

Água produzida na indústria petrolífera: Problemas ambientais, técnicas de tratamentos e reaproveitamentos

DOI: 10.5281/zenodo.13052045

Vinícius Neibert Bezerra^{a*}

The petrochemical industry is a major focus of criticism due to its environmental impacts, one of which is the by-product of oil and gas extraction, the complex and polluting fluid called produced water. In that regard, the produced water is responsible for several environmental impacts, which, combined with the current global water crisis, requires proper treatment of this stream. Therefore, several physical and chemical treatment methods were explored, in addition to an approach to reusing this water for various purposes.

A indústria petroquímica é um dos grandes focos de críticas devido aos seus impactos ambientais, entre um deles, está o subproduto da extração do petróleo e gás, o complexo e poluente fluido denominado água produzida. Nesse sentido, a água produzida é responsável por diversos impactos ambientais, o que aliado à atual crise hídrica mundial, exige um devido tratamento dessa corrente. Desse modo, diversos métodos físicos e químicos de tratamento foram explorados, além de uma abordagem em relação ao reaproveitamento dessa água para diversos propósitos.

^aUniversidade de Brasília (UnB). Campus Darcy Ribeiro. Instituto de Química (IQ/UnB).

*E-mail: neibert.vinicius@gmail.com

Palavras-chave: Água produzida; indústria petrolífera; tratamento de água.

Aceito em 25 de maio de 2024,

Aprovado em 16 de julho de 2024,

Publicado em 31 de julho de 2024.

Introdução

No contexto da indústria de óleo e gás, o termo “água produzida” (AP) refere-se à água extraída juntamente com o petróleo e gás durante o processo de extração, que é um fluido residual de complexa e variável composição. As correntes de águas produzidas estão entre os maiores fluxos de águas residuais em todos os processos da indústria petrolífera. Elas podem ser captadas durante o processo de extração, tendo como fonte a água do mar ao redor do poço, no qual obtém-se uma mistura principalmente de óleo e água. Além disso, há também a injeção de água no poço, que consequentemente também compõe a corrente em questão.¹

Nessa perspectiva, foi observado nos Estados Unidos da América, para o ano de 2021, que o total de águas produzidas do país, somando-se as produções tanto de óleo quanto de gás, atingiu o valor de cerca de 25,86 bilhões de barris. Este valor representa um aumento de 6,02% no total produzido em 2017 (1,5 bilhão de barris a mais). Nesse viés, é observado para as plataformas offshore que a maior parte do fluxo de resíduos durante a produção de petróleo e gás é justamente da água produzida, chegando a representar o valor de 80% de todas as correntes de resíduos produzidos nas operações do gás natural. Ademais, conforme o poço é explorado, a razão de água para óleo é modificada, o que gradativamente também aumenta a corrente obtida de água produzida, de forma a poder atingir cerca de 98% de água

produzida para campos com produção de 2% de combustíveis fósseis.^{2, 3, 4}

A indústria petrolífera tem sido foco de discussão devido aos grandes impactos ambientais ao longo de todo o ciclo de vida dos produtos derivados do petróleo, englobando sua extração, processo, uso e descarte. Quanto às águas produzidas, anualmente, há seu indevido descarte nos oceanos. Esses fluidos são compostos por hidrocarbonetos poliaromáticos e outros compostos que poluem o ambiente marítimo, sendo observadas alterações biológicas e danos no DNA em animais como o mexilhão e o bacalhau no Atlântico. Nesse sentido, o ser humano também é indiretamente afetado, pois ocorre o processo de bioacumulação desses compostos, o que pode resultar em uma exposição humana aos hidrocarbonetos poliaromáticos, que possuem um potencial carcinogênico aos seres humanos.^{5, 6}

É importante observar que a problemática não envolve apenas a poluição causada por essas substâncias químicas, visto que neste processo, há também o desperdício de água que poderia ter sido tratada e reutilizada para outra função. Atualmente, o mundo enfrenta uma crise hídrica que se intensifica gradualmente. Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2023 da UNESCO, projeta-se até 2050 que a escassez de água impactará entre 1,7 e 2,4 bilhões de pessoas

no mundo, sendo que em 2016, este número estava na faixa de 930 milhões de pessoas.⁷

Dessa forma, observa-se tanto o potencial poluidor dessas correntes, quanto a falta de aproveitamento da água presente nesse fluido, principalmente em meio à crise hídrica. Apesar dos avanços e inovações para substituição dos combustíveis fósseis, o fato é que essa indústria ainda é essencial ao mundo. Nessa perspectiva, tendo em vista o papel dessa indústria mundialmente, é crucial o correto tratamento e reúso das águas produzidas, que atingem grandes volumes dentro do processo em questão, a fim de tentar tornar menos maléfica ao meio ambiente uma indústria que já é responsável por tantos impactos ambientais.

Nesse sentido, o artigo de referência "*Produced water characteristics, treatment and reuse: A review*"⁸ desenvolveu uma análise a respeito das características e composições gerais dessas correntes. Além disso, explorou algumas das diversas opções de tratamentos das águas produzidas, que são divididas primordialmente em métodos químicos, físicos e biológicos. Por fim, também abordou as opções de reúso dessa água e alguns estudos de caso desenvolvidos em relação a esse tema.⁸

Ao longo dessa resenha, será fornecida uma visão ampla da composição geral das águas produzidas e algumas alternativas para seu reúso. Quanto às técnicas de tratamento dessa corrente, serão explorados os métodos químicos de precipitação, de oxidação química e técnicas eletroquímicas, e os métodos físicos de filtração, de eletrodialise, de flotação e de adsorção. Ao final, será feita uma análise geral a respeito das águas produzidas, seus tratamentos e formas de reúso a fim de que a indústria de petróleo e gás seja menos prejudicial ao meio ambiente e não agrave a atual crise hídrica.

Metodologia

A metodologia utilizada pelo texto de referência⁸ foi uma extensa procura, estudo e escolha de artigos de referência que abordam as técnicas de tratamento viáveis às águas produzidas, as composições e características desses fluidos, as formas de reutilização e os estudos de casos vigentes na literatura atualmente. Por fim, com o estudo completo do assunto em questão, teceu sua análise a respeito dos pontos e fatos abordados no tema.

Resultados e discussão

A composição da água produzida varia bastante, sendo uma mistura de compostos orgânicos e inorgânicos, solúveis e insolúveis. Nesse sentido, as principais substâncias geralmente presentes na água são o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs), fenóis, óleos e graxas, ácidos orgânicos, alguns sais, aditivos químicos, compostos orgânicos e inorgânicos, como alguns metais e íons presentes, entre outras substâncias.⁸

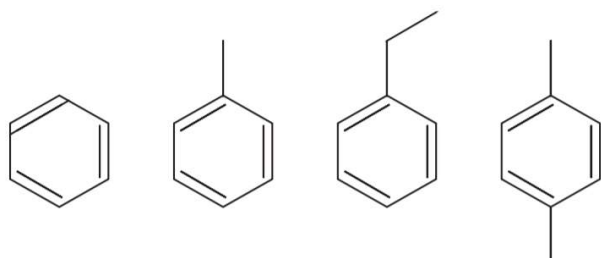
Dentre os íons inorgânicos, o cloreto é o ânion mais abundante, de formar representar 97% de todos os ânions em poços convencionais. Já para os não convencionais, há predominância dos íons bicarbonato (66%) e cloreto (32%) em relação ao total de ânions. Na perspectiva da composição dos cátions presentes, o sódio é o principal em ambos tipos de poços, representando 81% e 90% do total de cátions para os poços convencionais e não convencionais, respectivamente. Para águas produzidas de alta teor de salinidade, há presença de outros íons relevantes, como íons sulfato e sulfeto, que podem formar compostos insolúveis dependendo das condições reacionais.^{9, 10}

Quanto à presença de óleos e graxas na água produzida, foi reportado em um estudo o intervalo de 6 a 60 mg/L para esses compostos. Enquanto que para outro estudo foram vistos valores mais altos, de 40 a 2000 mg/L. Em relação à proporção de metais presentes, comparando-se à composição da água do mar, é observada maior presença dos metais manganês, zinco, ferro, bário e mercúrio.⁸

Outros compostos presentes em quantidades significantes também são o benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos, que formam o grupo de hidrocarbonetos aromáticos voláteis BTEX (Figura 1). Dentre um dos estudos a respeito da concentração dessas substâncias na água produzida, foi observada a concentração de 0,44 a 2,80 mg/L de benzeno, tendo menores valores para tolueno, xileno e etilbenzeno. Os BTEXs, assim como outras substâncias presentes nessa corrente, precisam receber grande atenção devido às suas perigosas propriedades. Esses compostos são altamente tóxicos e alguns são também cancerígenos, como no caso do benzeno, sendo um risco para trabalhadores que ficam em indevido contato com essas substâncias, como frentistas e funcionários de indústrias petroquímicas, que em alguns casos adquirem problemas de saúde devido a essas exposições. Por último, são tóxicos à vida aquática e possuem grande capacidade contaminante e poluente nos solos, no ar e nas

águas, com especial atenção ao benzeno, visto que é considerado um poluente orgânico persistente, assim tendo longo tempo de persistência no meio ambiente que ele atinge.^{8, 11}

Figura 1. Estrutura dos compostos do grupo BTEX, benzeno, tolueno, etilbenzeno e p-xileno, respectivamente.



Assim, tendo em vista a composição geral das águas produzidas, observa-se que é uma mistura muito complexa com vários componentes e com concentrações variáveis dependendo de todas as circunstâncias da extração. Nesse contexto, há diversas opções de tratamento químico, físico e também biológico para esse fluido, no qual se determina qual é o mais eficiente, econômico e ideal em uma análise caso a caso.

Para os principais tratamentos químicos, tem-se o método mais convencional para águas produzidas: a precipitação. Em estudos com essa técnica, foi observado que o uso de coagulantes e floculantes, como polímeros de magnésio, alumínio e ferro possui grande eficiência para remoção de contaminantes. Dessa forma, um estudo com esse método revelou que os óleos e sólidos suspensos podem ser removidos em até 97% com o uso desses agentes coagulantes.^{8, 12}

Há também o método de oxidação química, que se baseia em reações de oxirredução na água produzida. É relatada uma boa eficácia do uso de catalisadores e oxidantes fortes para o processo de decomposição de impurezas orgânicas. Para isso, utiliza-se agentes oxidantes como peróxido, oxigênio, cloro e ozônio. Em uma análise global dessa técnica, têm-se como principais vantagens o fato de não exigir pré-tratamento, uma elevada taxa de recuperação da água (até 100%), a não produção de resíduos e a exigência mínima de equipamentos para esse processo.^{8, 13}

Por fim, para os principais tratamentos químicos, têm-se também o grupo dos métodos eletroquímicos, que

engloba técnicas como eletrodeposição, eletrólise da água, célula de combustível, fotocatalise, fotoeletrolise e fotoeletrocatalise. Nesse viés, os métodos eletroquímicos são vistos como o futuro no tratamento de água produzida, visto que apresentam características favoráveis à sua implementação, como não produzir resíduos secundários, não exigir substâncias químicas adicionais e, principalmente, o fato de ser tecnologias de relativamente baixo custo e mais ambientalmente corretas comparadas aos outros métodos. Como exemplo de pesquisa desenvolvida com essa técnica, foi relatado que o uso do método de fotocatalise com semicondutores possui a capacidade de remover os hidrocarbonetos da água produzida em 90% em um intervalo de tempo de 10 minutos.^{13, 14}

Entre os métodos físicos para o tratamento das águas produzidas, a mais comum e simples é a filtração. Normalmente, utiliza-se a areia como meio filtrante a fim da remoção das impurezas devido à sua boa eficiência, baixo custo e grande disponibilidade. Entretanto, há outros materiais porosos como brita e carvão ativado, além de filtrações alternativas, como filtração por membranas, que utilizam a celulose, nylon, poliéster, entre outros meios filtrantes. Dentre as várias pesquisas com esses métodos, foi relatado que a filtração por areia foi responsável por reduzir o teor de óleos e graxas em 95,8% na água produzida. Em outro estudo, foi visto que a combinação da filtração com areia com a técnica de ozonização foi capaz de reduzir o teor de óleo em até 20 mg/L e alterar o parâmetro COD (demanda química de oxigênio) da água produzida de 320 mg/L para 102 mg/L.^{8, 15, 16}

Nesse contexto, há também os métodos de eletrodialise e eletrodialise reversa, que se baseiam na separação e migração dos cátions e ânions do fluido para direções opostas pelo uso de corrente elétrica e de membranas seletivas sequenciais. Para águas produzidas, ainda não é uma técnica bem estabelecida, pois apresenta excelente capacidade de remoção de sais, entretanto, outros compostos como metais pesados, óleos, algumas moléculas orgânicas e outros poluentes não apresenta boa remoção.⁸

Outro método a ser abordado é a flotação, que utiliza bolhas de gás no fluido para a separação de partículas suspensas em solução. Utiliza-se ar, gás nitrogênio e outros gases inertes e a técnica se subdivide basicamente em flotação com gás induzido (IGF) e flotação com gás dissolvido (DGF). Nesse sentido, a técnica é capaz de reduzir o teor de sólidos suspensos, de óleo e de compostos orgânicos voláteis (VOC). Desse modo, foi observado com esse método que ele

apresenta capacidade de remover os óleos da água produzida em até 93%.^{8, 17}

Por último, tem-se o método de adsorção, que é tido como uma das melhores técnicas de tratamento de água. Diversos compostos presentes na água produzida podem ser removidos por adsorção, como petróleo, contaminantes orgânicos, compostos BTEX, manganês e metais pesados (em mais de 80%). Dentre os principais adsorventes utilizados, tem-se o carvão ativado, um adsorvente eficiente, simples e barato que apresenta excelente área superficial e estrutura porosa, além de alta reatividade superficial e capacidade de adsorção, e é também capaz de remover matérias orgânicas, mercúrio, cádmio, compostos orgânicos sintéticos e compostos BTEX. Em diversos estudos é visto grande eficiência com carvão ativado, como por exemplo, foi relatada remoção de 85% de metais pesados e quase 100% de recuperação da água produzida com essa técnica. Ademais, para o uso de adsorventes obtidos de fontes orgânicas, como cascas de banana e de ovo, e também para o grafite esfoliado, é visto a remoção total (100%) de óleos e poluentes orgânicos.^{8, 18}

Nessa perspectiva, é observado que há diversas técnicas possíveis para o tratamento da água produzida. Além dos métodos físicos e químicos, é possível citar também os métodos biológicos, como o lodo ativado e os filtros biológicos aerados. A partir do devido estudo e análise de cada caso da melhor técnica para tratamento desse subproduto, obtém-se uma água que poderá ser reutilizada para diversas funções, dependendo da qualidade e composição dessa água obtida. Essa possibilidade de reuso é crucial em meio à crise hídrica mundial, porém é realizada apenas para casos que sigam as exigências de qualidade para cada uso. Dessa forma, estando conforme o devido padrão exigido, essa água poderá ser reaproveitada para usos como água para gado, controle de incêndio, utilizações industriais, geração de energia, irrigação e, dependendo da qualidade do tratamento da água, até mesmo como água potável para consumo humano.⁸

Conclusões

Em síntese, observa-se que há excelentes alternativas para a destinação dada por algumas indústrias petroquímicas à água produzida obtida no processo de extração do petróleo e gás, no caso esta sendo muitas vezes o oceano. Nesse sentido, é visto que essa corrente de água produzida possui uma

elevada capacidade destrutiva e poluente para o meio ambiente, sendo essencial o seu tratamento.

Além disso, é preciso ressaltar a multiplicidade de formas de tratamento disponíveis para as águas produzidas, assim como vários possíveis reaproveitamentos para essa água tratada, dessa forma, não sendo tão restritivo e exigente para um tratamento que produza, por exemplo, apenas água potável. Nessa resenha, foram abordados apenas os métodos de precipitação, de oxidação química, técnicas eletroquímicas, de filtração, de eletrodialise, de flotação e de adsorção, porém há diversas opções para seu tratamento, o que possibilita então o seu correto reuso.

Contribuições por Autor

A resenha sobre o artigo em referência e a inclusão de algumas observações são de Vinícius Neibert Bezerra.

Conflito de interesse

Não há conflito de interesses.

Agradecimentos

Ao grupo PET-Química/IQ/UnB, à Secretaria de Educação Superior do Ministério da Educação (SeSU/MEC) e ao Decanato de Ensino de Graduação (DEG/UnB) pelo apoio ao Programa de Educação Tutorial pela bolsa concedida. Ao Instituto de Química (IQ/UnB) e à Universidade de Brasília pelo suporte e espaço fornecidos.

Notas e referências

- 1 What is produced water?, <https://www.americangeosciences.org/critical-issues/faq/what-produced-water>, (accessed 21 May 2024).
- 2 US Produced Water Volumes & Management Practices in 2021 | Ground Water Protection Council, <https://www.gwpc.org/us-produced-water-volumes-management-practices-in-2021/>, (accessed 21 May 2024).
- 3 T. D. Kusworo, N. Aryanti, Qudratun and D. P. Utomo, Oilfield produced water treatment to clean water using integrated activated carbon-bentonite adsorbent and double stages membrane process, *Chemical Engineering Journal*, 2018, **347**, 462–471.

- 4 P. J. McCabe, in *Fossil Energy*, ed. R. Malhotra, Springer New York, New York, NY, 2013, pp. 7–23.
- 5 S. J. Brooks, C. Harman, M. Grung, E. Farmen, A. Ruus, S. Vingen, B. F. Godal, J. Baršienė, L. Andreikėnaitė, H. Skarphéðinsdóttir, B. Liewenborg and R. C. Sundt, Water Column Monitoring of the Biological Effects of Produced Water from the Ekofisk Offshore Oil Installation from 2006 to 2009, *Journal of Toxicology and Environmental Health, Part A*, 2011, **74**, 582–604.
- 6 C.-E. Boström, P. Gerde, A. Hanberg, B. Jernström, C. Johansson, T. Kyrklund, A. Rannug, M. Törnqvist, K. Victorin and R. Westerholm, Cancer risk assessment, indicators, and guidelines for polycyclic aromatic hydrocarbons in the ambient air., *Environ Health Perspect*, 2002, **110**, 451–488.
- 7 Partnerships and cooperation for water., United Nations Educational, Paris, France, 2023.
- 8 M. A. Al-Ghouti, M. A. Al-Kaabi, M. Y. Ashfaq and D. A. Da'na, Produced water characteristics, treatment and reuse: A review, *Journal of Water Process Engineering*, 2019, **28**, 222–239.
- 9 F. Salem and T. Thiemann, Produced Water from Oil and Gas Exploration—Problems, Solutions and Opportunities, *JWARP*, 2022, **14**, 142–185.
- 10 J. Neff, T. C. Sauer and A. D. Hart, in *Produced Water*, eds. K. Lee and J. Neff, Springer New York, New York, NY, 2011, pp. 441–477.
- 11 B. Yu, Z. Yuan, Z. Yu and F. Xue-song, BTEX in the environment: An update on sources, fate, distribution, pretreatment, analysis, and removal techniques, *Chemical Engineering Journal*, 2022, **435**, 134825.
- 12 W. Zhang, Q. Cao, G. Xu and D. Wang, Flocculation–Dewatering Behavior of Microalgae at Different Growth Stages under Inorganic Polymeric Flocculant Treatment: The Relationships between Algal Organic Matter and Floc Dewaterability, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 2018, **6**, 11087–11096.
- 13 E. T. Igunnu and G. Z. Chen, Produced water treatment technologies, *Int. J. Low-Carbon Tech.*, 2014, **9**, 157–177.
- 14 M. Adams, I. Campbell and P. K. J. Robertson, Novel Photocatalytic Reactor Development for Removal of Hydrocarbons from Water, *International Journal of Photoenergy*, 2008, **2008**, 1–7.
- 15 Z. Cha, C.-F. Lin, C.-J. Cheng and P. K. Andy Hong, Removal of oil and oil sheen from produced water by pressure-assisted ozonation and sand filtration, *Chemosphere*, 2010, **78**, 583–590.
- 16 L. M. Multon and T. Viraraghavan, Removal of Oil from Produced Water by Coalescence/Filtration in a Granular Bed, *Environmental Technology*, 2006, **27**, 529–544.
- 17 M. Çakmakce, N. Kayaalp and I. Koyuncu, Desalination of produced water from oil production fields by membrane processes, *Desalination*, 2008, **222**, 176–186.
- 18 A. Bhatnagar, W. Hogland, M. Marques and M. Sillanpää, An overview of the modification methods of activated carbon for its water treatment applications, *Chemical Engineering Journal*, 2013, **219**, 499–511.