

ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DE MUDANÇA DE INJEÇÃO DE PRODUTOS QUÍMICOS NO TRATAMENTO DE ÁGUA PRODUZIDA EM UMA PLATAFORMA (FPSO)
ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF CHANGING CHEMICAL PRODUCTS INJECTION ON THE TREATMENT OF WATER PRODUCED ON A PLATFORM (FPSO)

Eliezio Nascimento Barboza¹, Leonardo de Sousa Alves², Andriely Tiburtino Leite Chaves³ Vitoria Regia Ferreira Sales de Melo⁴, Ana Millene dos Santos Silva⁵, Agílio Tomaz Marques⁶, Anelyse Esequiel de Lucena Neves⁷, Dalieva Lopes Alves⁸, Wallace Ruan Nobre Pereira⁹ e Gabriela Almeida Barbosa¹⁰

ARTIGO

Recebido: 21/12/2022

Aprovado: 24/12/2022

Palavras-chave:

água produzida;
contaminação;
petróleo e gás;
polieletrólito; conama.

Key words:

produced water;
contamination; oil and
gas; polyelectrolyte;
conama.

RESUMO

Durante o processo de extração do petróleo e gás, além da geração de óleo, destaca-se também a presença água produzida, que é um resíduo presente na produção do óleo. Água produzida é a água presente nas formações subterrâneas que é trazida à superfície com o petróleo e gás no decorrer das atividades de produção desses fluidos. O uso de produtos químicos como o Polieletrólito faz necessário par auxiliar no processo de separação e descarte de água produzida par o mar. No entanto, torna-se necessário as regulamentações relativas à água produzida para evitar a descarga dessa água contaminada no meio ambiente sem o devido tratamento, fazendo assim uso da resolução CONAMA 393/2007. Por tratar-se de um processo industrial onde faz-se a injeção de produto químico e existe a mudança de mesmo devido a diferentes fatores, sendo o mais frequente a troca do fornecedor e que na maioria das vezes os produtos são não compatíveis, o que pode levar a contaminação de todo sistema de injeção, desde o tanque de estoque do produto, passando por bombas de injeção até o ponto de injeção do químico.

ABSTRACT

During the oil and gas extraction process, in addition to the generation of oil, there is also the presence of produced water, which is a residue present in the production of oil. Produced water is the water present in underground formations that is brought to the surface with oil and gas in the course of the production activities of these fluids. The use of chemicals such as Polyelectrolyte is necessary to assist in the process of separating and discharge of produced water to the sea. However, it is necessary to regulate produced water to avoid the discharge of this contaminated water into the environment without proper treatment, thus making use of CONAMA resolution 393/2007. As it is an industrial process where the chemical product is injected and there is a change of same due to different factors, the most frequent being the change of supplier and that most of the time the products are not compatible, which can lead to contamination of the entire injection system, from the product stock tank, through injection pumps to the chemical injection point.

¹Discente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal do Ceará. Email: eliezio.nascimento.barboza05@aluno.ifce.edu.br;

² Engenheiro Agrônomo e Mestre pela Universidade Federal de Campina Grande. E-mail: leo_agro22@hotmail.com;

³Discente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal do Ceará. Email: andriely.tiburtino.leite07@aluno.ifce.edu.br;

⁴Discente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal do Ceará. Email: vitoria.regia.ferreira06@aluno.ifce.edu.br;

⁵Discente do curso de Engenharia Ambiental e Sanitária do Instituto Federal do Ceará. Email: ana.millene.santos06@aluno.ifce.edu.br;

⁶Graduado em Direito, Mestre pela Universidade Federal de Campina Grande e Juiz do TJPB. E-mail: agiliotomaz@hotmail.com;

⁷Advogada, graduada em Direito pela Universidade Federal de Campina Grande, pós-graduanda em Direito Civil e Processo Civil pela Esa/PB. E-mail: annelyse.neves@gmail.com;

⁸Graduada em Direito pela Universidade Federal de Campina Grande, Analista Judiciário do TJPB. E-mail: dalieva.analista@hotmail.com;

⁹Graduando em Engenharia Agrônoma pela Universidade Federal de Campina Grande. Email: walaceruan14@gmail.com;

¹⁰Médica pela UNIFACISA e Reumatologista.

1. INTRODUÇÃO

No processo de extração do petróleo e gás, além da geração de óleo, destaca-se também a presença água produzida, que é um resíduo presente na produção do óleo (CARMO et al., 2017). É um residual gerado quando a água dos reservatórios subterrâneos é trazida à superfície durante a extração de alguns combustíveis fósseis. Geralmente, é gerada em grandes quantidades e possui uma complexa composição, com presença de diversos compostos orgânicos e inorgânicos (JIMÉNEZ et al., 2018).

Trata-se de uma emulsão óleo-em-água, em que a fase oleosa é dispersada na fase aquosa, estabilizada por surfactantes. Os principais componentes da água produzida são óleos, orgânicos dissolvidos, sólidos suspensos e inorgânicos dissolvidos. Além disso, podem ser adicionados produtos químicos de processo, como inibidores de corrosão, biocidas e melhoradores de extração (DICKHOUT et al., 2017).

Existem reações no processo industrial quanto ao descarte de água produzida desde o período que se inicia o processo de mudança da injeção de produtos químicos até a sua completa mudança. Destaca-se o Polieletrólito, que auxilia na separação de óleo residual presente na água produzida, e é de suma importância para a estabilidade do processo de água produzida na plataforma (VIRGA et al., 2019).

Logo, torna-se necessário as regulamentações relativas à água produzida para evitar a descarga dessa água contaminada no meio ambiente sem o devido tratamento. Destaca-se a

CONAMA 393/2007, em que dispõe sobre o descarte de água de processo em plataformas marítimas de petróleo e gás natural. O Art. 4 da referida resolução, estabelece que a água produzida só pode ser lançada no mar desde se cumprir às condições, padrões e exigências (BRASIL, 2007).

Para atender as exigências normativas vigentes no país, há necessidade do tratamento da água produzida, que pode ser realizado por meio de diferentes métodos, incluindo métodos físicos (filtração de membrana, adsorção etc.), químicos (precipitação, oxidação) e métodos biológicos (lodo ativado, filtros aerados biológicos e outros) (AL-GHOUTI et al., 2019).

No processo de separação de óleo, as frações mais pesadas de componentes orgânicos são removidas enquanto as frações mais leves aparecem na água produzida. Destaca-se, dentro dos parâmetros a serem analisados para lançamento no mar, a salinidade, dureza e teor de óleos e graxas (TOG), sendo esse último o mais complexo (FIDELIX, 2017).

Neste contexto, este estudo tem como objetivo analisar as diferenças obtidas nas análises de TOG (teor de óleo e graxas) no processo de troca de produtos químicos, sendo dessa forma acompanhando o antes, o durante e o após do processo de mudança.

Este estudo se justifica pela necessidade de identificar fatores que levam aos comportamentos da mudança no processo de separação de óleo (petróleo) e água produzida, tendo em vista que o processo de separação parece estável (nível do vaso de separação, pressão do vaso de separação, vazão tanto de água produzida quanto de óleo, mas o valor

do TOG (teor de óleo e graxas) geralmente não se encontra em conformidade com a resolução do CONAMA 393/2007. Dessa forma, verifica-se a importância de apresentar alternativas para que a água produzida ao invés de ser descartada possa ter outra finalidade no processo.

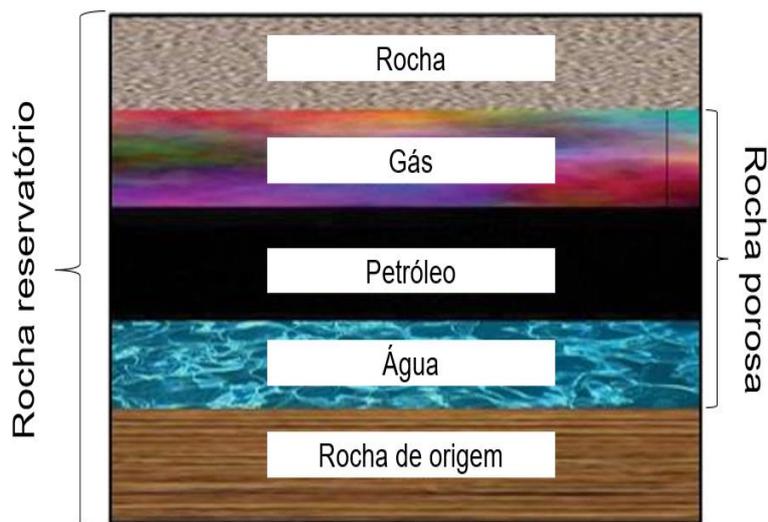
2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Água produzida

Água produzida é a água presente nas formações subterrâneas que é trazida à superfície com o petróleo e gás no decorrer das atividades de produção desses fluidos. “É gerada como subproduto da produção de petróleo e gás, durante o processo de separação porque esses fluidos passam para que possam se transformar em produtos comerciais” (MOTTA et al., 2013, p. 2).

É ligeiramente ácida e fica abaixo dos hidrocarbonetos em meios porosos de reservatório, conforme pode ser verificado na Figura 1. A extração de petróleo leva a redução da pressão do reservatório, e água adicional é injetada na camada de água do reservatório para manter a pressão hidráulica e melhorar a recuperação do óleo (IGUNNU; CHEN, 2014).

Figura 1: Esboço de um reservatório



Fonte: Adaptado de Igunnu e Chen (2014).

Quando o óleo e o gás são removidos, a pressão no reservatório cai, e a água adicional geralmente é injetada na camada de água do reservatório para manter a pressão hidráulica e melhorar a recuperação do óleo). A água produzida compreende a água de formação (presa subterrânea) e a água de injeção que são extraídas em consonância com o combustível fóssil durante a produção de petróleo e gás (JIMÉNEZ et al., 2018).

Conforme explica Borges (2017), no processo de formação do petróleo, a água é expulsa dos sedimentos. Pela diferença de densidade, a água fica abaixo da zona de óleo e pode ter contato com aquíferos e pode ser carregada de diversas maneiras e produzida como água livre, dissolvida ou emulsionada como gotículas dentro do óleo, ou na forma de vapor.

Al-Ghouti et al. (2019) complementam ao afirmar que a água produzida resulta de dois processos. Inicialmente, durante a extração por meio

uma mistura de água e óleo e, posteriormente, a água injetada no campo petrolífero para trazer o óleo profundo para a superfície, se tornando parte da água produzida. Dessa forma, pode ser classificada como água produzida a partir de gás natural, campo petrolífero ou metano de leito de carvão.

As propriedades físicas e químicas da água produzida podem variar de acordo com a localização geográfica do campo, da formação geológica de onde ela vem e do tipo de produto de hidrocarbonetos que está sendo produzido, bem como o volume pode alterar ao longo da vida útil de um reservatório (ARAÚJO et al., 2017).

Os principais constituintes de interesse em água produzida são teores de sal, óleo e graxa, produtos químicos inorgânicos, orgânicos e material radioativo natural. O teor de sal pode ser expresso como salinidade, sólidos dissolvidos totais ou condutividade elétrica. O teor de sal na água produzida varia de quase água doce a níveis de sal até dez vezes mais alto do que a água do mar. Referente aos óleos e graxas, refere-se a um método de teste que detecta os variados tipos de produtos químicos orgânicos que garantem a propriedade "oleosa" à água (BARBOSA, 2019).

Os produtos químicos orgânicos e inorgânicos, no que lhe concerne, estão presentes na formação e são transferidos para a água por meio do contato com o hidrocarboneto, ou são aditivos químicos utilizados durante a perfuração e operação do poço. Além disso, algumas formações de óleo e gás possuem pequenas concentrações de radioatividade natural, que podem ser transferidos para a água produzida (HOLANDA, 2020).

2.2 Resolução CONAMA 393/2007

A Resolução CONAMA n° 393/2007 entende que o petróleo e o gás natural são essenciais para matriz energética brasileira e que devem se manter em crescimento. Define água de produção como “a água normalmente produzida junto com o petróleo, doravante denominada água produzida” (BRASIL, 2007, s/p).

Além disso, define as diretrizes para lançamento da água produzida e estabelece que a água de produção poderá ser lançada no mar caso atenda a concentração média aritmética simples mensal de óleos e graxas de até 29 mg. L⁻¹, com um valor máximo diário de 42 mg. L⁻¹, medido por gravimetria, ou caso o órgão ambiental responsável pelo licenciamento desta atividade de exploração aceitar outras metodologias de análise, em circunstâncias em que a empresa apresente a correlação estatisticamente significativa com o método gravimétrico.

Segundo a CONAMA n° 393/2007, até que se tenha um estudo detalhado e enquadre as águas salinas em torno das plataformas, serão consideradas Águas Salinas de Classe 1. Nesse sentido, os empreendimentos operadores de plataformas de petróleo e gás natural precisam apresentar ao órgão ambiental com jurisdição o resultado do monitoramento realizado no semestre com as análises de parâmetros orgânicos, inorgânicos e toxicidade.

Tendo em vista que é difícil quantificar concentrações ambientais de compostos de água produzida por extração direta com solventes

orgânicos ou utilizando absorventes, pois, a descarga é rapidamente diluída na água do mar, a CONAMA n° 393/2007 optou pela metodologia de ecotoxicologia.

2.3 Métodos de tratamento

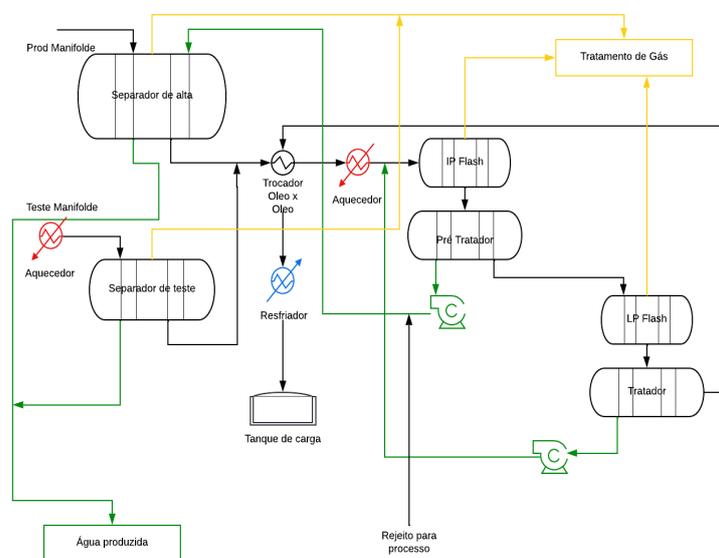
Como citado anteriormente, a água produzida possui orgânicos solúveis e não solúveis, sólidos em suspensão, sólidos dissolvidos e diversos outros produtos químicos que são empregados no processo de produção (FIDELIX, 2017). A relação entre a água e o óleo pode variar em função da localização e ao longo da vida útil. Em regra, esta proporção é maior que 3 e pode ser superior a 20 em alguns locais do mundo (WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 2022).

Geralmente, a água produzida contém altas concentrações de hidrocarbonetos aromáticos, por exemplo, benzeno, tolueno, etilbenzeno, xileno, naftaleno, fenantreno e dibenzotiofeno policíclico aromático composto, minerais, substâncias radioativas, gases dissolvidos e microrganismos (NÓBREGA, 2015).

No mundo, aproximadamente 250 milhões de barris de água são produzidos diariamente a partir de campos de petróleo, e mais de 40% disso é descarregado no meio ambiente. As atuais tecnologias convencionais de tratamento são voltadas para a remoção de metais pesados, óleo e graxa, sólidos suspensos e dessalinização, que muitas vezes levam à geração de grandes volumes de resíduos secundários.

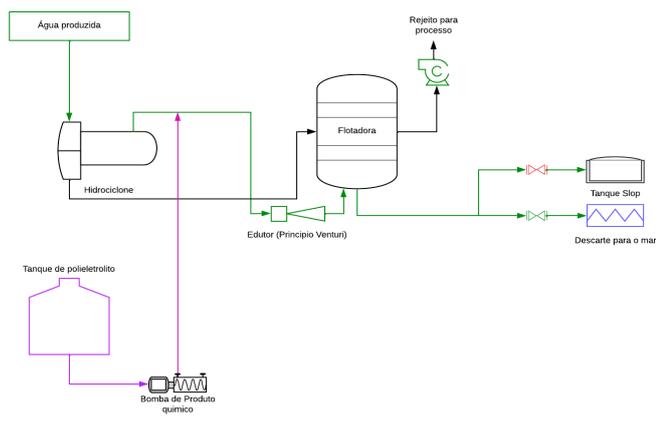
Apesar que, fisicamente, a óleo e água não se misturam, ainda assim, torna-se necessária diversas etapas de separação. Essas etapas dependem fortemente das exigências normativa e de outros fatores, como o grau de emulsificação química e mecânica, remoção de óleo e sólidos em suspensão (IGUNNU; CHEN, 2014). A planta de tratamento do presente estudo está apresentada nas Figura 2 e 3, em que o óleo está em preto, água produzida em verde e o gás em amarelo.

Figura 2: Visão geral do processo (óleo e água produzida)



Fonte: Autor (2022).

Figura 3: Visão geral do tratamento da água produzida



Fonte: Autor (2022).

Neste contexto, o tratamento é dividido em fases. O tratamento primário consiste em remover hidrocarbonetos e sólidos suspensos a partir de água produzida. Geralmente, o separador trifásico separa petróleo, gás e água, e é enviado para o separador de gravidade, que remove, de superfície da água, óleos e outras frações. A água separada do óleo alcança a superfície livre sobre o lado oposto ao fornecimento de energia e é enviado para uma mistura no tanque, onde quantidades apropriadas de coagulantes e floculantes são adicionados para facilitar a coalescência das partículas por sedimentação.

No tratamento secundário, destacam-se as técnicas baseadas em adsorção, biodegradação, decapagem, membrana separação, em que não permitem apenas a remoção de compostos orgânicos, sólidos em suspensão e óleo, como também são capazes de eliminar os hidrocarbonetos aromáticos dissolvidos.

Para remover componentes de hidrocarbonetos da água produzida, métodos biológicos, físicos e químicos são utilizados, conforme pode ser verificado pela Figura 4, em que

apresenta a caracterização, o tratamento e as formas de reuso da água produzida.

Figura 4: Gestão de água produzida



Fonte: Adaptado de Al-Ghouti et al. (2019).

Dentre os métodos de tratamento, atualmente são empregadas diversas tecnologias buscando remover óleos e graxas relacionadas à água. Dentre os tratamentos mais empregados, pode-se destacar: adsorção, flotação, filtração e eletroquímico.

Adsorção é um processo em que forças atraentes associam um soluto a uma superfície sólida. O material sólido utilizado para a adsorção consiste em um meio poroso com uma alta área de superfície interna. A operação nesse tratamento é em baixas concentrações com menos tempo de operação e custo reduzido, quando comparado com outros métodos de tratamento (YOUSEF; QIBLAWEY; EL-NAAS, 2020).

Já a flotação, é amplamente empregada em diversas indústrias e setores, objetivando a remoção de partículas e tratamento de efluentes industriais em refinarias de petróleo. O processo consiste na separação de sólidos em meio aquoso, fundamentado na adesão deles sobre a superfície de bolhas de um gás que permeia a interrupção, sendo

transportada até a superfície. É introduzido bolhas de ar a uma suspensão de partículas e, com isso, formam uma espuma que pode ser retirada da solução e afastando seus componentes (NETO, 2018).

No tratamento por filtração, pode ser de forma rápida ou lenta, a depender da taxa de filtração, teor dos contaminantes e a destinação final do produto ou efluente. A filtração lenta apresenta melhores resultados, porém, quando há necessidade de aumentar a produtividade, utiliza-se a filtração rápida (CAMPOS et al., 2012).

Shaikh et al. (2020) afirmam que os métodos comuns de tratamento da água produzida são os processos de membrana, que incluem osmose avançada (FO), nanofiltração (NF), ultrafiltração (UF) e microfiltração (MF). A tecnologia de membrana pode ser utilizada na remoção de hidrocarbonetos contaminados com petróleo.

De acordo com Barbosa (2018), o processo por membranas é uma tecnologia de maior eficiência, tendo em vista que ocupa menos espaço e pode ser operada continuamente. A tecnologia garante maior fluxo, seletividade e estabilidade através controlado de tamanho e formato de poros. Além do mais, a diminuição da espessura da membrana é importante para elevar ao máximo a permeabilidade, conseguir máximo rendimento e desempenho da membrana.

Os processos de membrana possuem vantagens quando comparados com outros processos, especialmente no que se refere o consumo de energia, tendo em vista que não há

mudança de fase dos componentes, à simplicidade de operação, à possibilidade de combinação a outros processos e o aumento de escala de produção (MOREIRA et al., 2018).

No que se refere ao tratamento eletroquímico, consiste na ação do elétron, em que as substâncias de interesse são extraídas ou modificadas por meio de reações de óxido-redução em substâncias menos tóxicas (CAMPOS et al., 2012).

3. METODOLOGIA

Este estudo será dividido em duas etapas, sendo a primeira de cunho bibliográfico, buscando enriquecer a pesquisa através da literatura; e a segunda realização de um estudo de caso.

Na etapa bibliográfica, para organizar as informações dos trabalhos selecionados da base de dados, foi utilizada a leitura flutuante dos títulos e resumos dos trabalhos bem como os resultados apresentados. O principal critério de exclusão dos trabalhos estará relacionado ao tempo da publicação, visto que apenas obras mais recentes são bem-vistas no meio científico.

A ordem de prioridade para a escolha de trabalho foi: (i) artigos publicados em periódicos internacionais; (ii) artigos publicados em periódicos nacionais reconhecidos; (iii) livros publicados por bons editores; (iv) teses e dissertações; (v) anais de conferências internacionais; (vi) anais de conferências nacionais.

Os artigos foram selecionados de acordo com o tema principal e a adequação deles ao foco da pesquisa, que priorizou os seguintes critérios de inclusão: ter sido publicado nos últimos 5 anos; não há restrição quanto ao idioma; sem objeção ao tipo da pesquisa, desde que o seu tema se adequasse ao presente trabalho. Os critérios de exclusão envolverão os trabalhos que se repetiam, artigos noticiosos, textos em resenhas, artigos não indexados, opiniões, editoriais ou manuais.

Posteriormente a etapa bibliográfica, foi realizado a coleta de dados na empresa, em que foi elaborado gráficos e valores de TOG. Esses gráficos apresentaram os valores das variáveis do processo do sistema de separação (nível, pressão, vazão, parte por milhão (ppm) de injeção de produto químico etc.).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

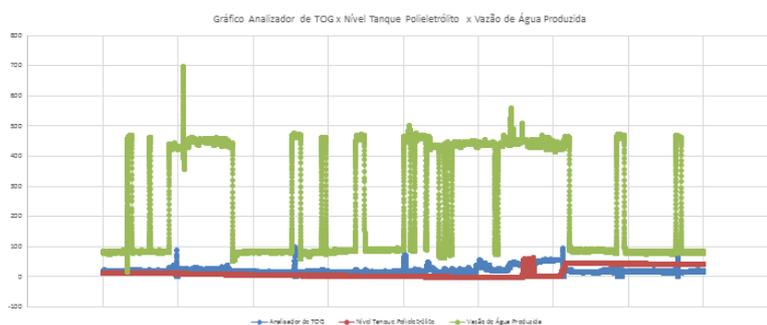
O Gráfico 1 (Analisador de TOG x Nível Tanque Polieletrólito x Vazão de Água Produzida) representa o período de uma semana em que houve a preparação bem como a troca do produto químico no tanque de polieletrólito, o qual anteriormente era fornecido por um fabricante e, posteriormente, fornecido por outro fornecedor.

Nesse intervalo, o processo sofre com essa mudança de produto químico e o descarte de água produzida para o mar fica prejudicado, bem como suas corretas especificações, de acordo com ao CONAMA 393/2007.

Dessa forma, é necessário divergir toda a vazão de água produzida para os tanques de água

oleosa da unidade (chamados comumente como tanques de slop) até que a total troca de inventário tanto do tanque de polieletrólito, quanto de bombas e linhas de injeção de produto químico sejam limpas e com o novo produto sendo bombeado para o ponto de injeção no sistema de água produzida (vide figura sistema Água Produzida – injeção antes da flotadora).

Gráfico 1: Analisador de TOG x Nível Tanque Polieletrólito x Vazão de Água Produzida

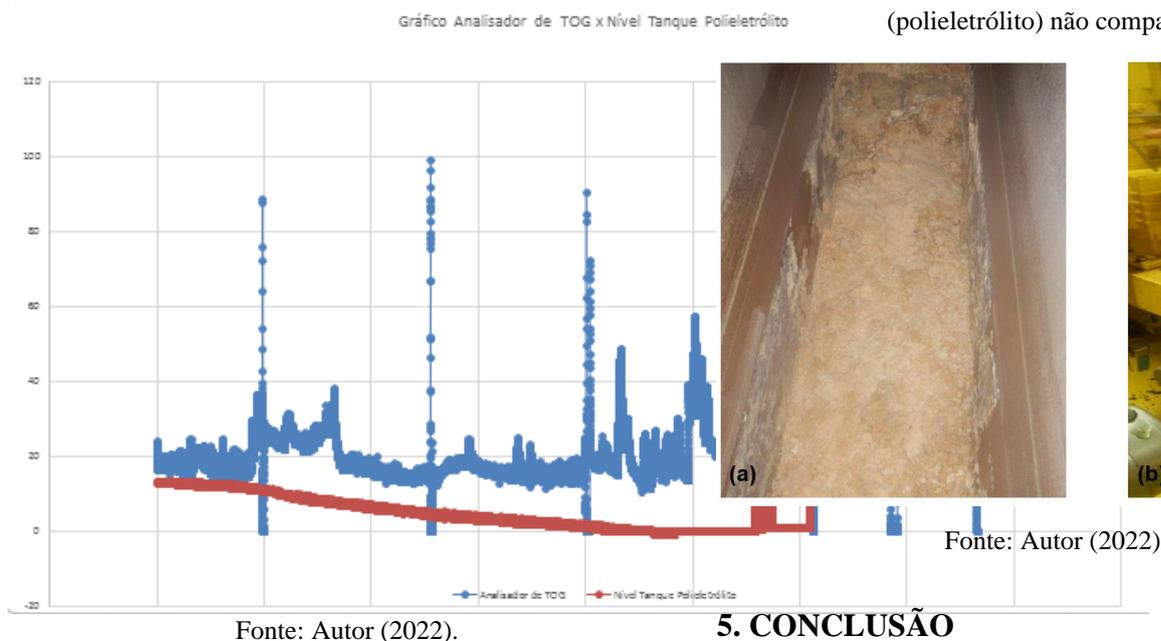


Fonte: Autor (2022).

O Gráfico 2 (Analisador de TOG x Nível tanque Polieletrólito) é um zoom do período mais crítico dessa operação. É onde ocorre a parada do sistema de injeção de produto químico (polieletrólito), abertura do tanque para limpeza, lavagem da linha de injeção de produção químico e, posterior, transferência do novo químico para o tanque recém-limpo e início do bombeio do produto até a normalização e estabilização do sistema, em que a água produzida volta a ser descartada para o mar dentro das corretas especificações.

Gráfico 2: Analisador de TOG x Nível tanque Polieletrólito

Figura 5: Contaminação entre produtos químicos (polieletrólito) não compatíveis



Esse processo é simples, porém, demanda horas de trabalho e erros podem acontecer, caso a atenção não seja redobrada. Erros como contaminação de tanque e de todo o sistema caso os produtos químicos não sejam compatíveis e ocorra mistura entre eles. A Figura 5 apresenta contaminação entre produtos químicos (polieletrólito) não compatíveis, em que a Figura 5A mostra a contaminação do tanque de polieletrólito e a Figura 5B a contaminação de bomba e linha de injeção.

Ante o exposto, no decorrer da pesquisa, buscou-se analisar as diferenças obtidas nas análises de TOG (teor de óleo e graxas) no processo de troca de produtos químicos, sendo dessa forma acompanhando o antes, o durante e o após do processo de mudança.

Como o trabalho foi estruturado ao longo de cinco capítulos, cada um foi relevante para a compreensão do tema, desde o primeiro momento abordando conceitos iniciais sobre a água produzida, até o último capítulo, que versou propriamente sobre o analisador de TOG x Nível Tanque Polieletrólito x Vazão de Água Produzida, analisador de TOG x Nível tanque Polieletrólito e os impactos ambientais negativos causados pelo descarte de água produzida para o mar no processo de mudança de produto químico.

É notório que se trata de um tema pouco abordado na literatura, tendo em vista poucos

estudos publicados na literatura nacional e internacional. Dessa forma, é importante destacar que esse estudo não finaliza a temática, tendo em vista que se tratar de um tema abrangente.

Dessa forma, recomenda-se para futuras pesquisas, estudos referentes aos processos de tratamento de água produzida de petróleo em Unidade Flutuante de Produção, Armazenamento e Transferência.

REFERÊNCIAS

AL-GHOUTI, Mohammad A. et al. Características da água produzida, tratamento e reutilização: Uma revisão. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 222-239, 2019.

ALMEIDA, Maurício B. Noções básicas sobre metodologia de pesquisa científica. **DTGI ECI/UFMG**, 2006.

ARAÚJO, D. A. et al. Remoção do óleo da água produzida utilizando o carvão ativado comercial. **Holos**, v. 8, p. 12-31, 2017.

BARBOSA, Andreza Miranda de Andrade. **Caracterização e análise do potencial da água produzida como alternativa para reúso**. 2019. 30 f. Dissertação de Mestrado (Programa de Pós-Graduação em Uso Sustentável de Recursos Naturais) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte, 2019.

BARBOSA, Carolina Neves Ricaldone. **Dessalinização por membranas: Tecnologias consagradas e emergentes**. 2018. 63 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Minas Gerais, 2018.

BORGES, Beatriz Bruna Gomes et al. **Tratamento da água produzida do petróleo para injeção em mananciais**. 2017. 78 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2017.

BRASIL. Resolução CONAMA nº 393, de 8 de agosto de 2007. 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**, 2007. Disponível em: https://www.cbhdoce.org.br/wp-content/uploads/2018/08/CONAMA_RES_CONS_2007_393.pdf. Acesso em: 15 mai. 2022.

CAMPOS, Wendell Klismann Santana et al. Estudo sobre as principais tecnologias para tratamento da água produzida. **Caderno de Graduação-Ciências Exatas e Tecnológicas**, v. 1, n. 1, p. 141-152, 2012.

CARMO, Stephanie et al. Tratamento de água produzida de petróleo utilizando microfiltração. **e-xacta**, v. 10, n. 2, p. 95-106, 2017.

FIDELIX, Thábata Layse da Silva. **Tratamento de água produzida para a geração de vapor utilizado na injeção em poços de petróleo**. 2017. 58f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, Brasil, 2017.

HOLANDA, Natiel Johnson Santos de. **Uso de leitos coalescentes no tratamento de água produzida da indústria de petróleo**. 2020. 72 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal de Alagoas, 2020.

IGUNNU, Ebenezer T.; CHEN, George Z. Produced water treatment technologies. **International journal of low-carbon technologies**, v. 9, n. 3, p. 157-177, 2014.

IGUNNU, Ebenezer T.; CHEN, George Z. Produziu tecnologias de tratamento de água. **Revista internacional de tecnologias de baixo carbono**, v. 9, n. 3, p. 157-177, 2014.

JIMÉNEZ, S.M. et al. Estado da arte do tratamento de água produzido. **Chemofera**, v. 192, p. 186-208, 2018.

MOREIRA, Fabrícia Souza et al. Membranas poliméricas para dessalinização da água: uma avaliação da balança comercial brasileira. **Cadernos de Prospecção**, v. 11, p. 440-440, 2018.

MOTTA, Albérico Ricardo Passos da et al. Tratamento de água produzida de petróleo para remoção de óleo por processos de separação por membranas: revisão. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 18, p. 15-26, 2013.

NETO, Elias Fernandes Cardoso. **Tratamento de água produzida da indústria do petróleo e efluente da indústria de laticínios utilizando coluna piloto de flotação**. 2019. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso - Universidade Federal Rural do Semiárido, 2019.

NÓBREGA, Diogo Rosembergh da Silva. **Avaliação dos coeficientes de transferência de massa e hidrodinâmica de diferentes geometrias de células eletroquímicas para o tratamento de BTX**. 2015. 80 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Petróleo) - Centro de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2015.

PRODANOV, Cleber Cristiano; DE FREITAS, Ernani Cesar. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico-2ª Edição**. Editora Feevale, 2013.

SCHNEIDER, Eduarda Maria; FUJII, Rosângela Araujo Xavier; CORAZZA, Maria Júlia. Pesquisas quali-quantitativas: contribuições para a pesquisa em ensino de ciências. **Revista Pesquisa Qualitativa**, v. 5, n. 9, p. 569-584, 2017.

SHAIKH, Sameera S. et al. environmental impact of utilization of “produced water” from oil and gas operations in turfgrass systems. **Scientific RepoRtS**, v. 10, n. 1, p. 1-13, 2020.

WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Água produzida**: Terminologia de petróleo e gás. Disponível em: <https://www.wef.org/globalassets/assets-wef/direct-download-library/public/03---resources/wsec-2017-fs-013-iwwc-og-glossary---final---5.21.18.pdf>. Acesso em: 27 mai. 2022.

YOUSEF, Roghayeh; QIBLAWEY, Hazim; EL-NAAS, Muftah H. Adsorption as a process for produced water treatment: a review. **Processes**, v. 8, n. 12, p. 1657, 2020.