira imposta pelos órgãos ambientais para o descarte no mar é o teor de O&G, cujo enquadramento ainda pode ter alguma variabilidade. Em todo caso, se faz necessário um pós-tratamento a fim de que a AP seja descartada dentro dos padrões adequados à Resolução CONAMA nº393/2007, específica para água produzida *offshore*.

Ao analisar as questões de tratamento, é indiscutível que a proposta deve atender à demanda de atividades *offshore*, tais como dificuldades de infraestrutura, espaço e disponibilidade de energia nas plataformas. Dessa forma, a combinação de operações unitárias deve ser considerada.

A proposta a ser sugerida como rota de tratamento de AP visa descrever maior adequação ao objetivo de remoção de O&G em unidades *offshore*. A fim de propor uma rota a partir de procedimentos já realizados, após a etapa de hidrociclone, praticada nas plataformas *offshore*, o flotor reforça a separação da água e de óleo. No entanto, para maior eficiência do processo, a rota proposta presume a associação de um tratamento combinado à etapa do flotor, que melhora, significativamente, a remoção de O&G.

Em conformidade com os resultados obtidos neste estudo bibliométrico, a avaliação quantitativa dos dados aponta como tratamentos em evidência recente a eletrocoagulação e oxidação eletroquímica, conforme foi observado na terceira pesquisa do estudo (resultados discutidos no item 5.1.3), estando relacionados à água produzida, processos de tratamentos, e unidades *offshore*.

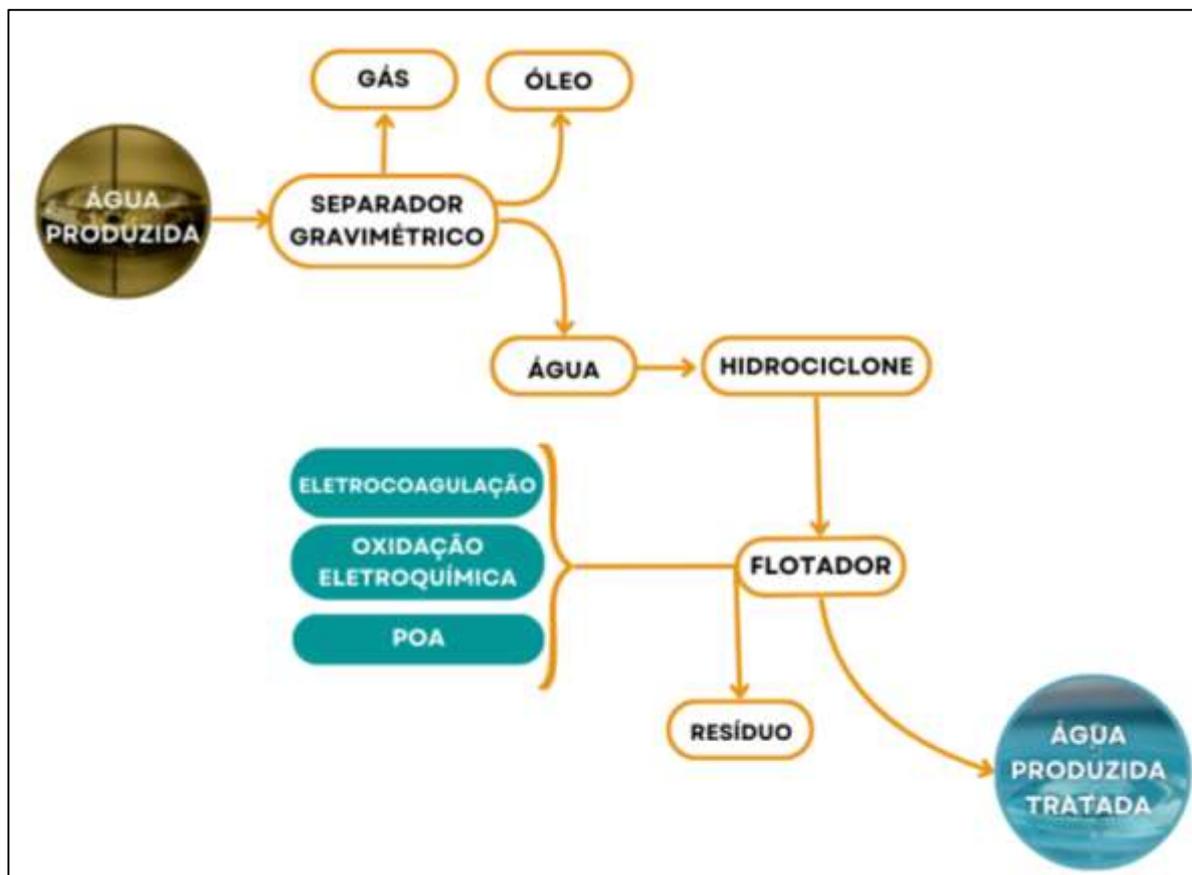
De acordo com AN et al. (2017), há uma tendência emergente ao uso do processo de eletrocoagulação para remoção de óleo em águas residuais. Foi relatado neste estudo o tratamento por eletrocoagulação em um efluente oleoso de águas residuais, onde foi aplicada uma corrente acima de 100A/m², levando à eficiência de remoção de DQO e turbidez de 90 e 99%, respectivamente. No entanto, para a DQO inicial, o processo não atingiu níveis aceitáveis de remoção. Diante disso, a proposta de aplicação da eletrocoagulação junto à etapa do flotador ou a combinação com mais uma técnica se justificaria uma vez aplicada como um tratamento secundário.

No estudo de Yavuz (2010), os processos de oxidação avançada associados à eletroquímica representam tecnologias alternativas promissoras quando se trata de degradação e mineralização de substâncias orgânicas e inorgânicas (que confere elevada DQO) existentes na água produzida, corroborando com os resultados obtidos no estudo. O autor ainda menciona a utilização de coagulação e floculação combinadas à oxidação química, resultando em completa remoção de O&G, e elevada redução de cor e turbidez.

Diversos tratamentos que preconizam a oxidação química estão em pauta atualmente, o que torna adequado iniciar pesquisas nessa área visando o tratamento como polimento final. Pode-se citar os estudos de JIMÉNEZ et al. (2017), onde são estudados os processos integrados para polimento da água produzida combinando flotação/sedimentação com processos oxidativos avançados, a partir da aplicação de Fenton e Foto-fenton, e dessa forma, alcançou a remoção de 95% de compostos fenólicos na água produzida.

A Figura 27 apresenta o fluxograma da proposta de rota de tratamento de água produzida em plataformas *offshore*, seguido de estimativas de eficiência dos processos da rota de tratamento.

Figura 27 - Fluxograma da proposta de rota de tratamento de água produzida em plataformas *offshore*.



Fonte: Autoria própria.

Após a perfuração dos poços, os fluidos são recolhidos em coletores da produção de óleo, seguindo para as etapas de processamento. A água produzida é encaminhada ao seu respectivo tratamento, visando a remoção de óleo.

Inicialmente, a AP passa por um separador gravimétrico, chamado Separador de Água e Óleo (SAO). Essa etapa estima uma remoção da parte mais grosseira de óleo, permitindo ainda uma espessa camada de emulsão. O gás parte para processamento, enquanto o óleo é levado a uma separação eletrostática.

A água oleosa chega a um hidrociclone, e através de uma força centrífuga, podem remover gotículas de até 15 μm . Esse sistema pode reduzir o teor de óleo e graxa em até 90%. Atualmente, a água produzida é levada a um tratamento secundário: a flotação. Essa etapa ainda não é suficiente para a completa remoção de O&G, além de não remover constituintes solúveis de óleo na água.

No entanto, a rota proposta presume a utilização de um processo associado à etapa de flotação. De acordo com os resultados obtidos no estudo, são sugeridos os processos de eletrocoagulação, oxidação eletroquímica ou POA.

A eletrocoagulação, conforme citada na revisão do item 3.3.9, pode apresentar uma remoção de até 99% de hidrocarbonetos. Quando aplicado ao tratamento de um efluente que tenha passado por um tratamento primário, e posteriormente, um secundário, pode ser considerado um tratamento eficiente para enquadrar o seu descarte à legislação vigente.

A oxidação eletroquímica prevê um resultado satisfatório, visto os estudos citados por Al-Ameri (2023), a combinação de tecnologias de oxidação, coagulação e floculação para tratar água produzida *offshore* vem alcançando uma remoção completa de óleos e graxas totais. Tendo em vista os tratamentos anteriormente realizados, essa técnica se mostra promissora para a remoção de óleo e graxa.

Os Processos Oxidativos Avançados compreendem uma vasta opção de tratamentos e tratamentos combinados eficientes para remoção de contaminantes, de perfil recalcitrantes e de difícil controle. Alomar (2022) cita alguns experimentos onde o método de adsorção conseguiu remover 67% de óleo em água produzida utilizando grafeno-magnetita em 90 minutos, com 0,1 g em pH 6,5 de um efluente de 100mg.L⁻¹ de óleo emulsionado. Jimenez (2017) mostrou que a combinação de um processo Foto-Fenton sugerido como um polimento para reuso de AP, em uma reação com 600 mg.L⁻¹ de peróxido removeu 73,7% de O&G.

Portanto, os processos acrescidos na rota sugerida mostraram resultados expressivos consideráveis no tratamento de água produzida *offshore*.

6 CONCLUSÕES

Foram realizadas etapas de pesquisas que puderam contribuir para o alcance dos objetivos propostos. As pesquisas bibliográficas permitiram a realização, de forma satisfatória, do estudo bibliométrico, através dos dados obtidos na base de dados *Web of Science* e compilados no *software VOSviewer*, por meio de mapas de visualização de rede na faixa de tempo entre 2000 e 2024. Foram realizadas as buscas e discussões de grupos de palavras-chave obtidas, e verificadas as diversas relações entre as mesmas e/ou grupos de palavras. Foi realizada uma análise de desempenho da pesquisa em geral.

O estudo bibliométrico atendeu às expectativas de obtenção de tratamentos para água produzida em unidades *offshore*, porém, pode ser concluído sobre o uso da bibliometria para fins científicos investigativos, que os dados obtidos são possíveis aplicações. No entanto, a bibliometria mostrou certa deficiência quando se trata de uma avaliação quantitativa, como é definido por autores, uma vez que sua análise é superficial. Dessa forma, se faz necessária a leitura mais profundamente das publicações para avaliar a eficiência dos processos encontrados, uma vez que na pesquisa bibliométrica não ficaram evidenciados teores, porcentagens, ou um resultado mensurável da eficiência dos processos.

Os tratamentos aplicados em plataformas de petróleo *offshore*, onde o espaço é limitado, puderam ser constatados, por meio da análise bibliométrica de forma clara. Foi avaliada a evolução temporal das tecnologias de tratamento mais utilizadas para a matriz de água produzida e identificados os primeiros processos de tratamentos estudados, além dos mais recentes.

A rota proposta pode descrever uma maior adequação ao tratamento utilizado atualmente em unidades *offshore*. Foi verificado que após a etapa de hidrociclone, o flotor promove a separação da água e do óleo emulsionado. Para maior eficiência do processo, a rota proposta presumiu a associação de um tratamento combinado à etapa do flotor. Em conformidade com os resultados obtidos neste estudo bibliométrico, a avaliação quantitativa dos dados apontou como tratamentos em evidência recente a eletrocoagulação e oxidação eletroquímica, conforme foi observado na terceira pesquisa, relacionada diretamente à água produzida, processos de tratamentos, e unidades *offshore*. Além disso, os POAs foram identificados como processos de tratamento mais atuais estudados para a remoção de O&G.

Portanto, uma rota de tratamento foi proposta, a partir dos procedimentos de tratamento atualmente realizados nas plataformas de petróleo *offshore*, de forma a refinar o processo com tecnologias promissoras para a remoção de O&G, visando o enquadramento do lançamento do efluente em mar, perante a legislação vigente.

7 PERSPECTIVAS FUTURAS

Investimento em estudos técnico-científicos se fazem necessários, a fim de se desenvolver uma tecnologia limpa e que atenda aos critérios *offshore*, sendo viável sua aplicação em larga escala.

A proposta desse estudo teve uma base em pesquisa científica, contudo, os resultados são projeções de um compilado de estudos obtido por meio de uma ferramenta teórica. Nesse contexto, a rota proposta de tratamento de água produzida em plataformas *offshore* precisa ser validada, de forma a ser desenvolvida em escala de laboratório, e posteriormente em escala piloto, visando verificar a eficácia da associação dessas tecnologias ao processo atualmente realizado.

Para ações futuras, cabe ressaltar, a necessidade de otimização das pesquisas incluindo a remoção de Óleo & Graxa para polimento final da água produzida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AL-AMERI, W.; ELHASSAN, A.; MAHER, R. Optimization of electro-oxidation and electro-Fenton techniques for the treatment of oilfield produced water. **Water and Environment Journal**, v. 37, n. 1, p. 126–141, 1 fev. 2023.

AL-GHOUTI, M. A. et al. **Produced water characteristics, treatment and reuse: A review**. **Journal of Water Process Engineering** Elsevier Ltd, 1 abr. 2019.

IMRAN Ali, TATIANA, K. HTAY, T.Z. AUNG, H.T., EKATERINA, M., SIDDIQUI, M.N., ALMALKI, A. S. A., ALHADHRAMI, A., ALSUBAIE, A., HAMEED, A.M., ALHARBI, A., **Economic and fast electro-flotation extraction of heavy metals from wastewater**. ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY. V.43, n°25, 4019-4028. 2022.

ALOMAR, T. S. et al. **Recent advances on the treatment of oil fields produced water by adsorption and advanced oxidation processes**. **Journal of Water Process Engineering** Elsevier Ltd, 1 out. 2022.

AMAKIRI, K. T. et al. **Review of oilfield produced water treatment technologies**. **Chemosphere** Elsevier Ltd, , 1 jul. 2022.

AN, C. et al. **Emerging usage of electrocoagulation technology for oil removal from wastewater: A review**. **Science of the Total Environment** Elsevier B.V., 1 fev. 2017.

ANP. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo**. Rio de Janeiro: 2023. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp>>.

ARAÚJO, R. F.; ALVARENGA, L. A bibliometria na pesquisa científica da pós-graduação brasileira de 1987 a 2007. **Encontros Bibli: revista eletrônica de biblioteconomia e ciência da informação**, v. 16, n. 31, p. 51–70, 15 mar. 2011.

BENEDITO, J.; NETO, O.; TADAHIRO SHIMA, W. **TRAJETÓRIAS TECNOLÓGICAS NO SEGMENTO OFFSHORE: AMBIENTE E OPORTUNIDADES** Rio de janeiro: 2008

CONAMA, Conselho Nacional Do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n°393, 2007**.

DONTHU, N. et al. How to conduct a bibliometric analysis: An overview and guidelines. **Journal of Business Research**, v. 133, p. 285–296, 1 set. 2021.

DUDEK, M. et al. **Colloid chemistry and experimental techniques for understanding fundamental behaviour of produced water in oil and gas production**. **Advances in Colloid and Interface Science** Elsevier B.V., 1 fev. 2020.

FAKHRU'L-RAZI, A. et al. Review of technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, n. 2–3, p. 530–551, 30 out. 2009.

GARCIA-SEGURA, S. et al. **Electrocoagulation and advanced electrocoagulation processes: A general review about the fundamentals, emerging applications and its association with other technologies.** *Journal of Electroanalytical Chemistry* Elsevier B.V., 15 set. 2017.

GHAFFARIAN KHORRAM, A. et al. **Electrochemical-based processes for produced water and oily wastewater treatment: A review.** *Chemosphere* Elsevier Ltd, 1 out. 2023.

HABERT, A. C.; NOBREGA, R.; BORGES, C. P. **Processos de separação com membranas.** Rio de Janeiro: 2006.

HALIM, N. S. A. et al. **Recent Development on Electrospun Nanofiber Membrane for Produced Water Treatment: A review.** *Journal of Environmental Chemical Engineering* Elsevier Ltd, 1 fev. 2021.

HUANG, M.; PENNING, T. M. Processing Contaminants: Polycyclic Aromatic Hydrocarbons (PAHs). Em: **Encyclopedia of Food Safety.** Elsevier, 2014. v. 2p. 416–423.

IGUNNU, E. T.; CHEN, G. Z. Produced water treatment technologies. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 9, n. 3, p. 157–177, 2012.

JAN VAN ECK, N.; WALTMAN, L. **VOSviewer Manual.** 2022

JIMÉNEZ, S. et al. Integrated processes for produced water polishing: Enhanced flotation/sedimentation combined with advanced oxidation processes. **Chemosphere**, v. 168, p. 309–317, 1 fev. 2017.

JIMÉNEZ, S. et al. **State of the art of produced water treatment.** *Chemosphere* Elsevier Ltd, 1 fev. 2018.

KYZAS, G. Z.; MATIS, K. A. **Electroflotation process: A review.** *Journal of Molecular Liquids* Elsevier B.V., 1 ago. 2016.

LIMA, S. H. DE O.; LEOCÁDIO, Á. L. MAPEANDO A PRODUÇÃO CIENTÍFICA INTERNACIONAL SOBRE INOVAÇÃO ABERTA. **Revista Brasileira de Gestão e Inovação**, v. 5, n. 2, p. 181–208, 5 jan. 2018.

LIU, Y. et al. **A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields.** *Science of the Total Environment* Elsevier B.V., 25 jun. 2021.

LU, H. et al. Fiber coalescence treatment of oily wastewater: A new theory and application. **Journal of Hazardous Materials**, v. 412, 15 jun. 2021.

MONROE ENVIRONMENTAL CORP. **API Oil/Water Separators.**

MOTTA, A. R. P. et al. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processo de separação por membranas:revisão. 2013.

NADERSHA, S.; ALY HASSAN, A. Biodesalination and treatment of raw hypersaline produced water samples using indigenous wastewater algal consortia. **Desalination**, v. 528, 15 abr. 2022.

NONATO, T. C. M. et al. The optimization of the electroflotation process using DSA® electrodes for treating the simulated effluent of produced water from oil production. **Desalination and Water Treatment**, v. 70, p. 139–144, 1 abr. 2017.

ORAL, O.; KANTAR, C. Diclofenac removal by pyrite-Fenton process: Performance in batch and fixed-bed continuous flow systems. **Science of the Total Environment**, v. 664, p. 817–823, 10 maio 2019.

OSPAR. **Assessment of the discharges, spills and emissions from offshore installations on the Norwegian Continental Shelf 2016-2020**. Londres

PETROBRAS. **Relatório de Sustentabilidade 2022**. Rio de Janeiro:2022

PETROBRAS. <https://petrobras.com.br/quem-somos/exploracao-e-producao>. Disponível em: <<https://petrobras.com.br/quem-somos/exploracao-e-producao>>. Acesso em: 11 maio. 2024.

POYATOS, J. M. et al. Advanced oxidation processes for wastewater treatment: State of the art. **Water, Air, and Soil Pollution**, v. 205, n. 1–4, p. 187–204, jan. 2010.

SAMUEL, O. et al. **Oilfield-produced water treatment using conventional and membrane-based technologies for beneficial reuse: A critical review**. **Journal of Environmental Management** Academic Press, 15 abr. 2022.

SHADI, A. M. H. et al. Effective removal of organic and inorganic pollutants from stabilized sanitary landfill leachate using a combined Fe₂O₃ nanoparticles/electroflotation process. **Journal of Water Process Engineering**, v. 40, 1 abr. 2021.

SIMÕES, A. J. A. et al. **A Bibliometric Study on the Application of Advanced Oxidation Processes for Produced Water Treatment**. **Water, Air, and Soil Pollution** Springer Science and Business Media Deutschland GmbH, 1 jul. 2021.

TAMALA, J. K. et al. A bibliometric analysis of sustainable oil and gas production research using VOSviewer. **Cleaner Engineering and Technology**, v. 7, 1 abr. 2022.

UFRPE. **Tecnologias Sociais. Recursos hídricos**. Disponível em: <<https://tsufrpe.weebly.com/reuso-da-aacutegua.html>>. Acesso em: 2 out. 2024.

VAN ECK, N. J.; WALTMAN, L. Software survey: VOSviewer, a computer program for bibliometric mapping. **Scientometrics**, v. 84, n. 2, p. 523–538, 2010.

VEIL, J. A. et al. **A White Paper Describing Produced Water from Production of Crude Oil, Natural Gas, and Coal Bed Methane**. 2004

VIANA JUNIOR, A. M. et al. Principais métodos de tratamento da água produzida em unidades marítimas de produção de petróleo. **Latin American Journal of Energy Research**, v. 10, n. 1, p. 23–32, 12 jun. 2023.

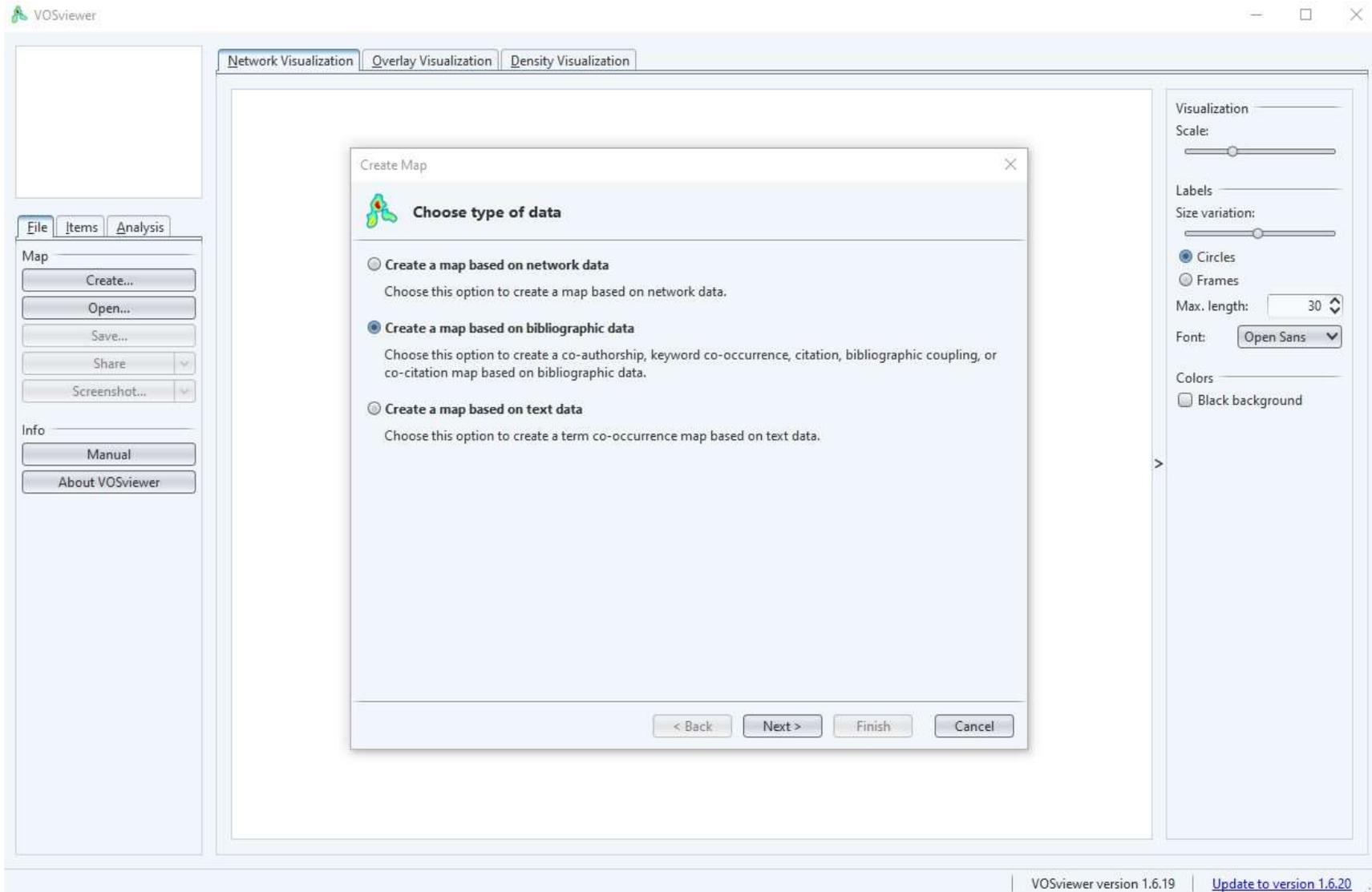
YAMBA, S.; MOUTLOALI, R. M.; MABUBA, N. Corrugated iron sheets for electrocoagulation of sulphate ions in industrial effluents. **Case Studies in Chemical and Environmental Engineering**, v. 2, 1 set. 2020.

YAVUZ, Y.; KOPARAL, A. S.; ÖĞÜTVEREN, Ü. B. Treatment of petroleum refinery wastewater by electrochemical methods. **Desalination**, v. 258, n. 1–3, p. 201–205, ago. 2010.

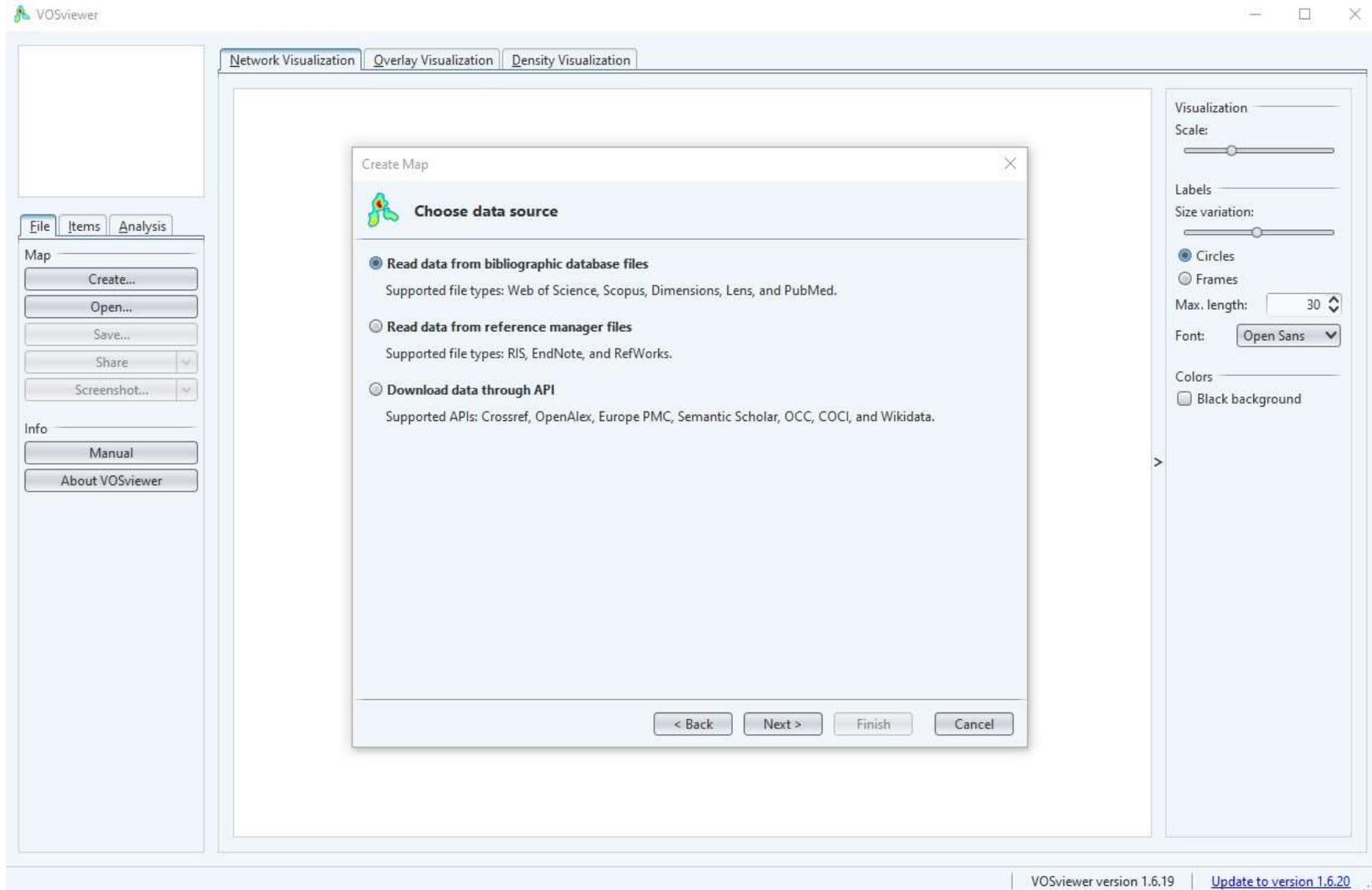
ZHENG, J. et al. **Offshore produced water management: A review of current practice and challenges in harsh/Arctic environments. Marine Pollution Bulletin** Elsevier Inc., 15 mar. 2016

ZUPIC, I.; ČATER, T. Bibliometric Methods in Management and Organization. **Organizational Research Methods**, v. 18, n. 3, p. 429–472, 15 jul. 2015.

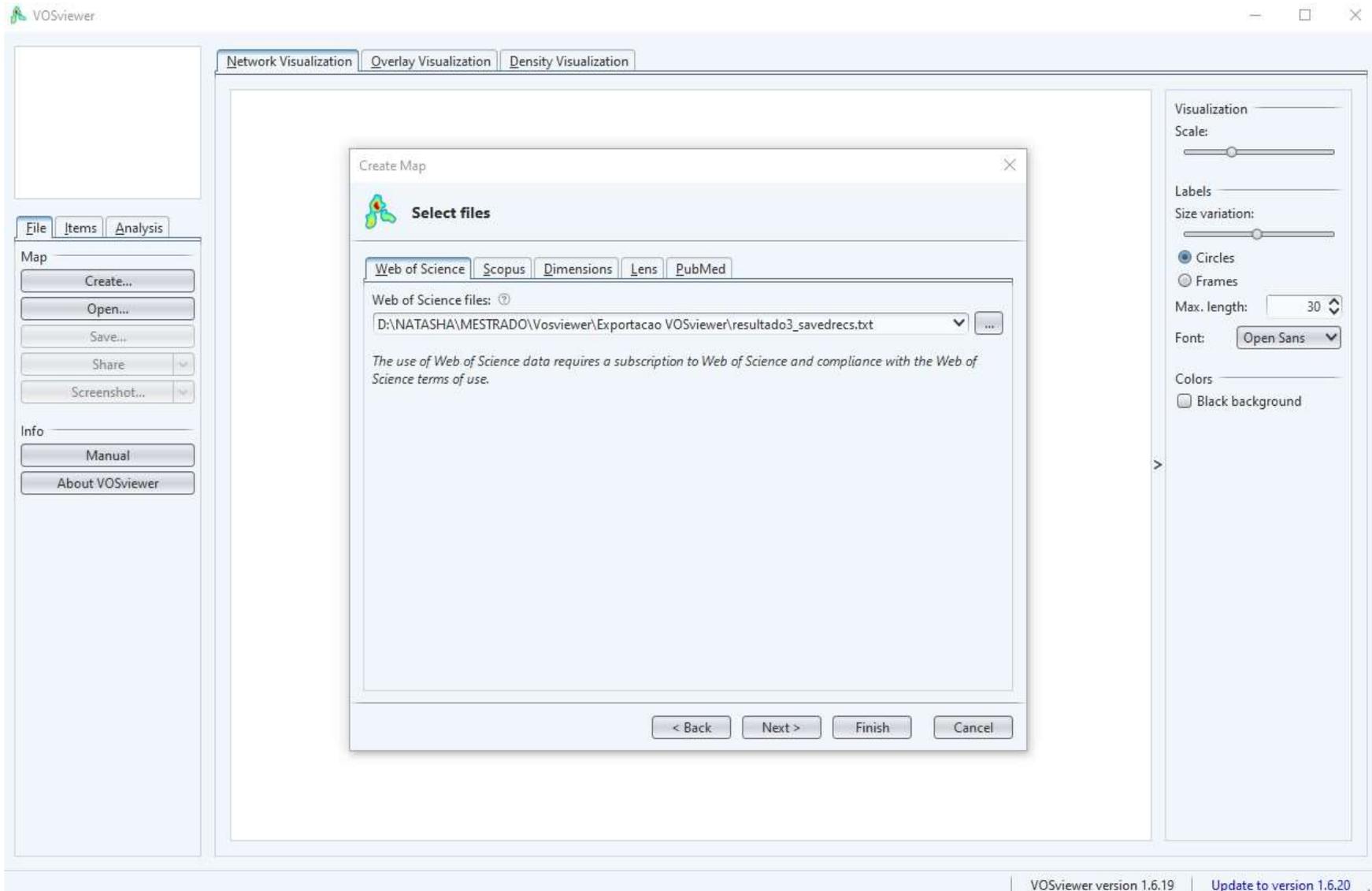
APÊNDICE A – Seleção do tipo de dado a ser utilizado para criar o mapa.



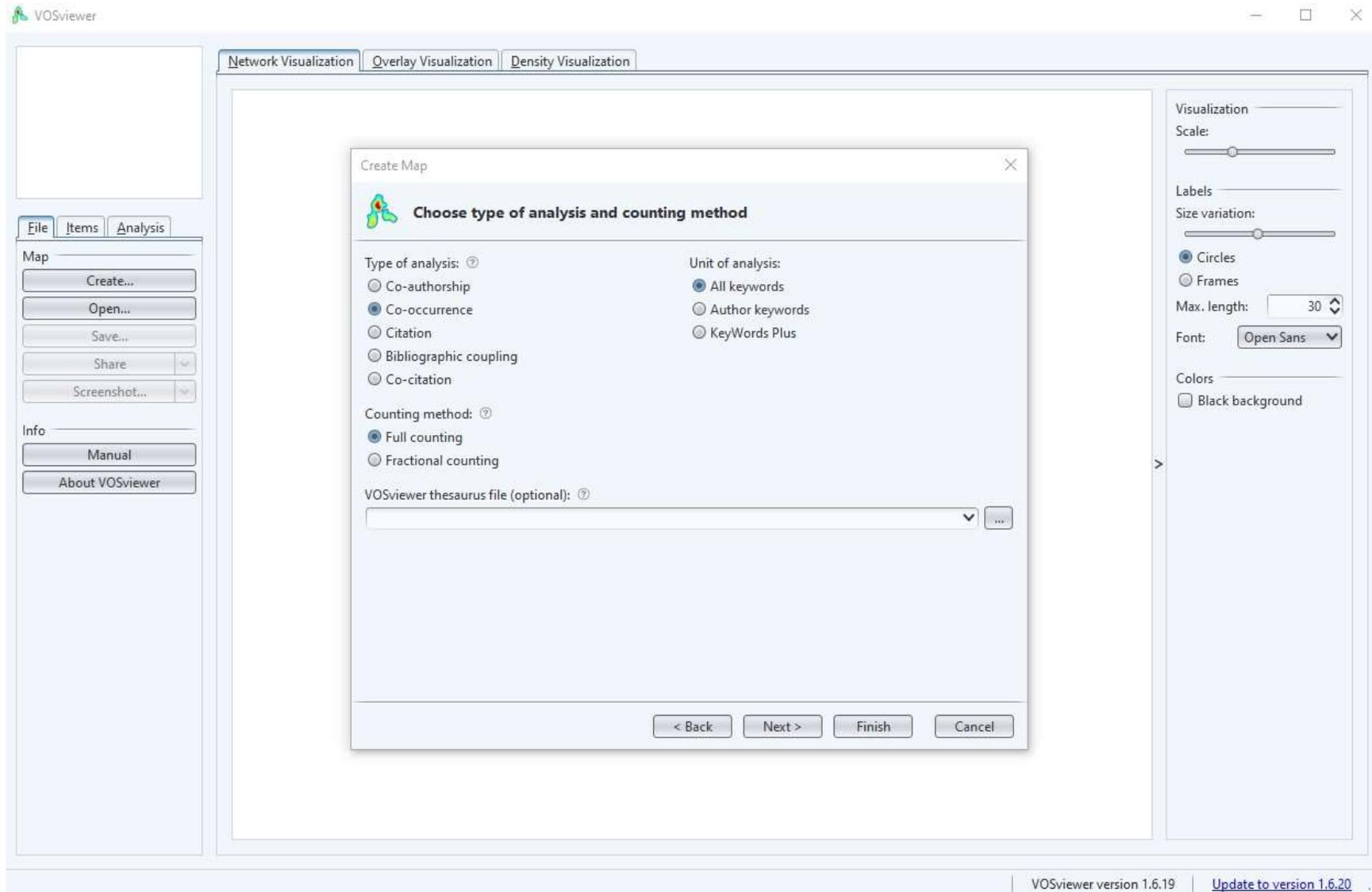
APÊNDICE B – Seleção do tipo de arquivo obtido na base de dados.



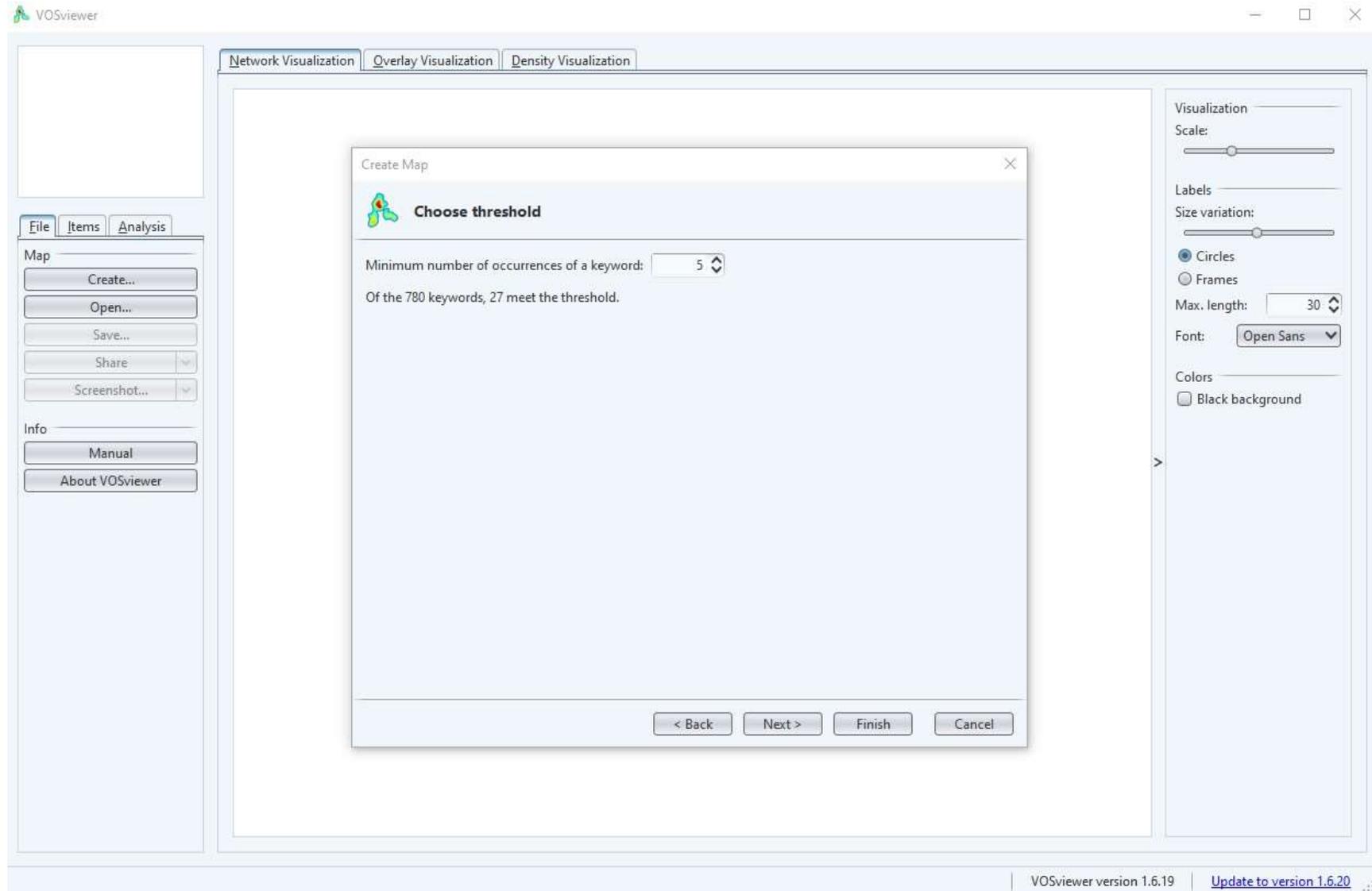
APÊNDICE C – Seleção do arquivo de texto obtido na base de dados.



APÊNDICE D – Escolha do tipo e unidade de análise e método de contagem.



APÊNDICE E – Definição do número mínimo de ocorrência das palavras-chave.



APÊNDICE F – Tabela obtida com as palavras-chave, respectivas ocorrências e suas forças de conexão.

VOSviewer

Network Visualization | Overlay Visualization | Density Visualization

File | Items | Analysis

Map

Create...
Open...
Save...
Share
Screenshot...

Info

Manual
About VOSviewer

Visualization

Scale:

Labels

Size variation:

Circles
 Frames

Max. length:

Font:

Colors

Black background

Create Map

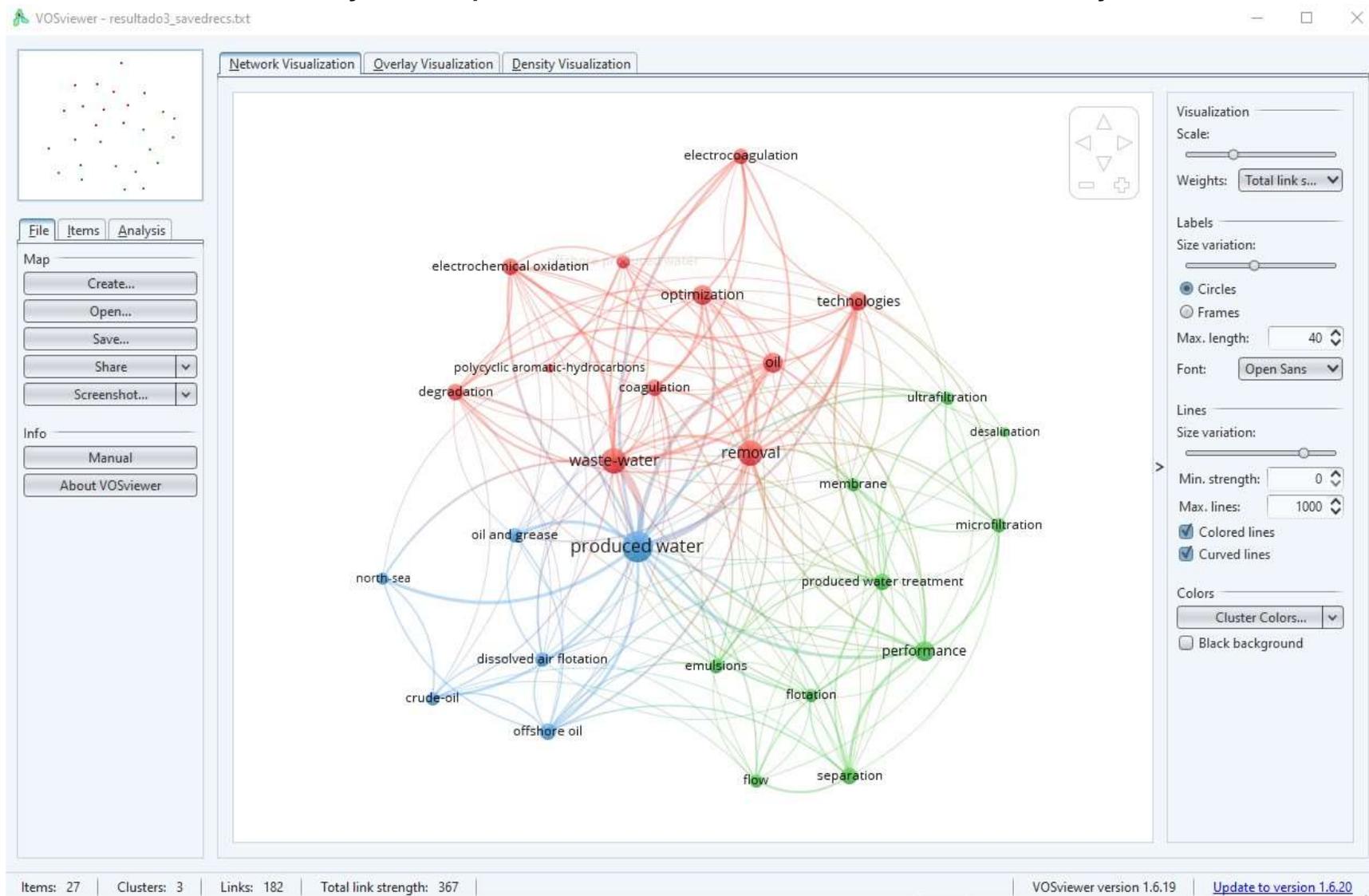
Verify selected keywords

Selected	Keyword	Occurrences	Total link strength
<input checked="" type="checkbox"/>	produced water	42	94
<input checked="" type="checkbox"/>	waste-water	20	64
<input checked="" type="checkbox"/>	removal	18	61
<input checked="" type="checkbox"/>	oil	15	35
<input checked="" type="checkbox"/>	optimization	11	35
<input checked="" type="checkbox"/>	performance	15	35
<input checked="" type="checkbox"/>	technologies	8	33
<input checked="" type="checkbox"/>	coagulation	6	27
<input checked="" type="checkbox"/>	electrochemical oxidation	6	27
<input checked="" type="checkbox"/>	degradation	7	25
<input checked="" type="checkbox"/>	offshore oil	7	25
<input checked="" type="checkbox"/>	produced water treatment	11	25
<input checked="" type="checkbox"/>	separation	10	25
<input checked="" type="checkbox"/>	electrocoagulation	5	23
<input checked="" type="checkbox"/>	emulsions	7	20
<input checked="" type="checkbox"/>	microfiltration	6	20
<input checked="" type="checkbox"/>	dissolved air flotation	6	18
<input checked="" type="checkbox"/>	oil and grease	5	18
<input checked="" type="checkbox"/>	flotation	8	17
<input checked="" type="checkbox"/>	offshore produced water	7	17

< Back Next > Finish Cancel

VOSviewer version 1.6.19 [Update to version 1.6.20](#)

APÊNDICE G – Criação do mapa de acordo com os critérios escolhidos, visualização em rede.



APÊNDICE J – Apresentação do detalhe na seleção da palavra-chave.

