

REÚSO DA ÁGUA PRODUZIDA NA IRRIGAÇÃO

Vitória Renally de Andrade Silva¹
Pedro Lucas Marinho Pereira²
Iliana de Oliveira Guimarães³

RESUMO

Um dos grandes desafios da indústria petrolífera é a adequação dos efluentes oriundos dos seus processos produtivos. Durante a extração de petróleo e gás natural, uma grande quantidade de água normalmente é produzida com os hidrocarbonetos. Esta água apresenta uma composição complexa, com concentração de sais e TOG variados, que devem ser ajustados as normas vigentes antes da sua reinjeção em poços ou seu descarte seguro no ambiente. Contudo, após o devido tratamento, seja através de filtração, separação gravitacional, passagem por hidrociclone, flotação ou até mesmo aplicação de membranas, o produto final possui características que convidam ao seu reaproveitamento. Dentre as diferentes possibilidades de aplicação desta água tratada, o presente trabalho traz uma breve revisão sobre o reúso de água produzida aplicada à irrigação na produção agrícola, uma vez que esta apresenta uma grande demanda hídrica. Observa-se que, mesmo com resultados promissores, existe uma grande margem para estudos mais específicos relacionados aos tipos de culturas, custos operacionais e principais efeitos a longo prazo.

Palavras-chave: Água produzida, Reúso, Irrigação.

INTRODUÇÃO

Devido à sua má gestão e desperdício, a água tem-se revelado motivo de preocupação. Isso ocorre por ser considerada um insumo indispensável para a sobrevivência dos seres humanos e a boa harmonia do meio ambiente. Esse recurso natural se correlaciona com o desenvolvimento agrícola/industrial e com os valores culturais e religiosos enraizados na sociedade (BRITO; GOMES; LUDWIG, 2012).

O Brasil apresenta alguns problemas hídricos, causados por longos períodos de estiagem, resultando em episódios de racionamento em alguns estados do país (FELLET, 2021). Um estudo experimental do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) ressalta que atualmente mais da metade da água captada no Brasil é para uso na agricultura irrigada. Em 2010 essa distribuição era de 49% para irrigação, já no ano de 2017 esse valor subiu para 52% (GLOBO RURAL, 2021). De acordo com Lima, Ferreira e Christofidis (2021), a irrigação é todo um conjunto de técnicas que visa alterar as possibilidades agrícolas de cada localidade.

¹ Discente do Curso Técnico em Petróleo e Gás do IFPB - CG, vitoria@academico.ifpb.edu.br;

² Discente do Curso Técnico em Petróleo e Gás do IFPB - CG, pedro.marinho@academico.ifpb.edu.br;

³ Docente do Curso Técnico em Petróleo e Gás do IFPB - CG, iliana.guimaraes@ifpb.edu.br.

Segundo o Centro Brasileiro de Infraestrutura, em uma lista que está presente os dez países que mais produzem petróleo, o Brasil se encontra ocupando a oitava posição (CBIE, 2020). E, em contrapartida à escassez de água, existe a água que é produzida durante a extração de petróleo e gás natural. Esta é considerada um subproduto resultante do processo de perfuração, podendo representar 50% ou mais do volume produzido ao fim da vida econômica do poço (KURNET et al., 2007; THOMAS et al., 2001).

Gomes (2014) e Motta et al. (2013) explicam que esse efluente é uma mistura complexa de compostos químicos orgânicos e inorgânicos, que pode conter os mesmos sais encontrados na água do mar, no entanto, com concentrações comumente mais elevadas. A água produzida deve ser tratada com intuito de ser descartada, injetada em poços ou reutilizada para diversos fins, dentre eles o uso industrial, a dessedentação de animais e a agricultura, sendo este último objeto de estudo nesse trabalho.

METODOLOGIA

Para a elaboração deste artigo foi efetuada uma revisão bibliográfica com o intuito de estudar sobre a água produzida proveniente de atividades petrolíferas e a possibilidade de aplicação desta em atividades agrícolas. As informações coletadas são provenientes de livros, dissertações, apostilas, boletins, artigos, revistas e sites especializados que proporcionaram informações e dados que serão vistos ao decorrer do trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Avaliando as informações de crise hídrica no Brasil, a grande produção de água associada ao petróleo e a necessidade de grandes quantidades desse insumo para irrigação, é importante considerar dentre as possibilidades para amenizar o problema de escassez, a alternativa de reúso utilizando a água produzida do petróleo.

1. ÁGUA PRODUZIDA

A água produzida (AP), também chamada água de processo ou de produção, só recebe essa denominação quando sobe à superfície juntamente com o petróleo e o gás. Esta pode ter origem no próprio reservatório (água de formação) ou ser decorrente do uso de métodos de

recuperação secundária, como injeção de água ou vapor. É considerada o maior subproduto da indústria petrolífera (KUNERT et al., 2007; AMINI et al., 2012).

O volume produzido desse efluente depende das características da formação geológica, dos métodos usados para a recuperação do óleo e da idade dos poços produtores. Normalmente quanto maior o tempo de vida produtiva do campo de petróleo, maior a quantidade gerada de água. A razão água/óleo (RAO) está entre as relações usadas para definir as características e os estágios da vida produtiva dos reservatórios. A estimativa é que essa razão seja de 3:1, ou seja, em média, são gerados 3 barris de água para cada barril de petróleo produzido (THOMAS et al., 2001; NEFF; LEE; BLOIS, 2011; FAKHRU'L-RAZI et al., 2009).

A composição da água produzida depende normalmente de quatro fatores: formação geológica, localização, vida produtiva do poço e os tipos de hidrocarbonetos produzidos. Comumente as características desse efluente são semelhantes às do petróleo e do gás que esteve em contato no reservatório. A água de processo apresenta uma elevada toxicidade e por isso pode ser considerada ofensiva ao meio ambiente se descartada sem tratamento adequado (FAKHRU'L-RAZI, 2009; CARVALHO, 2011).

Entre os principais constituintes da água de produção estão os minerais da formação, o óleo, sólidos, compostos químicos residuais da produção, gases dissolvidos e microrganismos. Nesse subproduto geralmente é identificado um pH menor que 7 (MOTTA et al., 2013).

Nos minerais dissolvidos da formação tem-se os compostos inorgânicos, que são os Sólidos Dissolvidos Totais (SDT), metais pesados e materiais radioativos de ocorrência natural, suas quantidades são alteradas de acordo com a formação geológica. A salinidade da AP pode variar muito, sendo comum o teor de sais desse efluente ultrapassar o da água do mar (CARVALHO, 2011; GOMES, 2014).

O óleo contido na água produzida pode estar na forma livre (gotas com diâmetro maior que 150 μ m), dispersa (gotas variando de 50 μ m a 150 μ m), emulsionada (gotas menores que 50 μ m) e na forma solúvel. Existe também presente uma grande variedade de sólidos, como areia, silte e argila (MOTTA et al., 2013; BARROS; GUIMARÃES, 2021).

Alguns produtos químicos são adicionados na AP durante a produção com intuito de evitar problemas de corrosão e incrustações. Além disso, encontram-se dissolvidos usualmente CO₂, H₂S e gás natural. Podendo fazer parte de sua composição vários microrganismos, como bactérias, fungos e algas (MOTTA et al., 2013; STEWART; ARNOLD, 2011).

2. TRATAMENTOS

O tratamento da água produzida visa recuperar gotículas de óleo ainda existentes e adequar esta nas normas vigentes para finalidade escolhida. A escolha do tipo de tratamento leva em consideração os fatores de localização da base de produção, viabilidade técnica, legislação, custos e a disponibilidade de infraestrutura e equipamentos. Alguns dos processos mais usados são: separadores gravitacionais, hidrociclones, flotação e aplicação de membranas (MOTTA et al., 2013).

2.1 SEPARADORES GRAVITACIONAIS

Comumente, constituem o primeiro estágio de tratamento no meio *onshore*. Souza et al. (2015) explica que há três tipos de separadores: API (*American Petroleum Institute*), PPI (*Parallel Plate Interceptor*) e CPI (*Corrugated Plate Interceptor*).

Os modelos API são grandes tanques que funcionam por decantação, necessitando de amplos espaços para sua instalação. São apropriados para remoção de gotículas de óleo maiores que 150 μ m (fração livre). Nestes separadores, a água produzida escoar horizontalmente, fazendo com que as gotas de óleo que se deslocam por longas distâncias, subam para a superfície e sejam retiradas (KUNERT et al., 2007).

Os separadores PPI e CPI diferem do API por apresentarem placas paralelas que facilitam a coalescência das gotículas, embora o princípio de funcionamento seja semelhante, o óleo sobe e os sólidos descem dentro dos tanques. As placas corrugadas nos CPI, ou lisas nos PPI, são ordenadas de forma paralela e têm o propósito de reduzir o tempo de ascensão das gotículas, necessitando assim de menos espaço para instalação. O aumento da temperatura facilita o processo, pois reduz a viscosidade e aumenta a velocidade de separação das fases (KUNERT et al., 2007).

2.2 HIDROCICLONES

O funcionamento destes equipamentos é por força centrífuga. A água oleosa entra sob pressão tangencialmente na seção de maior diâmetro, percorrendo de forma espiral o seu interior. No trajeto, acontece uma aceleração do fluxo à medida que diminui o diâmetro da seção cônica. A rotação produz uma força centrífuga que pode alcançar mais de 1000 vezes a força da gravidade (THOMAS et al., 2001; KUNERT et al., 2007).

Como as gotículas de óleo possuem uma densidade menor do que a da água, elas tendem a se deslocar para o centro e a água (e sólidos) para as paredes. Ocorre um fluxo axial reverso no centro do hidrociclone devido ao seu formato cônico e ao diferencial de pressão existente no seu interior. A fase líquida central que contém óleo em maior quantidade é chamada de rejeito (THOMAS et al., 2001).

Estes equipamentos são comumente usados pela indústria petrolífera para separação óleo/água e, de acordo com Kunert et al. (2007), possuem várias vantagens, dentre elas o fato de não apresentarem partes móveis, necessitando de pouca manutenção mecânica e de um consumo de energia reduzido, além de exibirem uma grande capacidade por área instalada, apesar de serem compactos. Por outro lado, apresentam também desvantagens, como a dificuldade de conseguirem enquadrar o Teor de Óleos e Graxas (TOG) em 20mg/L em uma única passagem no dispositivo usado para o tratamento.

2.3 FLOTAÇÃO

Fatores como fácil implantação, operação e manutenção explicam a sua aplicabilidade no tratamento de efluentes oleosos. O processo é composto de 4 etapas básicas: produção de bolhas de gás (ou ar) dentro do efluente; colisão das bolhas formadas com as gotículas de óleo que estão suspensas na água; aderência dessas bolhas nas gotículas de óleo e elevação dos aglomerados bolha/gotícula até a superfície, de onde o óleo é removido. Nesta técnica, os flotores efetuam a separação óleo/água. O método pode ser por gás dissolvido ou por gás induzido (KURNET et al., 2007; SOUZA et al., 2015).

2.3.1 Flotação por Gás Dissolvido (FGD)

Neste método, o gás é dissolvido em água sob uma pressão de 2 a 5 kgf/cm². A água saturada é introduzida à pressão atmosférica no tanque de flotação, sendo as bolhas gasosas liberadas no processo consideradas pequenas (microbolhas com diâmetros médios entre 50 e 100µm), o que constitui a principal vantagem dessa técnica (RODRIGUES, 1999).

2.3.2 Flotação por Gás Induzido (FGI)

Os equipamentos utilizados na FGI têm a característica de serem compactos, por isso são muito utilizados em plataformas *offshore*. As bolhas podem ser produzidas utilizando um

meio poroso ou por agitação mecânica em conjunto com inserção de ar ou gás. Apesar de por esse método ser possível aceitar no sistema um grande volume de fase gasosa, as bolhas resultantes formadas durante o tratamento têm diâmetros maiores se comparadas às geradas na FGD (entre 1 e 2 mm), tornando-se menos efetiva na retirada de pequenas partículas (KUNERT et al., 2007).

2.4 MEMBRANAS

As membranas atuam como barreiras que separam duas fases e que limitam de forma total ou parcial o deslocamento de espécies químicas existentes nestas fases. Os Processos de Separação por Membranas (PSM) são utilizados para vários fins, como: produção de água potável; tratamento de efluentes; separação água/óleo e também para concentrar, purificar ou fracionar soluções sensíveis a variações térmicas (HABERT; BORGES; NÓBREGA, 2006; MOTTA et al., 2013).

Os PSM que usam gradiente de pressão como força motriz são: Microfiltração/MF (separação de material em suspensão); Ultrafiltração/UF (separação de macromoléculas); Osmose Inversa/OI (separação de componentes dissolvidos e iônicos); Nanofiltração/NF (comumente usada para separar íons multivalentes de íons univalentes (MOTTA et al., 2013).

Na tabela 1 pode ser observada uma comparação entre alguns dos métodos usados frequentemente no tratamento da água produzida para remoção de óleo.

3. REÚSO DA ÁGUA PRODUZIDA

Dentre as opções de destino para a água produzida, após tratamento adequado, estão: a injeção em poços para recuperação secundária do petróleo; o descarte, muito aplicado em áreas *offshore*, e o reúso (BARROS; GUIMARÃES, 2021), que será discutido nos próximos parágrafos.

O reúso da água produzida é a reutilização dela para outros fins. Contudo, o uso fora das atividades petrolíferas envolve uma maior dificuldade acerca do tratamento devido ao TOG e a salinidade presente. A escolha dos tratamentos que serão implantados será de acordo com a qualidade necessária para a finalidade escolhida, o regulamento ambiental em vigor e os fatores técnicos e econômicos. Apesar dos visíveis benefícios da reutilização, existem alguns impasses que podem dificultar essa opção, como os custos, características da água, disponibilidade do mercado e outros fatores (SIMPLÍCIO, 2019; IPIECA, 2020).

Segundo a Organização das Nações Unidas (ONU), cerca de 2,1 milhões de pessoas não tem acesso à água potável no mundo. Algumas causas são a má gestão deste insumo e seu grande volume destinado à agricultura. Existe a possibilidade da utilização da água produzida para a irrigação, praticando assim o reúso da mesma e trazendo benefícios para o meio ambiente (ASSEBURG, 2020).

Tabela 1 - Comparação entre processos de tratamento da AP para remoção de óleo.

	Membrana	Hidrociclone	Flotador	Separador Gravitacional Convencional	Separador Gravitacional de Placa
Princípio operacional	Filtração	Separação gravitacional aprimorada	Flotação a gás natural	Separação gravitacional	Coalescência + separação gravitacional
Capacidade de remoção, em diâmetro de gota (μm)	1	10 a 30	10 a 20	100 a 150	30 a 50
Requerimento de área superficial	Baixo	Baixo	Baixo	Elevado	Elevado
Requerimento por produtos químicos	Não	Não	Sim	Não	Não
Aplicação em instalações de tratamento da AP	<i>Onshore e offshore</i>	<i>Offshore</i>	<i>Onshore e offshore</i>	<i>Onshore</i>	<i>Onshore</i>
Principais desvantagens	<i>Fouling e necessidade por limpeza química</i>	Bloqueio da porta de rejeito por areia ou incrustação e erosão por areia.	Pouco efeito em gotas entre 2 e 5 μm ; uso de químicos e geração de lodo	Tamanho e peso muito elevados; baixa eficiência para diâmetro de gotas menores	Tamanho e peso elevados.

Fonte: Adaptado de Motta (2013).

3.1 REÚSO PARA IRRIGAÇÃO

O reúso de AP para a rega de plantações é bastante relevante, pois além da agricultura irrigada ser responsável pelo maior consumo na distribuição hídrica, a atividade de reutilização

proporciona um valor social agregado, desencadeando oportunidades de empregos e geração de renda. No Brasil, esse destino vem sendo estudado principalmente em plantações de culturas para produção de biocombustíveis no semiárido nordestino (XAVIER; GUIMARÃES; SILVA, 2010).

Como exemplo, Pinheiro et al. (2014) descreve um projeto piloto de reúso de água produzida do Campo de Fazenda Belém (Ceará/RN) para irrigação de plantas ornamentais e espécies oleaginosas para a produção de biodiesel. Quatro tipos de água foram empregados: AP filtrada, AP dessalinizada, Água da formação Açú e água da chuva (sequeiro). Foi observado que após ser tratada para atingir os padrões recomendados desse destino, a AP apresentou um bom potencial de uso para irrigação em plantas oleaginosas produtoras de biodiesel. O fator animador é que o presente resultado se revelou durante os experimentos conduzidos pela Embrapa Agroindústria Tropical, sendo as informações expostas resultado apenas de 2 ciclos de cultivos (metade dos 4 ciclos planejados até o final de 2014).

De acordo com Pereira Junior et al. (2008), para essa aplicação, é indicado fazer uso de tratamentos mais rigorosos, para que seja possível adequar a AP aos limites de potabilidade. Com esse intuito, o método de osmose inversa (ou osmose reversa), conjuntamente ou não com a nanofiltração, é o mais recomendado.

Em outro estudo na Fazenda Belém, foi avaliado o efeito da irrigação de mamoneiras utilizando AP filtrada, AP tratada por osmose reversa e água do aquífero Açú em dois ciclos de cultivos. Os testes foram realizados em comparação com a água natural captada do aquífero Açú e foi observado que a irrigação com água tratada por osmose reversa não reduziu a produtividade da cultura da mamoneira 'BRS Energia', nem afetou de forma negativa a salinidade e a sodicidade do solo, podendo ser usada para esta aplicação. Por outro lado, a rega com AP filtrada diminuiu em 30% a produção da cultura e aumentou a salinidade e a sodicidade do solo (MIRANDA et al., 2016).

Em outra pesquisa realizada na mesma região foram produzidas hastes florais de abacaxizeiro ornamental (*Ananas comosus var. bracteatus*). O objetivo era estudar a nutrição das plantas e os efeitos da irrigação com água produzida tratada sobre a concentração de íons solúveis e trocáveis no solo. Para a rega utilizou-se três tipos de água: AP tratada por filtração, AP tratada por osmose reversa e uma água de subsolo retirada do aquífero Açú. Como resultado da análise, concluiu-se que a AP filtrada elevou o risco de salinização e solidificação do solo e que a AP tratada por osmose reversa, em curto prazo, era uma possibilidade viável para irrigação de abacaxizeiros (CRISÓSTOMO et al., 2018a).

No mesmo ano, em um trabalho diferente, Crisóstomo et al. (2018b) avaliou o aporte de metais pesados na produção das oleíferas mamona (*Ricinus communis* L) e girassol (*Helianthus annuus* L) e do abacaxizeiro ornamental (*Ananas comosus* var. *erectifolius*). O processo de irrigação aconteceu com três tipos de água: AP filtrada, AP tratada por osmose reversa e água do aquífero Açú. Como resultado, constatou-se que a rega dessas culturas com AP filtrada e com AP filtrada e tratada por osmose reversa, não modificou as concentrações totais de metais pesados do solo em comparação com a água do aquífero Açú. Observou-se também que essas plantas, quando regadas com AP, são capazes de absorver metais pesados, acumulando estes sobretudo nas raízes. Por isso, foi recomendado o monitoramento de metais em águas residuais oriundas de campos petrolíferos destinadas à irrigação de culturas agrícolas.

Barbosa, Tavares e Navoni (2019) relatam uma pesquisa realizada em Mossoró/RN que teve como intuito avaliar a qualidade da água produzida e a possibilidade de usá-la na irrigação. Nesse trabalho foram efetuadas caracterizações físico-químicas e toxicológicas, analisando dentre outros aspectos: salinidade, pH, condutividade, assim como o TOG e os metais pesados presentes. O resultado do estudo mostra que a AP, após ser tratada adequadamente, pode ser considerada uma alternativa hídrica para irrigação. Sendo sugerido a necessidade de estudos complementares para analisar a implantação de tecnologias para avaliar a eficácia da dessalinização e a retirada de compostos orgânicos persistentes.

O interesse na reutilização da AP não se limita apenas ao Brasil. Segundo Grossman (2016), em uma região do Vale Central da Califórnia atormentada pela seca, uma parte da AP gerada por empresas petrolíferas locais é descarregada em aquíferos subterrâneos. Destes alguns são tratados e fornecem água para as fazendas dos distritos de Cawelo e North Kern County usarem na irrigação das plantações. Anualmente, aproximadamente 61,7 bilhões de litros de AP são usados na irrigação e, de acordo com o Conselho de Controle de Qualidade da água do Vale Central da Califórnia, cerca de 37.000 hectares de plantações são irrigados com esse efluente.

Em 2015, também nos Estados Unidos, foi elaborado um projeto que tinha como objetivo usar AP gerada em um campo petrolífero do Texas na plantação de algodão. O foco era avaliar o crescimento das plantas, a resposta da produção com a irrigação usando AP tratada e misturada com água subterrânea (proporção de 1:4) e determinar o efeito da mesma nas propriedades químicas do solo, medindo as concentrações elementares dele, o pH e a condutividade elétrica em profundidades variadas. O resultado desta pesquisa mostrou que a mistura com a AP tratada não reduziu o rendimento do algodão, nem a qualidade da sua fibra,

porém foi observada uma diminuição nos parâmetros de salinidade do solo (LEWIS; MOORE; WEATHERSBY, s/d).

Portanto, de acordo com os estudos realizados e os resultados apresentados até o momento, há sim a possibilidade de reúso da água produzida para irrigação de cultivos específicos. A limitação ainda se dá devido à escolha adequada do tratamento, uma vez que não foi encontrado uma única técnica que resulte na adequação da água para sua reutilização.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O reaproveitamento de recursos naturais tem sido um dos principais desafios encontrados por pesquisadores nas últimas décadas, uma vez que o desenvolvimento tecnológico e as demandas produtivas elevam a produção de resíduos que, se não tratados, podem amplificar a degradação ambiental.

Os trabalhos relacionados ao aproveitamento da água gerada como subproduto da produção petrolífera tendem a apresentar soluções factíveis, baseadas em tecnologias atuais e acessíveis às indústrias. Contudo, apesar de uma grande parte dos estudos utilizarem procedimentos específicos, e.g. osmose inversa, não há uma única solução padrão para a água produzida, mas sim uma adequação ou combinação de possíveis tratamentos que podem variar de acordo com as características da água obtida durante o processo de produção de petróleo e gás natural.

Outro fator que pode influenciar no tratamento do efluente é o custo operacional, que não foi tratado neste estudo, mas que tem grande impacto na decisão final de quais tratamentos serão usados para a adequação da água produzida à irrigação.

REFERÊNCIAS

AMINI, S. *et al.* Mathematical modelling of a hydrocyclone for the downhole oil-water separation (DOWS). **Chemical Engineering Research and Design**, v. 90 (12), p. 2186-2195, 2012.

ASSEBURG, M. K. **Água de reúso: entenda os benefícios da reutilização.** BRK Ambiental, 2020. Disponível em: <https://blog.brkambiental.com.br/reuso-da-agua/>. Acesso em: 10 de dez. de 2020.

BARBOSA, A. M. A.; TAVARES, J. L.; NAVONI, J. A. **Caracterização e Análise do Potencial da Água Produzida como Alternativa para Reuso.** HOLOS, Ano 35, v.8, 2019.

BARROS, F. M. da S.; GUIMARÃES, I. de O. **Gerenciamento da água produzida do petróleo: uma revisão bibliográfica.** IV CONEPETRO, Edição Digital, 2021.

BRITO, R. R. de; GOMES, E. R.; LUDWIG, R. **Uso da água na irrigação.** VIII Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 8, n. 2, p. 373-383, São Paulo, 2012. Disponível em: [USO DA AGUA NA IRRIGACAO.pdf \(bibliotecaagptea.org.br\)](#). Acesso em: 27 de set. de 2021.

CBIE. **Quais são os maiores produtores mundiais de petróleo?** Centro Brasileiro de Infraestrutura, 2020. Disponível em: <https://cbie.com.br/artigos/quais-sao-os-maiores-produtores-mundiais-de-petroleo/>. Acesso em: 26 de jul. de 2021.

CARVALHO, P. C. de A. P. de. **Caracterização de água produzida na indústria de petróleo para fins de descarte e otimização do processo de separação óleo/água.** 126p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2011.

CRISOSTOMO, L. A. *et al.* **Reuso da água produzida na irrigação do abacaxizeiro ornamental: efeitos sobre as características químicas do solo.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 158, 29p. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2018 (a).

CRISOSTOMO, L. A. *et al.* **Risco de Contaminação do Solo e das Plantas com Metais Pesados devido à Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo.** Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 183, 26p. Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, 2018 (b).

FAKHRU'L-RAZI, A. *et al.* Review of Technologies for oil and gas produced water treatment. **Journal of Hazardous Materials**, v. 170, ed. 2-3: p. 530-551, Malásia, 2009.

FELLET, J. **O que cidades que já vivem racionamento revelam sobre futuro da crise da água.** BBC News Brasil em São Paulo, 2021. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/brasil-57910952>. Acesso em: 26 de jul. de 2021.

GLOBO RURAL. **Mais da metade da água captada no Brasil é usada para irrigação na agricultura**, 2021. Disponível: [Mais da metade da água captada no Brasil é usada para irrigação na agricultura - Revista Globo Rural | Agricultura](#). Acesso em: 27 de set. de 2021.

GOMES, A. P. P. **Gestão Ambiental da Água Produzida na Indústria de Petróleo: Melhores Práticas e Experiências Internacionais.** 128p. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE, Rio de Janeiro, 2014.

GROSSMAN, E. **Are you eating food that was irrigated with oilfield wastewater.** Civil Eats, 2016. Disponível em: <http://civileats.com/2016/08/17/are-you-eating-food-that-was-irrigated-with-oil-wastewater/>. Acesso em: 20 de set 2021.

HABERT, A. C.; BORGES, C. P.; NÓBREGA, R. **Processos de Separação por Membranas.** 180 p., Rio de Janeiro: E-papers, 2006.

IPIECA. **Reuse of Produced Water From the Onshore Oil and Gas Industry - Evaluating Opportunities and Challenges.** 8p. Londres, 2020. Disponível em: <https://www.ipieca.org/resources/fact-sheet/reuse-of-produced-water-from-the-onshore-oil-and-gas-industry/>. Acesso em: 15 de set. de 2021.

KUNERT, R. *et al.* (Ed.) **Processamento Primário de Petróleo**. 54p. Recursos Humanos, Universidade Petrobras, Rio de Janeiro, 2007. Disponível em: https://www.academia.edu/8564277/PROCESSAMENTO_PRIM%C3%81RIO_DE_PETR%C3%93LEO. Acesso em: 31 de ago. de 2021.

LEWIS, K.; MOORE, J.; WEATHERSBY, B. **Agricultural Reuse of Treated Produced Water**. Texas A&M AgriLife Research – Lubbock, Energy Water Solutions; Texas- EUA, s/d. Disponível em: https://www.owrb.ok.gov/2060/PWWG/Resources/Lewis_Katie.pdf. Acesso em: 24 de set. de 2021.

MIRANDA, F. R. de *et al.* **Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo: Efeitos Sobre a Salinidade do Solo e a Produtividade da Mamoneira**. 29P. Fortaleza, Embrapa Agroindústria Tropical, 2016.

MOTTA, A. R. P. *et al.* Tratamento de Água Produzida de Petróleo para Remoção de Óleo por Processos de Separação por Membranas: Revisão. **Eng. Sanit. Ambient.**, v.18, n.1, p.15-26, 2013.

NEFF, J.; LEE, K.; BLOIS, E. M. de. Produced water: Overview of composition, fates and effects. Cap. 1 In: **Produced water, environmental risks and advances in mitigation technologies**. LEE, K.; NEFF, J. (Eds.) Springer Science, 608p., p. 3-54, 2011.

PEREIRA JUNIOR, O. de A. *et al.* **Eliminação de Captação de Aquífero Via Reuso da Água Produzida Para Fins de Geração de Vapor no Campo de Fazenda Belém**. XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Natal, 2008.

PINHEIRO, R. *et al.* **Projeto Piloto de Irrigação com Água Produzida no Campo de Fazenda Belém**. 10p. Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2014.

RODRIGUES, R. T. **Tratamento de Águas Oleosas de Plataformas Marítimas por Flotação por Gás Dissolvido**. 115p. Dissertação (Mestrado), UFRGS, Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais, Porto Alegre, 1999.

SIMPLÍCIO, C. F. **Sistemas de tratamento e reuso da água produzida do petróleo: uma revisão integrativa da literatura**. 51p. TCC - Curso de Graduação em Engenharia de Petróleo, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2019.

SOUZA, J. S. de B. *et al.* **Estudo das Técnicas de Caracterização e Tratamento de Água Produzida de Petróleo Visando sua Reinjeção**. I CONEPETRO, Campina Grande, 2015.

STEWART, M.; ARNOLD, K. **Produced Water Treatment Field Manual**. Part 1 - Produced Water Treating Systems. 1st. ed., 244p., p. 1-134, 2011.

THOMAS, J. E. (Org.) *et al.* **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. 143p. Rio de Janeiro: Interciência: PETROBRAS, 1. ed., 2001.

XAVIER, Y. M. de A.; GUIMARÃES, P. B. V.; SILVA, M. dos R. F. (Org.) **Recursos Hídricos e Atividade Econômica na Perspectiva Jurídica do Desenvolvimento Sustentável**. Konrad Adenauer Stiftung: Fortaleza, 2010.