

REVISÃO BIBLIOMÉTRICA DE REAGENTES NATURAIS PARA TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA

Danielli Martins Sanderi – danisanderi@gmail.com

Universidade federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia de minas, metalúrgica e materiais.

Endereço: 91509-900 – Porto Alegre – Rio Grande do Sul

Camila Guterres Rodeghiero – camila.rodeghiero@gmail.com

Universidade federal do Rio Grande do Sul, Escola de Engenharia, Engenharia Química.

Rodrigo Matuella Machado – rmatuella@hotmail.com

Universidade federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia de minas, metalúrgica e materiais.

Ivo André Homrich Schneider – ivo.andre@ufrgs.br

Universidade federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia de minas, metalúrgica e materiais.

André Camargo de Azevedo – andre.azevedo@ufrgs.br

Universidade federal do Rio Grande do Sul, Programa de Pós-graduação em Engenharia de minas, metalúrgica e materiais.

Resumo: Este estudo oferece uma análise do estado atual da produção científica relacionada aos reagentes naturais utilizados no tratamento da água produzida de petróleo, visando auxiliar na compreensão das atuais tendências de científicas. A transição dos coagulantes tradicionais para coagulantes naturais alinha-se aos princípios ESG, proporcionando não apenas eficácia no tratamento, mas também benefícios ambientais. A coleta de dados foi realizada nas plataformas Scopus, Science Direct e Scielo, com uma estratégia de busca centrada em reagentes naturais e sua aplicação no tratamento da água produzida. A pesquisa identificou um total de 17 artigos relevantes, evidenciando um aumento gradual nas publicações ao longo dos anos, com resultados expressivos na remoção de poluentes. Esta revisão bibliométrica destaca o crescente interesse em soluções sustentáveis na indústria de petróleo e gás, enfatizando a importância dos reagentes naturais na abordagem dos desafios ambientais.

Palavras-chave: água produzida, petróleo, reagentes naturais, sustentabilidade, ESG.



BIBLIOMETRIC REVIEW OF NATURAL REAGENTS FOR PRODUCED WATER TREATMENT

Abstract: *This study provides an analysis of the current state of scientific production related to natural reagents used in produced water treatment, aiming to assist researchers in understanding the latest publications. The transition to natural coagulants aligns with ESG principles, offering not only effectiveness in treating produced water but also environmental benefits. Data collection was conducted using Scopus, Science Direct, and Scielo platforms, with a search strategy focusing on natural reagents and their application in produced water treatment. The research identified a total of 17 relevant articles, showcasing a gradual increase in publications over the years, with significant results in pollutant removal efficiency. This bibliometric review highlights the growing interest in sustainable solutions for managing produced water in the oil and gas industry, emphasizing the importance of natural reagents in addressing environmental challenges.*

Keywords: *produced water, petroleum, natural reagents, sustainability, ESG.*

1. INTRODUÇÃO

Durante o processo de extração de petróleo em plataformas offshore, parte do óleo extraído é emulsificado com água, produzindo águas residuais denominadas “água produzida”. O processo de emulsificação começa com a mistura óleo-água fluindo pelo fundo do poço, passando pela coluna de produção em alta pressão e finalmente chegando à superfície, onde passa pelo processamento primário (separação trifásica). Durante este processo, a pressão e as altas forças de cisalhamento exercidas por bombas, válvulas e outros dispositivos de constrição hidráulica reduzem o tamanho das gotículas de óleo dispersas na porção aquosa. Além disso, o petróleo bruto contém naturalmente emulsificantes como os asfaltenos que são responsáveis pela estabilização das emulsões (CHEN & TAO 2005; HONSE et al. 2012).

A principal fonte de resíduos gerados pela indústria de gás e petróleo é a água produzida. De fontes marítimas ou terrestres, a água produzida é oriunda da produção de petróleo bruto e gás natural (LIU et al., 2021; KHORRAM et al., 2023). Devido à expansão contínua das atividades globais de exploração e produção de petróleo e gás, observa-se um aumento constante na geração nos campos petrolíferos. Esse fenômeno suscita sérias preocupações ambientais relacionadas ao descarte apropriado e ao tratamento eficiente dessas águas residuais de petróleo (SOUZA et al., 2022). A complexidade intrínseca dessas águas residuais é influenciada por diversos fatores, como a composição dos hidrocarbonetos, a origem da água utilizada nas operações de recuperação de petróleo, as características geológicas da formação e a localização geográfica do campo petrolífero (AMAKIRI ET AL., 2022, NATH et al., 2023). Também apresentam uma composição diversificada, contendo sais, metais tóxicos, metaloides, compostos orgânicos, sólidos suspensos e materiais radioativos (BEYER et al., 2020).

A presença de compostos orgânicos resistentes ao tratamento nas descargas de águas residuais de petróleo constitui uma ameaça significativa quando essas águas são liberadas no ambiente marinho ou em áreas terrestres adjacentes a terras agrícolas, corpos d'água e ecossistemas fluviais (ABOUT EL LEIL et al., 2021). Frente a esses desafios, a procura por tecnologias eficazes de tratamento de água produzida, em conformidade com os limites regulatórios de descarga estabelecidos, permanece uma prioridade na indústria de exploração de petróleo (IGUNNU E CHEN, 2012, REF).

Técnicas como coagulação/floculação, flotação e adsorção são largamente empregadas em tratamento de águas produzidas. A utilização de coagulantes naturais em detrimento dos coagulantes e



floculantes sintéticos desempenha um papel crucial no tratamento de águas e efluentes líquidos, gerando impactos significativos nos três pilares do desenvolvimento sustentável: ambiental, social e econômico (AJMI et al., 2023).

Coagulantes inorgânicos e os flocculantes poliméricos sintéticos apresentam problemas de não biodegradabilidade e impacto negativo ao meio ambiente. Por exemplo, concentrações de íons de alumínio superiores a 50 µg/L podem apresentar potencial toxicidade para organismos aquáticos (Zhu, 2020). Do ponto de vista ambiental, a aplicação de coagulantes/floculantes naturais está associada à despoluição e à redução de danos e impactos ambientais adversos (LIMA et al, 2018;), porém são questionados enquanto a sua eficiência (LEE et al., 2014).

Estudos recentes têm direcionado esforços para aplicação de coagulante/floculantes poliméricos naturais, tais como a quitosana (AHMAD & HAMEED 2006; GREM et al, 2014; RENAULT et al, 2009), o amido (HU et al, 2022, VELEZ et al, 2023) e a celulose (LEE et al., 2014, HAN et al, 2022), devido à sua ampla disponibilidade, custo reduzido, não toxicidade e biodegradabilidade. Essas pesquisas evidenciam o potencial promissor desses reagentes como alternativas ecologicamente corretas e sustentáveis para o tratamento de águas e efluentes líquidos. Esses coagulantes naturais não apenas demonstraram eficácia no tratamento de águas produzidas, mas também oferecem benefícios ambientais, como a redução de danos e impactos adversos e contribuem para práticas mais sustentáveis na indústria, atendendo aos pilares ambientais, sociais e econômicos do desenvolvimento sustentável (RENAULT et al, 2009; NEGI et al. 2021).

A busca por soluções sustentáveis no tratamento de água produzida na indústria de exploração de petróleo e gás está intrinsecamente ligada aos princípios do ESG (Environmental, Social and Governance). A transição para o uso de coagulantes naturais, como a quitosana, amido e celulose, em detrimento de produtos químicos sintéticos, alinham-se aos princípios ESG e aos Objetivos do Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU, principalmente com o ODS número 12: "Consumo e Produção Sustentáveis", que visa garantir padrões sustentáveis de produção e consumo, promovendo a eficiência no uso de recursos naturais e a redução significativa da geração de resíduos tóxicos. Concomitantemente ao buscar reagentes naturais menos tóxicos, as pesquisas também contribuem para a redução do impacto ambiental e para a promoção de práticas mais sustentáveis na produção de produtos químicos, que está relacionada com o ODS 14 (Vida na Água) e o ODS 15 (Vida Terrestre), ao minimizar a contaminação dos ecossistemas aquáticos e terrestres (ONU, 2024).

A presença de produtos químicos em águas produzidas também tem despertado especial atenção dos agentes científicos e governamentais nas convenções de cooperação para proteção dos ambientes marinhos do Atlântico Norte (OSPAR). Características atreladas a bioacumulação, biodegradação e ecotoxicidade desses produtos químicos são consideradas para que se possa autorizar ou refutar a sua utilização durante as atividades *offshore* de petróleo e gás, entre elas a de tratamento de água produzida (OSPAR, 2019). De fato, a inserção de produtos químicos ao longo dos diversos processos envolvidos na extração de óleo e gás culminam no seu carregamento e persistência em águas residuais, mesmo após o seu tratamento, representando o principal contribuinte para manifestação de efeito ecotoxicológico das águas produzidas (VRIES et al., 2022).

Portanto, este estudo tem como objetivo fornecer uma análise sobre o estado atual da produção científica relacionada aos reagentes naturais utilizados no tratamento de água produzida a fim de auxiliar pesquisadores na compreensão do atual estado atual das publicações.

2. METODOLOGIA

A coleta de dados para a análise documental foi realizada por meio das plataformas Scopus, Science Direct e Scielo, reconhecidas por sua abrangência e confiabilidade no contexto científico. Estas plataformas constituem repositórios de pesquisa de elevado valor no segmento em análise,



disponibilizando artigos provenientes de diversas fontes. Utilizou-se uma estratégia de pesquisa utilizando conectores lógicos, tais como OR, AND e *, para encontrar os artigos relacionados ao tema de interesse. A seguinte expressão booleana foi empregada na busca: ("natural reagents" OR "natural coagulants" OR "natural flocculants" OR "chitosan" OR "tannin" OR "starch") AND ("produced water" OR "produced-water") AND ("adsorption" OR "flocula*" OR "coagula*"). Este conjunto de termos foi escolhido com o propósito de abranger abordagens variadas e relevantes para a investigação em questão. A pesquisa foi realizada com o intuito de encontrar os termos da pesquisa em títulos, *abstracts* e palavras-chave dos trabalhos.

Após a condução da investigação, foi procedido com uma análise individual de cada artigo com o objetivo de determinar sua relevância para o estudo em questão. Nesse contexto, foram coletados dados referentes aos países envolvidos nas publicações, aos reagentes naturais empregados nos estudos, aos métodos utilizados para o tratamento da água produzida, bem como informações acerca da frequência das publicações ao longo do tempo.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Numa análise inicial, identificaram-se 27 artigos por meio da pesquisa utilizando os conectores booleanos, os quais foram refinados para um conjunto final de 17 artigos, selecionados por sua relevância para o escopo do estudo em questão. A Figura 1 ilustra a evolução cronológica do número de artigos publicados ao longo do tempo, proporcionando uma visão panorâmica do cenário científico relacionado ao tema em análise.

Figura 1 - Gráfico da quantidade de publicações ao longo do tempo.

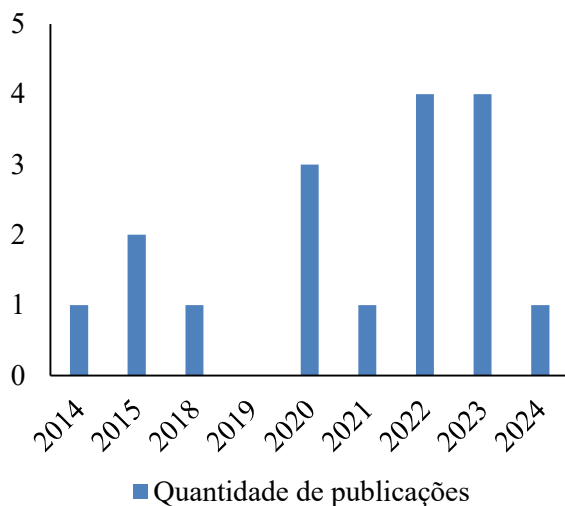
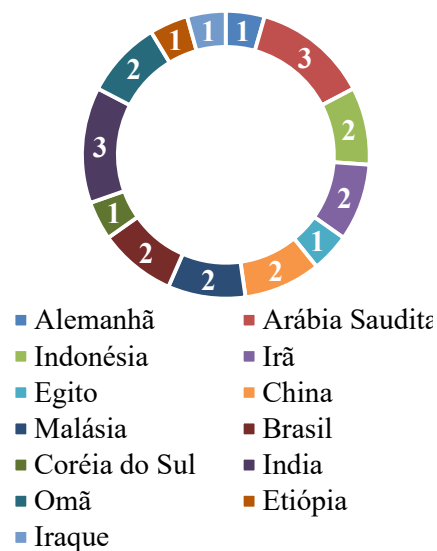


Figura 2 - Gráfico da quantidade de publicações por país.

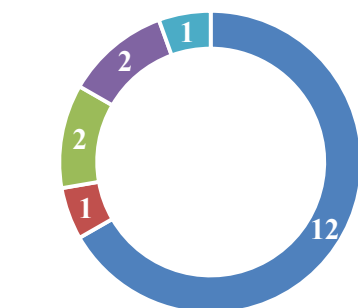


Observou-se um aumento nas pesquisas que associam água produzida a reagentes naturais ao longo do tempo. No entanto, em 2021, notou-se uma diminuição nas publicações, possivelmente atribuível à pandemia global de COVID-19, que teve início em 2020. Além disso, foi realizado um levantamento sobre a participação de países nessas publicações (Figura 2), revelando a colaboração de 13 nações ao tema, nos quais a maioria são produtoras de petróleo.



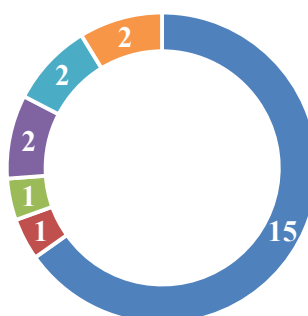
A Figura 3 discrimina os processos empregados, e observou-se que adsorção foi o mais frequente. A Figura 4 indica os reagentes utilizados, e a quitosana foi o mais estudado. Contudo, a quitosana raramente foi utilizada de forma isolada, sendo associada a outros materiais, tais como polímeros, óxido de zinco (GUL ZAMAN et al., 2022), polietilenoglicol (MOTTAGHI et al., 2021) e óxido de grafeno (NASCIMENTO et al., 2024). Tratamentos com amido e celulose também aparecem, mas mais precisamente sendo utilizados para o desenvolvimento de membranas e filtros (YOGARATHINAM et al., 2022, PUTRI et al., 2022).

Figura 3 - Tratamentos utilizados no tratamento de água produzida utilizando reagentes naturais.



- Adsorção
- Coagulação/floculação
- Membranas
- Filtros ceramicos
- Fotocatálise

Figura 4 - Reagentes utilizados no tratamento de água produzida utilizando reagentes naturais.



- Quitosana
- Montmorilonita
- Carvão
- Amido
- Argila
- Celulose

A quitosana destaca-se entre os reagentes avaliados. Isso se dá porque derivados de quitina e quitosana são bioadsorventes eficazes, devido a presença de grupos funcionais amino e hidroxila, atraindo considerável atenção também pela sua acessibilidade em relação ao custo. Esses grupos funcionais apresentam um potencial significativo de adsorção, tornando-os eficazes na remoção de diversos poluentes da água, graças às características como não toxicidade, abundância na natureza, biocompatibilidade e biodegradabilidade (LIMA et al., 2014). Porém, alguns autores propõem que para aumentar a eficiência de remoção dos poluentes da água produzida utilizando quitosana seria necessário fazer modificação na estrutura da quitosana ou adicioná-la a outro reagente (LIMA et al., 2014; AKHBARIZADEH et al., 2018; LIU et al., 2023).

Hosny et al. (2016) testaram a remoção de óleo de água proveniente de água produzida do petróleo e identificaram que a quitosana misturado com os coagulantes carboximetilcelulose ou sulfato de alumínio, em um tempo médio de mistura entre 30 e 60 minutos, em pH 4 e 9, permitiu eficiências de remoção de óleo em 96% e 59%, respectivamente.

Nascimento et al. (2024) estudaram a remediação da água produzida utilizando um compósito magnético de óxido de grafeno e quitosana para adsorver o fluoranteno (FLT). Os resultados indicaram alta eficiência do processo, com a remoção de 90,9% de FLT após 60 minutos e uma capacidade máxima de adsorção de 28,22 mg/g. Análises cinética, de equilíbrio e termodinâmica revelam que a fisorção é o mecanismo adsorvente predominante, mas a quimissorção também desempenha um papel, influenciada por interações eletrostáticas. O estudo termodinâmico sugeriu uma elevada afinidade entre FLT e o compósito de grafeno, com a adsorção sendo exotérmica e espontânea. Os resultados indicam que o compósito magnético possui potencial como adsorvente sustentável para a remediação de fluoranteno.



Yu et al. (2020) realizaram experimentos de adsorção e descalcificação da água produzida em campos de petróleo utilizando “*celucotton*” e bentonita modificada com quitosana. Os resultados mostraram que a adição de bentonita modificada com quitosana resultou em uma significativa redução na concentração de íons de escala na água tratada, com uma diminuição notável na quantidade de escala presente após o tratamento de adsorção/floculação. A análise da qualidade da água e a compatibilidade entre a água de formação e a água separada em três fases também foram realizadas, destacando a importância da análise para garantir o tratamento preciso e a reinjeção segura da água produzida em campos de petróleo.

Putri et al. (2022) investigaram o efeito da composição de filtros cerâmicos na melhoria da qualidade da água produzida, visando a redução de sólidos dissolvidos totais (TDS), bário e fenol para o tratamento por osmose reversa (RO). Os filtros cerâmicos foram fabricados utilizando um catalisador gasto da unidade de craqueamento catalítico residual (RCC) com e sem ativação, argila e amido de *Dioscorea hispida* (DHS) em várias composições.

Jawad et al. (2020) estudaram a síntese e caracterização de nanopartículas magnéticas revestidas e sua aplicação como coagulante para remoção de gotículas de óleo de água produzida em campos petrolíferos. No trabalho, nanopartículas magnéticas (MNPs) de óxido de ferro Fe_3O_4 foram sintetizadas e caracterizadas via método de co-precipitação de sais de ferro (íons Fe^{+2} e Fe^{+3}) a 80°C , $\text{pH}=14$ e razão molar de Fe^{+2} de 0,5. / Fe^{+3} . As MNPs foram revestidas com diferentes materiais (PVP e quitosana) para aumentar a eficácia e estabilidade delas.

Gul Zaman et al. (2023) visaram otimizar as condições para remover chumbo de água produzida sintética utilizando quitosana como adsorvente. Usando Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e um Design Composto Central (CCD), estabeleceram as condições ideais. O modelo estatístico obtido indicou uma remoção de chumbo de até 89,1% nas condições ótimas, que incluíam uma dose de 1,9 g/L de quitosana, pH 4,5, concentração de 4 mg/L de chumbo e tempo de contato de 76 minutos. Análises de isotermas e cinética confirmaram a eficácia do modelo. O estudo destaca a aplicabilidade da quitosana como adsorvente *eco-friendly* e custo-eficaz para o tratamento de água produzida.

Com a avaliação desses estudos nota-se que a busca por soluções eficazes para tratar a água produzida em campos de petróleo foi empregada com diferentes abordagens, incluindo o uso de quitosana em combinação com coagulantes para remoção de óleo, o desenvolvimento de compostos magnéticos para adsorção de poluentes como o fluoranteno, a utilização de bentonita modificada com quitosana para adsorção e descalcificação, a investigação da composição de filtros cerâmicos para melhorar a qualidade da água produzida e a síntese de nanopartículas magnéticas para remover gotículas de óleo. Isso demonstra que existem muitos campos a serem explorados na ciência do tratamento de água produzida rumo ao desenvolvimento de reagentes provenientes de fontes naturais, não tóxicas e mais sustentáveis.

4. CONCLUSÃO

Ao observar retrospectivamente o cenário, nota-se uma trajetória de evolução no campo das pesquisas relacionadas aos reagentes naturais, que ganharam destaque no combate aos desafios associados à gestão sustentável dos tratamentos de água produzida. O aumento notável nas publicações até 2020 reflete um interesse crescente e uma resposta dinâmica às demandas ambientais e regulatórias. A colaboração de 13 países revela uma abordagem coletiva e internacional para enfrentar os desafios específicos da água produzida. A transição gradual para o uso de materiais naturais, como quitosana, amido e celulose, demonstra que pesquisadores ao redor do mundo já estão contribuindo para uma mudança necessária em direção a práticas mais sustentáveis, mas ainda assim percebe-se se necessitam mais estudos relacionados a viabilidade dos processos em grande escala e do processo de produção dos reagentes. Nas pesquisas em questão pode-se notar que ao substituir produtos químicos sintéticos, não



apenas demonstram eficácia no tratamento, mas também promovem benefícios ambientais significativos, alinhando-se aos princípios de sustentabilidade.

REFERÊNCIAS

AHMAD, A. L. SUMATHI, S. HAMEED, B. H. **Coagulation of residue oil and suspended solid in palm oil mill effluent by chitosan, alum and PAC**, Chemical Engineering Journal, Volume 118, Issues 1–2, 2006, Pages 99-105, ISSN 1385-8947, <https://doi.org/10.1016/j.cej.2006.02.001>.

AJMI, S. A. SYED, M. A. SHAIK, F. NAYEEMUDDIN, M. BALAKRISHNAN, D. MYNENI, V. R. **Treatment of Industrial Saline Wastewater Using Eco-Friendly Adsorbents**, 2023, v.1 n.7366941, p.1-11. DOI: 10.1007/s11356-018-3136-2

AMAKIRI, K. T. CANON, A. R. MOLINARI M. ANGELIS-DIMAKIS, A. **Review of oilfield produced water treatment technologies**, 2022, v. 298. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134064>

BEYER, J., GOKSØYR, A., HJERMANN, D. Ø., & KLUNGSØYR, J. **Environmental effects of offshore produced water discharges: A review focused on the Norwegian continental shelf**. Marine Environmental Research, 162, 105155, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2020.105155>.

CHEN, GONGLUN; TAO, DANIEL. **An experimental study of stability of oil-water emulsion**. Fuel Processing Technology, [S. l.], v. 86, n. 5, p. 499–508, 2005. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2004.03.010>

GREM, I. C. S. LIMA, B. N. B. CARNEIRO, W. F. QUEIRÓS, Y. G. C. MANSUR, C. R. E. **Chitosan Microspheres Applied for Removal of Oil from Produced Water in the Oil Industry**, 2014, v.23, n.008, p. 705-711 . <https://doi.org/10.4322/polimeros.2014.008>

GUL ZAMAN, H. G. BALOO, L. PENDYALA, R. **Application in the optimization of Pb(II) adsorption by chitosan from produced water by using response surface methodology**, 2023, v.1, n.20, p.197–208. <https://doi.org/10.1007/s13762-022-03927-0>

GUL ZAMAN, H. G. BALOO, L. PENDYALA, R. KUTTY, S. R. B. M. **Response Surface Methodology Application in the Optimization of Cd(II) Removal from Produced Water by Chitosan**, 2020, DOI 10.1109/IEEECONF51154.2020.9319976.

GUL ZAMAN, H. G. BALOO, L. AZIZ, F. KUTTY, S. R. ASHRAF, A. **COD adsorption and optimization from produced water using chitosan–ZnO nanocomposite**, 2022, v.12, p.1885–1898. DOI:10.1007/s13204-022-02392-y

HAN, Z. HUO, J. ZHANG, X. NGO, H. H. GUO, W. DU, Q. Y, Z LI, C. ZHANG, D. **Characterization and flocculation performance of a newly green flocculant derived from natural bagasse cellulose**. Chemosphere, 3001, 134615, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134615>

HONSE, Siller O.; MANSUR, Claudia R. E.; LUCAS, Elizabete F. **The influence of asphaltenessubfractions on the stability of crude oil model emulsions**. Journal of the Brazilian Chemical Society, [S. l.], v. 23, n. 12, p. 2204–2210, 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0103-50532013005000002>



HOSNY, R. FATHY, M. RAMZI, M. MOGHNY, T. A. DESOUKY, S.E.M. SHAMA, S.A. **Treatment of the oily produced water (OPW) using coagulant mixtures**, 2016, v.25, n.3, p.391–396. <https://doi.org/10.1016/j.ejpe.2015.09.006>

HU, X. HU, P. YANG, H. **Influences of charge properties and hydrophobicity on the coagulation of inorganic and organic matters from water associated with starch-based coagulants**. Chemosphere, 298, 13436, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.134346>

IBRAHIM M. ABOU EL LEIL, KHALED M. MEZUGHY, NURI M. TRIKI, SOMAYA A. ALTAYEB. **Physiochemical Characteristics of Produced Water in Oilfields and Its Environmental Impacts**. International Journal of Scientific Development and Research, 6(2), 288-300. DOI:10.20472/IAC.2018.036.024

IGUNNU, E. T. CHEN, G. Z. **Produced water treatment technologies**, 2012, v.9, n.3 p.157-177. <https://doi.org/10.1093/ijlct/cts049>

JAWAD, A. S. AL-ALAWAY, A. F. **Synthesis and characterization of coated magnetic nanoparticles and its application as coagulant for removal of oil droplets from oilfield produced water**. AIP Conference Proceedings. 2213, 020174 (2020), v. 2213; <https://doi.org/10.1063/5.0000279>
KHORRAM, A. G., FALLAH, N., NASERNEJAD, B., AFSHAM, N., ESMAELZADEH, M., & VATANPOUR. **Electrochemical-based processes for produced water and oily wastewater treatment: A review**. Chemosphere, 338, 139565, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.139565>.

LEE, C. S., ROBINSON, J., & CHONG, M. F. (2014). **A review on application of flocculants in wastewater treatment**. Process Safety and Environmental Protection, 92(6), 489-508. <https://doi.org/10.1016/j.psep.2014.04.010>

LIMA, R.N.J. ABREU, F.O.M.S. **Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Flocculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades**. Revista Virtual de Química, 2018, v. 10, n. 3, p.709-735. DOI:10.21577/1984-6835.20180052

LIMA, P. R. ALMEIDA, I.V. VICENTINI, V. E. P. **Os diferentes tipos de coagulantes naturais para o tratamento de água: uma revisão**. Evidência biociência, saúde e inovação, E-issn 2236-6059, 2020, v. 20, n. 1, p. 9-22. DOI:10.18593/eba.24704

LIU Y, LU H, LI Y, XU H, PAN Z, DAI P, WANG H, YANG Q. **A review of treatment technologies for produced water in offshore oil and gas fields**. Sci Total Environ. 2021 Jun 25;775:145485. doi: 10.1016/j.scitotenv.2021.145485. Epub 2021 Jan 30. PMID: 33618302.

LIU, Y. AN, N. TIAN, L. YANG, P. WANG, W. LIU, B. **Multifunctional carbon aerogel granules designed for column reactor for efficient treatment of shale gas flowback and produced water**. 2023, v.1, n.459, p.141544. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2021.101959>

MOTTAGHI, H. MOHAMMADI, Z. ABBASI, M. TAHOUNI, N. PANJESHAHI, H. M. **Experimental investigation of crude oil removal from water using polymer adsorbent**, 2021, v. 40.

NASCIMENTO, D. P. FARIAS, B. M. QUEIROZ, R. N. SILVA, M. G. C. PREDIGER, VIEIRA, P. M.G. A. **Fluoranthene adsorption by graphene oxide and magnetic chitosan composite (mCS/GO)**, 2024, v.31, n.5, p.6891–6906. DOI: 10.1007/s11356-023-31528-y



NATH, F. CHOWDHURY, M. O. S. RHAMAN, M. 2023. **Navigating Produced Water Sustainability in the Oil and Gas Sector: A Critical Review of Reuse Challenges, Treatment Technologies, and Prospects Ahead** *Water* 15, no. 23: 4088. <https://doi.org/10.3390/w15234088>

NEGI, H. VERMA, P. SINGH, R. K. **A comprehensive review on the applications of functionalized chitosan in the petroleum industry.** *Carbohydrate Polymers*, 266, 118125, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.carbpol.2021.118125>

OLIVEIRA, E. P., SANTELLI, R. E., CASSELLA, R. J. **Direct determination of lead in produced waters from petroleum exploration by electrothermal atomic absorption spectrometry X-ray fluorescence using Ir–W permanent modifier combined with hydrofluoric acid.** *Analytica Chimica Acta*. v. 545, p. 85-91, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.aca.2005.04.030>

ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. (2023). **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.** [<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>. Acesso em 04 mar. 2024.

PRIHATTINNINGTYAS E. **Comparative study between aluminium sulphate and Lemna perpusilla as coagulants for water treatment: case study Lake Cibuntu, West Java.** *International Conference on Tropical Limnology*, 2019, v.1 n.535, p. 012012. [DOI:10.1088/1755-1315/535/1/012012](https://doi.org/10.1088/1755-1315/535/1/012012)

PUTRI, R. E. D. NASIR, S. HADIAH F. **Application of Ceramic Filter and Reverse Osmosis Membrane for Produced Water Treatment**, 2022, v.8, n.4, p.1103-1115. [DOI:10.22059/POLL.2022.337380.1343](https://doi.org/10.22059/POLL.2022.337380.1343)

RENAULT, F. SANCEY, P. BADOT, M. CRINI, G. **Chitosan for coagulation/flocculation processes – An eco-friendly approach.** *European Polymer Journal*, 2009, v.45, n.5, p. 1337-1348. <https://doi.org/10.1016/j.eurpolymj.2008.12.027>

SHANGA, W. LIUA, Y. HE, Q. LIUB, S. ZHUA, Y. TONGC, T. LIUA, B. **Efficient adsorption of organic matters and ions by porous biochar aerogel as pre-treatment of ultrafiltration for shale gas wastewater reuse**, 2020, v.2, n.25, p.100011. <https://doi.org/10.1016/j.ceja.2020.100011>

SOUZA, J.S.B. JÚNIOR, A.S. J. SIMONELLI, G. SANTOS, L.C.L. **Produced water treatment using microemulsion formulated with vegetable oil-based surfactant**, 2022, v. 49 n.103086. <https://doi.org/10.1016/j.jwpe.2022.103086>

VELEZ, M. C. P. GOMEZ P. P. HERNANDEZ, H. D. M. **Acetylated corn and potato starches as an alternative to the toxic inorganic coagulants/flocculants for wastewater treatment.** *Enviromental Nanotechnology, Monitoring and Management* 100786, 2023 v. 20. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2023.100786>

VRIES, P., JAK, R.G., FROST, T.K. **Comparison of Substance-Based and Whole-Effluent Toxicity of Produced Water Discharges from Norwegian Offshore Oil and Gas Installations**, 2022, v. 41, n. 9, p. 2285-2304. DOI: 10.1002/etc.5414

YOGARATHINAM, L. T. GOH, P. S. ISMAIL, A. GANGASALAM, AHMAD, F. A. N. A. SAMAVATI, A. MAMAH, S. C. ABIDIN, M. N. Z. NG, B. C. GOPAL, B. **Nanocrystalline cellulose incorporated biopolymer tailored polyethersulfone mixed matrix membranes for efficient treatment of produced water**, 2022, v.1, n.293, p.133561. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133561>





**12º Simpósio
Internacional de
Qualidade
Ambiental**

**Data do Evento:
04, 05 e 06/11/2024**

**TEMA:
Desafios e soluções
ambientais na
adequação aos
critérios ESG**

YU, T. WANG, Y. QU, C. LI, J. YANG, B. Adsorption and Descaling of Cellucotton and Chitosan-Modified Bentonite for Produced Water 2020, v.16 n.2, p.208-215. DOI: 10.3844/ajbbsp.2020.208.215

Realização



abes-rs@abes-rs.org.br

(51) 999330700

www.abes-rs.org.br

