



Technical Paper

ESTUDO DAS TÉCNICAS APLICADAS NO TRATAMENTO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO

STUDY OF TECHNIQUES APPLIED IN THE TREATMENT OF WATER PRODUCED FROM PETROLEUM

Felipe Costa Reis da Silva ¹ | Luiz Carlos Lobato dos Santos ² | Kleberson Ricardo de Oliveira Pereira ³.

1. UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, PRH - 36, . SALVADOR - BA - BRASIL, reisleipe368@gmail.com 2. FEDERAL UNIVERSITY OF BAHIA, POSTGRADUATE PROGRAM OF CHEMICAL ENGINEERING, OIL, GAS AND BIOFUELS RESEARCH GROUP, SALVADOR - BA - BRASIL, lclsantos@ufba.br 3. UNIVERSIDADE FEDERAL DA BAHIA, PRH - 36, . SALVADOR - BA - BRASIL, kleberson.pereira@ufba.br

Resumo

A crescente demanda energética mundial, que se utiliza principalmente dos derivados de petróleo, é um dos fatores que contribuem para o aumento nos índices de poluição marinha devido à indústria petrolífera. Em muitos casos tem-se que essa poluição ocorre devido ao lançamento de efluentes industriais contaminados por óleo, sendo a água produzida o principal efluente contaminado. O tratamento da água produzida do petróleo desdobra-se em inúmeros desafios para as empresas petrolíferas, em que se utilizam diversos métodos com intuito de adequação desta água para que se torne viável seu descarte ou para os diferentes usos que podem ser dados a este resíduo, tais como: reinjeção no poço, reuso na exploração e produção de petróleo em processos de perfuração, no fraturamento hidráulico, aumentar a permeabilidade e a produção de petróleo ou também para irrigação de pastos e represamento, servindo de fonte de água para animais silvestres. Diversos tipos de tratamentos podem ser utilizados, que podem ser agrupados em: métodos físicos, químicos e biológicos. Diante disso, esse trabalho tem como objetivo, realizar o estudo referente aos diversos métodos que podem ser utilizados no tratamento da água produzida de petróleo através de uma revisão de literatura.

Palavras-chave: Resíduo. Exploração de Petróleo. Produção de Petróleo

Abstract

The growing global energy demand, which uses mainly petroleum derivatives, is one of the factors that contribute to the increase in marine pollution rates due to the oil industry. In many cases, this pollution occurs due to the release of industrial effluents contaminated by oil, with the water produced being the main contaminated effluent. The treatment of oil produced water presents numerous challenges for oil companies, in which different methods are used in order to adapt this water so that its disposal becomes viable or for the different uses that can be given to this waste, such as: reinjection in the well, reuse in the exploration and production of oil in drilling processes, in hydraulic fracturing, increase permeability and oil production or also for irrigation of pastures and damming, serving as a source of water for wild animals. Several types of treatments can be used, which can be grouped into: physical, chemical and biological methods. Therefore, this work aims to carry out the study regarding the various methods that can be used in the treatment of oil produced water through a literature review.

Keywords: Residue. Oil exploration. Oil Production

Received: November 07, 2021 | **Accepted:** | **Available online:**

Article nº:

Cite as: Proceedings of the Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, RJ, Brazil, 2022.

DOI: <https://doi.org/10.48072/2525-7579.rog.2022>.

1. Introdução

Na indústria petrolífera, água se faz presente e encontra-se na rocha juntamente com o petróleo e o gás natural. O petróleo é a principal fonte de energia utilizada como combustível e é constituído por centenas de diferentes substâncias químicas, embora a maioria dos constituintes sejam hidrocarbonetos. Ainda assim, há os chamados não hidrocarbonetos, que são substâncias consideradas como impurezas ou contaminantes. (SILVA, 2000).

Água produzida é o maior efluente gerado pela exploração e produção do petróleo, sendo considerada um agente causador de grandes impactos ambientais, apresentando uma série de materiais suspensos e dissolvidos, sejam estes orgânicos ou inorgânicos. Já os componentes inorgânicos da água produzida são semelhantes aos encontrados na água do mar, entretanto a salinidade pode variar chegando a ser até quatro vezes maior (THOMAS, 2004).

A água produzida é gerada como subproduto da produção de petróleo após o processo de separação por qual estes fluidos passam, chamado de processamento primário, que, segundo Thomas (2004) tem a finalidade de separar o gás, sob condições controladas, e remover a água, impurezas e contaminantes, para que o óleo permaneça estável e possa ser transferido para a unidade de refino.

Tal efluente pode ser reaproveitado diversas vezes durante a exploração do petróleo ou descartada de acordo com o volume de resíduos encontrados em sua composição. Para a definição desse destino, é necessário tratá-la utilizando-se de métodos físicos, químicos ou biológicos.

Conforme cita Sales et al. (2013), o tratamento da água de produção tem como objetivo o seu enquadramento nas normas ambientais e a recuperação do óleo emulsionado nela. O primeiro tem por importância o aspecto ambiental, pois, além do óleo, essa água contém muitas impurezas, e também para não sofrer sanções e multas dos órgãos regulamentadores. O segundo é de importância econômica, pois uma quantidade significativa do óleo fica emulsionado na água e deve receber um tratamento adequado para realizar sua extração.

De toda forma, constata-se que o tratamento da água produzida do petróleo desdobra-se em inúmeros desafios para as empresas petrolíferas, pois é necessária a adequação desta água para que seja viável seu descarte ou uso, tais como: reinjeção no poço, reuso na exploração e produção de petróleo em processos de perfuração, no fraturamento hidráulico, aumentar a permeabilidade e a produção de petróleo ou também para irrigação de pastos e represamento, servindo de fonte de água para animais silvestres.

Diante disso, diversos tipos de tratamentos podem ser utilizados para adequação da água produzida. Assim, esse trabalho tem como objetivo, realizar um levantamento bibliográfico referente aos diversos métodos que podem ser utilizados para o tratamento da água produzida de petróleo.

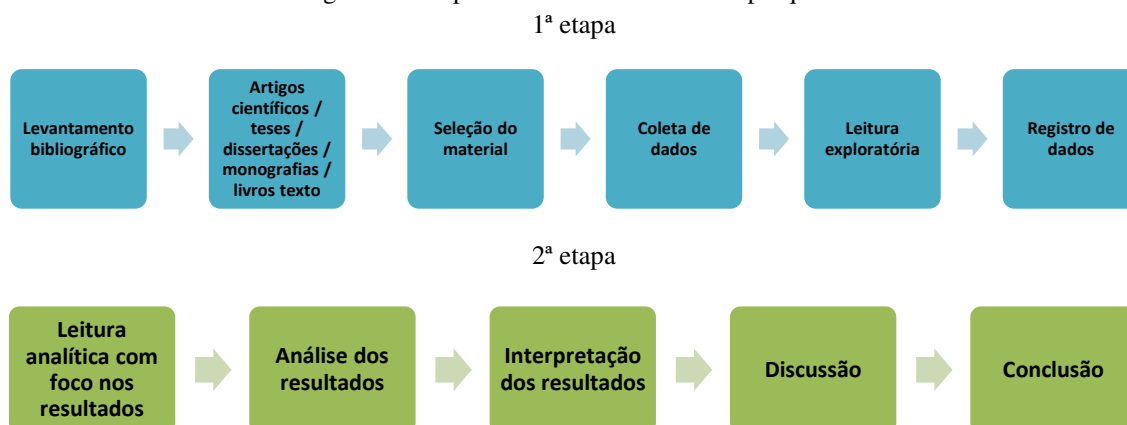
2. Metodologia

Este é um estudo de revisão desenvolvido por meio do levantamento de dados em produção científica indexada nas seguintes bases eletrônicas de dados: SCIELO, SCIENCE DIRECT e bancos de teses e dissertações de instituições de ensino superior, além de livros, revistas e monografias especializadas no tema.

Buscou-se utilizar livros-textos que apresentam a temática principal deste estudo como suporte no entendimento do conceito e aplicabilidade das técnicas de tratamento de água produzida. Após o levantamento das informações, procedeu-se com a análise dos dados.

O desenvolvimento do trabalho baseou-se na metodologia utilizada por Cabral e Santos (2019), dividindo-se a pesquisa em duas etapas, descritas no fluxograma apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Etapas de desenvolvimento da pesquisa.



Fonte: Produzido pelo autor.

3. Resultados e Discussão

O petróleo é uma mistura de hidrocarbonetos cujas características variam amplamente em função de suas condições geológicas de formação, as quais originam diferentes tipos de óleo com características diversas, podendo ser predominantemente parafínico, naftênico ou aromático, além de apresentar compostos sulfurados, nitrogenados, oxigenados e metais. O petróleo bruto está comumente acompanhado por quantidades variáveis de substâncias as quais não fazem parte da sua composição, como a água, matéria inorgânica e gases (SILVA et al., 2019).

Segundo Gomes (2017), são muitos os efluentes gerados nas atividades de exploração e produção de petróleo que podem ser descartados no mar, no caso das operações *offshore*, em outros corpos hídricos ou até mesmo diretamente no solo, quando se tratam de atividades *onshore*. Os efluentes são gerados em diversas atividades de rotina e de acordo com a

especificidade de cada uma delas, apresentarão características diferenciadas que podem representar riscos de degradação da qualidade ambiental quando em contato com o meio ambiente.

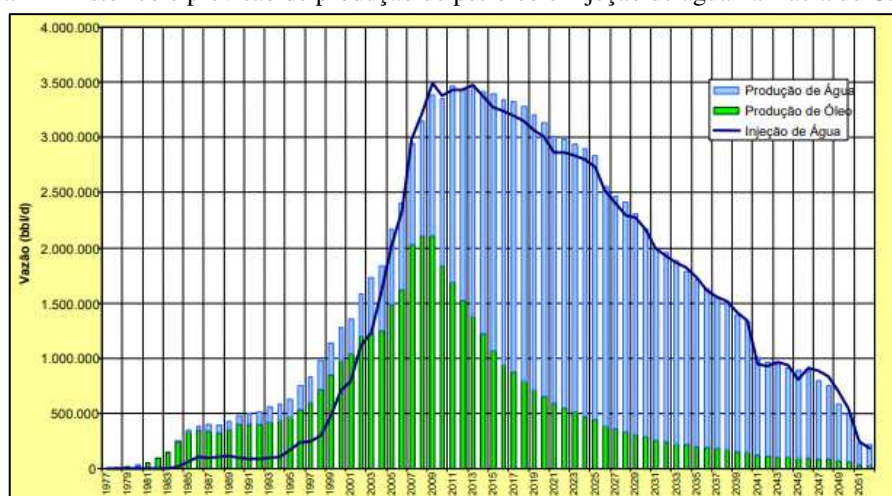
O efluente aquoso produzido, extraído junto ao petróleo, é denominado de água produzida, logo, adentra-se aos inúmeros processos contidos no tratamento desse efluente desde sua origem ao produto final.

A proporção água/óleo na produção de um poço varia ao longo de sua vida produtiva. No início, essa proporção é normalmente baixa, porém, com o avanço da produção, essa proporção aumenta consideravelmente (GABARDO, 2007). A quantidade de água produzida associada com o petróleo pode alcançar 50% em volume e próximo de 100% ao fim da vida econômica dos poços (THOMAS, 2004).

Quando a produção de petróleo é acompanhada de elevados teores de água, diz-se que o campo é maduro, sendo este teor avaliado pelo ensaio de BS&W (*Basic Sediment and Water*) que determina também o teor de sedimentos (SILVA et al., 2007).

Na Figura 2 apresenta-se um histórico e a previsão de produção e injeção de água num sistema produtor típico da Bacia de Campos.

Figura 2 – Histórico e previsão de produção de petróleo e injeção de água na Bacia de Campos.



Fonte: Silva et al. (2007).

É possível verificar na Figura 2, que no início da produção de petróleo, praticamente não havia produção de água. No entanto, com o passar dos anos, a obtenção de água produzida foi crescendo de forma superior em relação a produção de petróleo e a estimativa para até 2015 é que esse comportamento se mantenha, corroborando com o amplamente citado em literatura.

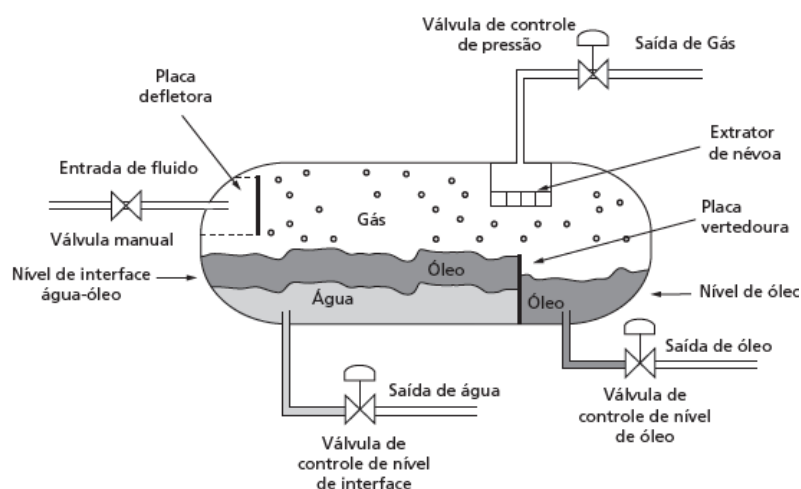
3.1 Água Produzida e Seus Impactos

Entre os aspectos da água produzida que merecem atenção estão os seus elevados volumes e a complexidade da sua composição, que fazem com que o seu gerenciamento requeira

cuidados específicos, não apenas relacionados com aspectos técnicos e operacionais, mas, também, os ambientais (AMINI et al., 2012).

A origem básica da água produzida, juntamente com o petróleo, está relacionada as condições ambientais existentes durante a gênese deste óleo e é gerada como subproduto da produção de petróleo e gás durante o processo de separação, uma vez que esses fluidos passam pelo processamento primário (esquemáticamente apresentado na Figura 3) para que possam se transformar em produtos comerciais. As alternativas usualmente adotadas para o seu destino são o descarte, a reinjeção e o reuso. Em todos os casos, há necessidade de tratamento específico a fim de atender as demandas ambientais, operacionais ou da atividade produtiva que a utilizará como insumo. Um dos objetivos do tratamento é a remoção de óleo, que pode estar presente na água sob as formas livre e em emulsão (ou emulsionada). Dessas três, o óleo sob a forma emulsionada é a que mais preocupa, devido ao elevado grau de dificuldade encontrado para a sua remoção (MOTTA et al., 2013).

Figura 3 – Separador trifásico horizontal, equipamento utilizado no processamento primário do petróleo.



Fonte: Souza (2010).

Através da Figura 3, de acordo com Souza (2010), ao entrar no vaso e chocar-se com o defletor de entrada (placa defletora), o petróleo produzido sofre mudança brusca de velocidade e direção, fazendo o gás se desprender do líquido, que se precipita para o fundo do vaso. A parcela do gás e as bolhas de gás que se separam mais lentamente do líquido acumulado no fundo, seguem para a saída na parte superior do vaso, onde deixam aglutinadas, no meio poroso do extrator de névoa, as gotículas de líquido arrastadas, seguindo por uma tubulação de saída. As gotículas de líquido em suspensão na corrente de gás no interior do vaso, mais as retidas no extrator de névoa, são recuperadas por gravidade para o fundo do equipamento. Por diferença de densidade e pela ação da gravidade, durante certo tempo de retenção do líquido no interior do vaso, a água se separa do óleo.

A presença de água em conjunto com o petróleo gera alguns problemas nas etapas de produção, transporte e refino. Com relação à produção e ao transporte, o principal inconveniente é a necessidade de um superdimensionamento nas instalações de coleta, armazenamento e transferência, incluindo todos os equipamentos da planta, como bombas, linhas, tubulação, entre outros. Devido à presença de diversos compostos químicos e de microrganismos, a água de produção torna-se altamente danosa à tubulação e aos equipamentos pelos quais ela passa (BRASILEIRO; VILAR; TONHOLO, 2005).

Apesar dos problemas associados à produção conjunta da água e do petróleo, ambos possuem uma elevada imiscibilidade, o que facilita em parte o seu processo de separação. O óleo produzido é separado e dele são retirados água, sais e sólidos presentes. A partir daí, envia-se o óleo para a etapa de refino. A água que contém outros rejeitos e óleo residual é tratada e dada um destino final (SANTIAGO, 2009).

Conforme Vieira (2011), utilizar indevidamente a água produzida acarreta em efeitos nocivos ao meio ambiente, que relaciona desde a poluição de corpos d'água e contaminação de aquíferos a danos ao solo, à fauna, à flora, à saúde humana e danos à própria produção.

A água produzida é, pelo menos, quatro vezes mais salgada que a água do mar e geralmente contém certa quantidade de toxinas, metais pesados e radioatividade, dependendo da formação geológica de onde foi retirada (FARAG; HARPER, 2014).

Problemas ao ser humano também podem ser danosos se houver contato com a água produzida, que vão desde doenças de pele, irritações e dermatites até intoxicação grave se for ingerida. Podem inclusive afetar animais, causando até a morte (VIEIRA, 2011).

Desta forma, é notória a necessidade de tratamento da água produzida devido os diversos efeitos que pode causar para vida humana e animal. Para tanto, fazemos valer de diversos métodos para o seu tratamento, apresentados a seguir.

3.2 Métodos de Tratamento

Tratar a água produzida é necessário e evidente para que se atenda aos requisitos e padrões exigidos pelas legislações ambientais.

De acordo com Motta et al. (2013), a alternativa a ser adotada para tratamento e destino da AP depende de vários fatores, tais como:

- Localização da base de produção;
- Legislação;
- Viabilidade técnica;
- Custos;
- Disponibilidade de infraestrutura e de equipamentos.

No Quadro 1, verifica-se a legislação adequada ao tipo de água a ser tratada.

Quadro 1 – Legislação aplicada para o uso da água produzida.

<i>Tipo</i>	<i>Resolução aplicável</i>	<i>Parâmetro monitorado</i>	<i>Especificação requerida</i>
Descarte por plataformas marítimas	Resolução CONAMA nº 393 (Brasil, 2007)	TOG (Teor de Óleos e Graxas)	Máximo permitido mensal 29 mg.L ⁻¹ Máximo permitido diário 42 mg.L ⁻¹
Injeção em poços de petróleo	Resolução CONAMA nº 393 (Brasil, 2007)	TOG (Teor de Óleos e Graxas)	Máximo permitido 5 mg.L ⁻¹
Descarte em corpos receptores	Resolução CONAMA nº 357 (Brasil, 2005)	TOG (Teor de Óleos e Graxas)	Máximo permitido 20 mg.L ⁻¹

Os principais métodos aplicados no tratamento da água produzida estão classificados em dois tipos: métodos convencionais e não convencionais.

Na relação dos métodos convencionais citam-se:

- **Separadores gravitacionais:** Adequado para separação da fração de óleo que se encontra na forma livre, consistindo no escoamento horizontal da AP por grandes tanques de decantação, possibilitando que o óleo livre e os sólidos decantáveis sejam separados por ação da gravidade e a fase aquosa removida.
- **Flotação:** Geram bolhas gasosas no interior da água produzida, onde as mesmas colidem e aderem nas gotículas de óleo dispersas na água, reduzindo a densidade desses agregados e promovendo a ascensão do óleo.
- **Hidrociclones:** São utilizados equipamentos que permitem a formação de um escoamento em espiral, gerando um campo centrífugo no seu interior que, em função da diferença de densidade entre as fases, promove a separação do óleo disperso.

Outra classe de tratamento, são os chamados métodos não convencionais, que podem ser:

- **Tratamentos químicos:** Os processos químicos possuem uma larga escala de aplicação no tratamento da água produzida, atuando, sobretudo, na desestabilização do óleo finamente dissolvido. Os princípios mais comuns são a precipitação e a oxidação química, processos eletroquímicos, tratamentos fotocatalíticos, dentre outros.
- **Tratamentos biológicos:** Os processos biológicos aplicados no tratamento de água utilizam tanto microrganismos aeróbicos, como microrganismos anaeróbicos. São úteis na remoção de compostos orgânicos e amônia, visto que metabolizam estes contaminantes. Entretanto, são ineficazes no tratamento de sólidos dissolvidos.
- **Tratamentos por membranas:** Os principais processos de separação de membranas são a microfiltração, a ultrafiltração, a nanofiltração e a osmose inversa. Deste modo, indaga-se que a microfiltração separa partículas suspensas, a ultrafiltração separa macromoléculas, a nanofiltração separa íons multivalentes e a osmose inversa separa componentes iônicos dissolvidos. Contudo, para que ocorra a separação, o fluido deve ser encaminhado através das membranas por meio de uma força motriz sendo a mesma proveniente de um potencial elétrico, de pressão de vapor ou de pressão hidráulica. Em

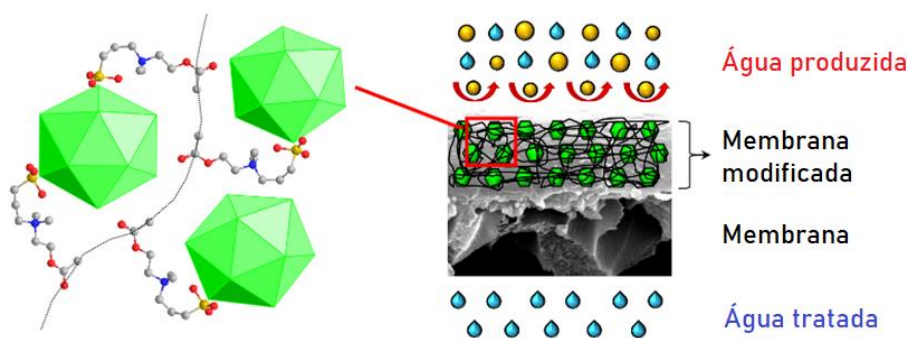
suma, constata-se que a pressão hidráulica é a força motriz mais aplicada no processo de tratamento da água produzida.

Alguns dos métodos mais utilizados para lidar com o fluxo de resíduos são a reinjeção no poço, o descarte direto ou a reutilização da água. Constata-se que o meio mais eficiente é a reinjeção em poços, dado circunstancialmente pelo reaproveitamento da água produzida, possibilitando assim a maior recuperação do petróleo.

Conforme mencionado por Itaparica e Silva (2018), a técnica de injeção de água não só mantém a pressão no reservatório como também aumenta a pressão no interior dos poros e consequentemente ajuda no arraste do óleo na rocha, deslocando o petróleo do sentido do poço injetor para o poço produtor.

Modi, Jiang e Kasher (2022), desenvolveram uma membrana de ultrafiltração com camada de ZIF-8 com propriedades anti-incrustante a serem utilizadas na filtração de água produzida de petróleo. O método empregado contou com uma membrana de poliacrilonitrila e uso de hidrogel de metacrilato. A hidroestabilidade foi alcançada através das interações de coordenação entre os grupos sulfonatos do hidrogel, carregados negativamente, e as nanopartículas ZIF-8, carregadas positivamente. Em comparação com a membrana pura, a membrana modificada apresentou maior hidrofiliicidade, menor rugosidade superficial e sua permeabilidade à água pura foi 13% maior. Desta forma, os pesquisadores comprovaram que a membrana modificada exibiu propriedades anti-incrustantes excepcionalmente maiores comparadas à membrana sem tratamento. Na Figura 4, apresenta-se esquematicamente o mecanismo anti-incrustante da membrana.

Figura 4 – Mecanismo anti-incrustante da membrana.



Fonte: Adaptado de Modi, Jiang e Kasher (2022).

Utilizando o método de inversão de fase, Yogarathinam et al. (2022), prepararam membrana à base de biopolímero incorporada com celulose e objetivaram utilizar este material na filtração de água produzida do petróleo. As análises morfológicas e de espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier (FTIR) do material preparado evidenciou a formação de estrutura fibrosa em forma de folha, que apresentou uma recuperação máxima de água de 73,33%, alcançado em 2 h de filtração de solução óleo/água sintética.

4. Considerações finais

A busca por novos processos de tratamento da água produzida é particularmente importante quando se verifica que a produção de petróleo tem aumentado consideravelmente ao longo dos anos. Segundo dados da ANP (2020), o volume de petróleo produzido no mundo em 2019 manteve-se praticamente estável em relação a 2018, passando de 95,3 milhões de barris/dia para 95,2. Já o Brasil, que ocupa a 10ª posição de maior produtor de petróleo, após o crescimento de 7,4% no volume de petróleo produzido, totalizou 2,9 milhões de barris/dia (3% do total mundial).

A geração de água produzida está associada a produção de petróleo e vêm aumentando ao longo dos anos. Assim, seu gerenciamento inadequado implica em efeitos nocivos ao meio ambiente, que podem estar associados à poluição de corpos d'água, contaminação de aquíferos, danos ao solo, e também, danos à produção.

O tratamento da água produzida é inevitável para que se adeque aos regulamentos ambientais e esteja apta para uso posterior à sua produção, seja para descarte ou reaproveitamento. Assim, a utilização de novos materiais e processos de tratamento vêm se tornando uma alternativa aos tratamentos convencionais.

Através das informações reunidas neste trabalho, observou-se a importância e necessidade do tratamento eficaz da água produzida.

5. Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro do Programa de Recursos Humanos da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (PRH-ANP), através do Programa de Recursos Humanos em Petróleo e Meio Ambiente da Universidade Federal da Bahia (PEMA/UFBA) – PRH/ANP 36.

Referências

- AMINI, S.; MOWLA, D.; GOLKAR, M.; ESMAEILZADEH, F. (2012). Mathematical modelling of a hydrocyclone for the down-hole oil-water separation (DOWS) *Chemical Engineering Research and Design*, 90(12), 2186–2195. <https://doi.org/10.1016/j.cherd.2012.05.007>
- Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis: 2020 (testimony of ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (Brasil)). Retrieved March 28, 2022, from <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-abertos/anuario-estatistico-2020-dados-abertos#:~:text=O%20Anu%C3%A1rio%20Estat%C3%ADstico%20Brasileiro%20do,nacionais%20no%20per%C3%ADodo%202010%2D2019>.
- BRASILEIRO, I. M. N.; VILAR, E. O.; TONHOLO, E. B. C. J. (2005). *Eletrooxidação do fenol presente em águas de produção de campos de petróleo*. 3, 6. <https://docplayer.com.br/123317618-Eletrooxidacao-do-fenol-presente-em-aguas-de-producao-de-campos-de-petroleo.html>
- CABRAL, R. C.; SANTOS, D. F. (2019, June 14). Estudo das principais técnicas para o tratamento de água produzida de petróleo. uma análise das principais metodologias utilizadas em campo. *Caderno de Graduação - Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIT - ALAGOAS*(2), 175–184. <https://periodicos.set.edu.br/fitsexatas/article/view/6782>
- Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*, (testimony of BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA N° 357, de 17 de março de 2005). Retrieved March 28, 2022, from http://pnqa.ana.gov.br/Publicacao/RESOLUCAO_CONAMA_n_357.pdf
- Dispõe sobre o descarte contínuo de água de processo ou de produção em plataformas marítimas de petróleo e gás natural, e dá outras providências*. *Diário Oficial da União, Brasília, DF, 9 de agosto de 2007*, (testimony of BRASIL. Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 393 de 8 de agosto 2007). Retrieved March 28, 2022, from https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2018/08/CONAMA_RES_CONS_2007_393.pdf
- FARAG, A. M.; HARPER, D. D. (2014). A review of environmental impacts of salts from produced water on aquatic resources *International Journal of Coal Geology*, 126(2014), 157–161. <https://doi.org/10.1016/j.coal.2013.12.006>
- GABARDO, I. T. (n.d.). *Caracterização química e toxicológica da água produzida descartada em plataformas de óleo e gás na costa brasileira e seu comportamento dispersivo no mar* [Tese de Doutorado, Programa de Pós-Graduação em Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. Retrieved March 28, 2022, from <https://repositorio.ufrn.br/jspui/handle/123456789/17798?mode=full>
- GOMES, A. P. P. (n.d.). *Gestão ambiental da água produzida na indústria de petróleo: melhores práticas e experiências internacionais*. [Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro]. Retrieved March 28, 2022, from http://www.ppe.ufrj.br/images/publica%C3%A7%C3%B5es/mestrado/Ana_Paula_Pereira_Gomes.pdf
- ITAPARICA, R. J.; SILVA, I. C. (2018). *Recuperação secundária de petróleo por injeção de água produzida*. 3, 8. <https://www.editorarealize.com.br/artigo/visualizar/44097>
- MODI, A.; JIANG, Z.; KASHER, R. (2022). Hydrostable ZIF-8 layer on polyacrylonitrile membrane for eficiente treatment of oilfield produced water. *Chemical Engineering Journal*, 434(2022), 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2021.133513>
- MOTTA, A. R. P.; BORGES, C. P.; KIPERSTOK, A.; ESQUERRE, K. P.; ARAÚJO, P. M.; BRANCO, L. P. N. (2013). Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 18(1), 15–26. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522013000100003>

- SALES, C. M. R.; ARAÚJO, I. R.; AZEVEDO, L. B.; CORTES, J. M. R. (2013). *Análise da redução de custos com a implantação de hidrociclones em uma plataforma da bacia de campos*, 23. https://www.inovarse.org/artigos-por-edicoes/IX-CNEG-2013/T13_0596_3579.pdf
- SANTIAGO, R. C. (2009). *Rejeito de xisto como adsorvente para remoção de fenol em águas produzidas na indústria de petróleo* [Dissertação de Mestrado, Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia do Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte]. https://repositorio.ufrn.br/bitstream/123456789/12908/2/RejeitoXistoAdsorvente_Santiago_2009.pdf
- SILVA, T. C.; TAMIASSO-MARTINHON, P.; SOUZA, J. M. T.; SOUSA, C.; ROCHA, A. S. (2019). *Breve revisão sobre água produzida*. 11, 5. <http://www.meioambientepocos.com.br/Trabalhos%20Cient%C3%ADficos/Qu%C3%ADmica%20Ambiental/287.%20BREVE%20REVIS%C3%83O%20SOBRE%20%C3%81GUA%20PRODUZIDA.pdf>
- SILVA, A. L. F.; SOUZA FILHO, J. E.; RAMALHO, J. B. V.; MELO, M. V.; LEITE, M. M.; BRASIL, N. I.; PEREIRA JUNIOR, O. A.; OLIVEIRA, R. C. G.; ALVES, R. P.; COSTA, R. F. D.; KUNERT, R.; GOMES, W. (n.d.). Processamento Primário de Petróleo. In *Processamento Primário de Petróleo*. Recursos Humanos, Universidade Petrobras, Escola de Ciências e Tecnologias E&P. Retrieved March 28, 2022, from <https://engenhariaquimica.files.wordpress.com/2010/04/apostila-ppp.pdf>
- SOUZA, L. A. (n.d.). Noções de processamento primário de petróleo. In *Apostila Programa Alta Competência*. Petrobras. Retrieved March 28, 2022, from <https://engenhariaquimica.files.wordpress.com/2010/04/apostila-ppp.pdf>
- THOMAS, J. E. (n.d.). *Fundamentos de Engenharia de Petróleo 2a Ed.* Interciência - Petrobras. Retrieved March 28, 2022, from <https://docplayer.com.br/62298489-Fundamentos-de-engenharia-de.html>
- VIEIRA, V. M. (n.d.). *Água produzida no Segmento onshore de petróleo—caracterização de cenários na Bahia e prospecção de soluções para gerenciamento*. [Dissertação de Mestrado. Centro de Pesquisa em Geofísica e Geologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia]. Retrieved March 28, 2022, from [https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/21569/1/Tese%20-%20Victor%20Menezes%20Vieira%20\(pos-defesa\)%20FINAL.pdf](https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/21569/1/Tese%20-%20Victor%20Menezes%20Vieira%20(pos-defesa)%20FINAL.pdf)
- YOGARATHINAM, L. T.; GOH, P. S.; ISMAIL, A. F.; GANGASALAM, A.; AHMAD, N. A.; SAMAVATI, A.; MAMAH, S. C.; ABIDIN, M. N. Z.; NG, B. C.; GOPAL, B. (2022). Nanocrystalline cellulose incorporated biopolymer tailored polyethersulfone mixed matrix membranes for efficient treatment of produced water. *Chemosphere*, 293(2022), 1–10. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.133561>