



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE BACHARELADO EM BIOTECNOLOGIA

**ANÁLISE DE RISCO DO USO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO COMO
ALTERNATIVA À ÁGUA DE IRRIGAÇÃO UTILIZADA NA AGRICULTURA**

MOSSORÓ

2023

LÍVIA VANESSA PACHECO DA CUNHA

**ANÁLISE DE RISCO DO USO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO COMO
ALTERNATIVA À ÁGUA DE IRRIGAÇÃO UTILIZADA NA AGRICULTURA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para a finalização do Programa de Recursos Humanos (PRH) da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Orientador: Charles Blake Diniz Marques,
Prof. Dr.

MOSSORÓ

2023

LÍVIA VANESSA PACHECO DA CUNHA

**ANÁLISE DE RISCO DO USO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO COMO
ALTERNATIVA À ÁGUA DE IRRIGAÇÃO UTILIZADA NA AGRICULTURA**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para a finalização do Programa de Recursos Humanos (PRH) da Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP).

Defendida em: 19/01/2023

BANCA EXAMINADORA

Blake Charles Diniz Marques, Prof. Dr. (UFERSA)
Presidente

Frederico Ribeiro do Carmo, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo – (PRH-ANP/UFERSA)
Membro Examinador



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA
PRH-55.1 – Estratégias Sustentáveis na Indústria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Às oito horas do dia vinte de janeiro de dois mil e vinte e três, por videoconferência via google meet (<https://meet.google.com/hbv-efmf-eed>), reuniu-se a Banca Examinadora de defesa de trabalho de conclusão de curso de autoria da discente **Lívia Vanessa Pacheco da Cunha**, aluna do curso de formação complementar em Estratégias sustentáveis na indústria de petróleo, gás natural e biocombustíveis, do PRH-ANP 55.1 – Estratégias Sustentáveis na Indústria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis, N° de matrícula **2018010942**, com o título **“ANÁLISE DE RISCO DO USO DA ÁGUA PRODUZIDA DE PETRÓLEO COMO ALTERNATIVA À ÁGUA DE IRRIGAÇÃO UTILIZADA NA AGRICULTURA.”**. A Banca Examinadora ficou assim constituída por três membros: Prof. Dr. Blake Charles Diniz Marques, presidente da banca e orientador do Trabalho de Conclusão de Curso; Profa. Dra. Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo, professora visitante e Prof. Dr. Frederico Ribeiro do Carmo, como membros. Concluída a defesa, procedeu-se o julgamento pelos membros da banca examinadora, em reunião fechada, tendo a aluna sido considerada **APROVADA**. E para constar, eu, BLAKE CHARLES DINIZ MARQUES, lavrei a presente ata que, após lida e aprovada pelos membros da banca examinadora, será assinada por todos.

Mossoró, 20 de janeiro de 2023.

Assinatura dos membros da Banca Examinadora.

Prof. Dr. Blake Charles Diniz Marques - UFERSA
Presidente e orientador

Prof. Dr. Frederico Ribeiro do Carmo – UFERSA
Primeiro Membro

Profa. Dra. Ruza Gabriela Medeiros de Araújo Macedo – PRH-ANP/UFERSA
Segundo Membro

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu orientador Prof. Dr. Charles Blake Diniz Marques por me conduzir durante o desenvolvimento do presente trabalho.

Aos membros da banca examinadora pela disponibilidade e pelas contribuições a este trabalho.

Á Mateus Carlos pelo encorajamento e conforto durante todo o processo.

Aos meus amigos Ariel Meneses e Eliabe Costa, por toda a ajuda e incentivo.

Muito obrigada!

RESUMO

Durante a fase de extração do petróleo, ocorre a formação de vários subprodutos, dentre os quais destacam-se as águas residuais, também chamadas de água produzida (AP), que é considerado o resíduo formado em maior quantidade e está presente em todas as etapas de obtenção do petróleo. Diante disso, almeja-se que haja maior atenção para suas características e propriedades, objetivando o aprofundamento dos estudos com relação às mesmas e resultando na melhor forma de manuseio e correto tratamento e/ou descarte desse material. Esse fato, atrelado com a escassez de água, torna a AP como uma possível fonte de água após o tratamento adequado, voltando a atenção na sua recuperação, reutilização e reciclagem para atender às necessidades de fontes de água doce da sociedade. Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de risco do uso da AP como alternativa à água de irrigação utilizada na agricultura prevendo uma possível solução para a melhor administração deste resíduo ao passo que contorna a problemática da crise hídrica ao redirecionar a água doce que seria usada em grandes plantações. A priori foi realizada a revisão de literatura e seleção dos artigos fundamentados nas palavras-chave “*irrigation*” e “*produced water*”, buscando em bancos de dados como o *Google Scholar* e Periódicos CAPES. A partir do referencial teórico, os dados foram obtidos por Gratyelly (2018), que representam a região escolhida (Mossoró/RN), a partir dos quais foi realizado um comparativo entre as variáveis analisadas e os valores das mesmas variáveis estabelecidos pelas resoluções CONAMA n° 357/2005 e COEMA n° 2/2017, as quais estabelecem padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos no ambiente. Os tratamentos foram definidos como: T1 (100% de água de abastecimento e 0% de água produzida tratada); T2 (75% de água de abastecimento e 25% de água produzida tratada); T3 (50% de água de abastecimento e 50% de água produzida tratada); T4 (25% de água de abastecimento e 75% água produzida tratada); e T5 (0% de água de abastecimento e 100% de água produzida tratada). Os resultados considerados positivos, visto que pelo menos um dos tratamentos (T4) mostrou-se 100% compatível com a lei vigente, COEMA n° 2/2017. Não obstante, muitos parâmetros estiveram de acordo com a resolução CONAMA n° 357/2005, com exceção somente do Cu, Pb e Ba, além do Cd em T2 e T5; e o Cr em T4 e T5, sugerindo que é possível fazer a utilização de AP como fonte de água de irrigação, ainda que sejam necessárias avaliações que resultem na melhor combinação de técnicas de tratamento e reutilização, atrelado ao uso de outras estratégias de mitigação, tornando a análise de risco uma ferramenta avaliativa que estipula potenciais perigos e auxilia na tomada de decisão.

Palavras-chave: água produzida; irrigação; reuso; petróleo;

ABSTRACT

During the petroleum extraction phase, there is the formation of several by-products, among which the wastewater, also called produced water (PW), is considered the waste formed in greater quantity and is present in all stages of obtaining oil. Therefore, it is intended that there is greater attention to its characteristics and properties, with the objective at deepening the studies about them and resulting in the best way of handling and correct treatment and/ or disposal of this material. This fact, coupled with water scarcity, makes PW a possible source of water after proper treatment, focusing on its recovery, reuse, and recycling to meet the needs of society's fresh water sources. Given the above, the present work aims to perform a risk analysis of the use of PW as an alternative to irrigation water used in agriculture providing a possible solution for better management of this waste while bypassing the problem of the crisis water by redirecting fresh water that would be used in large plantations. First a literature review and selection of articles based on the keywords "Irrigation" and "produced water" was performed, searching in databases such as Google Scholar and CAPES Journals. From the theoretical framework, the data were obtained by Gratyelly (2018), which represent the chosen region (Mossoró/RN) from which a comparison was made between the variables analyzed and the values of the same variables established by resolutions CONAMA n° 357/2005 and COEMA n° 2/2017, which establish standards and conditions for release of liquid effluents into the environment. The treatments were defined as: T1 (100% water supply and 0% water produced treated); T2 (75% water supply and 25% water produced treated); T3 (50% water supply and 50% water produced treated); T4 (25% water supply and 75% water produced treated); and T5 (0% water supply and 100% water produced treated). The results considered positive, since at least one of the treatments (T4) was 100% compatible with the current law, COEMA n° 2/2017. Nevertheless, many parameters were in accordance with the resolution CONAMA n. 357/2005, except only Cu, Pb and Ba, in addition to Cd in T2 and T5; and Cr in T4 and T5, suggesting that it is possible to use PW as a source of irrigation water, although it is necessary evaluations that result in the best combination of treatment and reuse techniques, linked to the use of other mitigation strategies, making risk analysis an evaluative tool that stipulates potential dangers and assists in decision making.

Keywords: produced water; irrigation; reuse; petroleum.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Classes e possibilidades de uso de água para a irrigação, segundo seu grau de contaminação por bactérias do tipo coliformes termotolerantes e limites de DBO.....	15
Tabela 2. Padrão de qualidade dos parâmetros inorgânicos das águas de Classe 3.....	15
Tabela 3. Padrão de qualidade dos parâmetros orgânicos das águas de Classe 3.....	16
Tabela 4. Parâmetros inorgânicos específicos para lançamento de efluentes.....	18
Tabela 5. Parâmetros orgânicos específicos para lançamento de efluentes.....	19
Tabela 6. Caracterização da água produzida.....	26
Tabela 7. Comparação entre tratamentos da água produzida com a resolução CONAMA 357/2005	27
Tabela 8. Comparação entre tratamentos da água produzida com a resolução COEMA nº 2/2017	28
Tabela 9. Concentrações máximas de microelementos para a água de irrigação.	30

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AP – Água Produzida

CE – Condutividade Elétrica

COEMA - Conselho Estadual de Meio Ambiente

CONAMA - Conselho Nacional do Meio Ambiente

DBO - Demanda Bioquímica De Oxigênio

TOG - Teor De Óleos e Graxas

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	10
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	11
2.1. Água produzida e suas características	11
2.2. Legislação.....	13
2.2.1. Legislação aplicada ao descarte da água produzida.....	13
2.2.2. Legislação aplicada.....	14
2.3. Geração de água produzida no Brasil e no Nordeste	19
2.4. Importância da agricultura para o Brasil e nordeste.....	20
2.5. Tratamentos e alternativas de reuso da água produzida	22
3. METODOLOGIA	25
3.1. Área de estudo.....	25
3.2. Caracterização da água produzida.....	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	27
5. CONCLUSÃO	34
6. REFERÊNCIAS.....	35

1. INTRODUÇÃO

É fato que a maior parte dos recursos energéticos provém de fontes naturais não renováveis e sua massiva extração pode ocasionar danos permanentes à fauna e à flora planetária, podendo perpetuar-se por gerações, pois, com a intensa exploração de poços petrolíferos, sejam eles de origem terrestre ou marinha, o incorreto manuseio desta prática pode comprometer a qualidade da água, solo e ar (ASSUNÇÃO, 2018). No Brasil, mesmo com o aumento da participação das fontes renováveis na matriz energética nacional no decorrer dos anos, os derivados de petróleo correspondem 35% do consumo energético em 2017 (EPE, 2019).

Durante a fase de extração do petróleo, inevitavelmente ocorre a formação de vários subprodutos, como os compostos orgânicos de caráter volátil, compostos com presença de metais tóxicos, lamas oleosas, resíduos derivados da fase de destilação e águas residuais (BARBOSA; TAVARES; NAVONI, 2019). Dentre os produtos citados, destacam-se as águas residuais, também chamadas de água produzida (AP), que é considerado o resíduo formado em maior quantidade e está presente em todas as etapas de obtenção do petróleo (BARBOSA; TAVARES; NAVONI, 2019). É estimado que as indústrias petrolíferas produzam mais de 800 bilhões de galões de efluentes por ano, volume este que contém grandes partes de águas residuais geradas durante toda a existência do poço (DAVARPANA, 2018). Estima-se que a produção de AP é $39,5 \text{ Mm}^3\text{dia}^{-1}$ a nível global e espera-se que a relação água/óleo atinja a média de 12 (v/v) para os recursos de petróleo bruto até 2025 (AL-GHOUTI, 2019).

Diante disso, almeja-se que haja maior atenção para suas características e propriedades, objetivando o aprofundamento dos estudos com relação às mesmas e resultando na melhor forma de manuseio e correto tratamento e/ou descarte desse material (BARBOSA; TAVARES; NAVONI, 2019).

Juntando esse fato com a escassez de água, vê-se a AP como uma possível fonte de água após o tratamento adequado, tornando a atenção na sua recuperação, reutilização e reciclagem para atender às necessidades de fontes de água doce da sociedade (AL-GHOUTI, 2019). Sabe-se que 97,5% da água é salgada e não adequada para consumo humano e o volume de água doce é somente 2,5%, restando menos de 1% para consumo humano direto (DAVARPANA, 2018). Além disso, outros fatores colaboram para que a escassez de recursos hídricos se torne um problema ainda mais crítico, como o contínuo crescimento populacional, desenvolvimentos agrícolas e industriais e consequências das mudanças

climáticas (DAVARPANA, 2018). A região Nordeste, por exemplo, possui somente 3% do volume de água doce do território brasileiro. Dados do Ministério do Meio Ambiente mostram que estados como Rio Grande do Norte, Ceará, Paraíba, dentre outros, são afetados pela escassez de água (MMA, 2012).

É fato que a correta administração desse resíduo é um dos grandes problemas para o ramo de petróleo e gás, visto que seu manejo necessita de tecnologias de reciclo e/ou reinjeção da água no sistema produtivo, visando um desenvolvimento sustentável no contexto econômico e ambiental (ASSUNÇÃO, 2018).

Assim, vê-se que o reuso de AP possui grande potencial, visando a atenuação do problema hídrico, especialmente em regiões atingidas pela seca e ainda contribui na redução de impactos ambientais (BARBOSA; TAVARES; NAVONI, 2019). Para isso, é preciso definir e analisar as características químicas da AP e mensurar os riscos atrelados ao seu reuso, assim como as tecnologias necessárias para tal (BARBOSA; TAVARES; NAVONI, 2019).

Diante do exposto, o presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de risco do uso da AP como alternativa à água de irrigação utilizada na agricultura prevendo uma possível solução para a melhor administração deste resíduo ao passo que contorna a problemática da crise hídrica ao redirecionar a água doce que seria usada em grandes plantações.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1. Água produzida e suas características

Água produzida (AP) é a denominação dada à água presente nas formações subterrâneas que, durante a extração do petróleo é movida à superfície juntamente com o gás e é dita como um subproduto que corresponde à 98% de todos os efluentes gerados (MIRANDA, 2016; THOMAS, 2004). A AP produzida em um campo recente tem seu volume variando de 5 a 15%, e, ao passo que os poços envelhecem, a AP pode atingir de 75 a 90% do volume total que é extraído do poço (ASSUNÇÃO, 2018).

Sua origem também pode ocorrer em acumulações de água (aquíferos), adjacentes às formações que contêm hidrocarbonetos, ou ainda pode surgir a partir da água injetada durante a execução de projetos que visam aumentar a recuperação do óleo no reservatório (MAGALHÃES, 2018).

A composição depende da localização geográfica, da idade, profundidade da formação geológica, geoquímica da formação de hidrocarbonetos, método de extração, tipo de

hidrocarboneto produzido e tipo do reservatório de petróleo. Além disso, alguns de seus componentes também estão presentes na água do mar em diferentes concentrações e estão diretamente ligados à composição do petróleo (AL-GHOUTI, 2019; CABRAL e SANTOS, 2019; MIRANDA, 2016).

A maior parte do volume de água produzida é formado pela chamada água de formação ou água conata, que é a denominação para a água do mar ou água represada em reservas geológicas constituídas de formações rochosas porosas sedimentares e rochas impermeáveis contidas na crosta terrestre (NEFF, 2011; AL-GHOUTI, 2019). Antes da entrada e captura do petróleo, as rochas encontram-se cheias de água em grande parte das formações petrolíferas, a qual pode ser proveniente de cima, de baixo ou dentro da zona de hidrocarbonetos ou ainda dos fluidos e aditivos injetados durante as atividades de produção (AL-GHOUTI, 2019). Desse modo, toda água que é levada à superfície, que se encontra no reservatório de hidrocarbonetos e que é produzida com petróleo bruto ou gás natural é denominada água produzida (AL-GHOUTI, 2019).

Entre outros constituintes destacam-se os resíduos de óleo, compostos químicos, sólidos da produção, gases e minerais dissolvidos, microrganismos e íons como Na^+ e Cl^- , sendo a variação de sólidos totais dissolvidos (STD) entre 100 mg L^{-1} até 300.000 mg (MIRANDA, 2016).

A AP é constituída principalmente de:

Teor de sal (medido como salinidade), sólidos totais dissolvidos (TDS) e condutividade elétrica; óleo e graxa (O&G); hidrocarbonetos poliaromáticos (PAHs), benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos (BTEX), fenóis, ácidos orgânicos, compostos orgânicos e inorgânicos naturais que causam dureza e incrustação (por exemplo, cálcio, magnésio, sulfatos de bário); e aditivos químicos como biocidas e inibidores de corrosão que são usados durante a perfuração, fraturamento e processo de operação do poço (AL-GHOUTI, 2019).

Assim, fazem parte desse componente diferentes medidas de sais inorgânicos, como sulfetos e cloretos, hidrocarbonetos, fenóis, ácidos orgânicos, e resíduos de produtos químicos que são aplicados no decorrer do processo produtivo, como coagulantes, inibidores de incrustação, biocidas e desemulsificantes além de apresentar sólidos e uma grande variedade de metais pesados (FIGUEIREDO, 2014). A maior parte das substâncias dissolvidas são encontradas na forma de íons como Ca^{2+} , Mg_2^+ , Na^+ , K^+ , HCO_3^- , CO_3^{2-} , Cl^- e SO_4^{2-} (FIGUEIREDO, 2014).

Além disso, a alta salinidade pode estar relacionada com a dissolução do sal das formações rochosas durante o período de represamento, de modo que componentes como sódio, cálcio, magnésio, potássio, sulfeto e cloreto contribuem diretamente para esse fato (ZHENG, 2016).

2.2. Legislação

2.2.1. Legislação aplicada ao descarte da água produzida

Conforme o campo atinge maturidade aumenta-se também a quantidade de água produzida, portanto, devem ser considerados vários fatores para definir o destino desse resíduo, tais como o local onde se estabeleceu a base da produção, legislação, viabilidade, custos, infraestrutura e equipamentos (ASSUNÇÃO, 2018). A água produzida pode oferecer alguns riscos ambientais relacionados com fatores como, a composição da água, as características do local de sua ocorrência e sua disposição final (SILVA FILHO, 2013). Esses fatos estão diretamente relacionados a composição química da AP, formada por potenciais geradores de bioacumulação, gerando riscos ecológicos e prejudicando o ecossistema marinho (TAVARES, 2019). Alguns aspectos que podem estar relacionados com os riscos ambientais são a alta salinidade, presença de sólidos suspensos e metais pesados, orgânicos insolúveis e solúveis, presença de produtos químicos, radioatividade e teor de poluentes, como óleos e graxas (THOMAS, 2004).

No Brasil, 1,9 mil toneladas de óleos e graxas foram descartadas em 2017, juntamente com grandes volumes de águas residuais provenientes da indústria petrolífera (MAGALHÃES, 2018). Em 2014, o descarte deste resíduo totalizou 0,6 tonelada, bem como houve a reinjeção de 1,2 tonelada de hidrocarboneto e 92% de AP gerada em operações offshore (AL-GHOUTI, et al., 2019). Sendo assim, surge a preocupação para que ocorra o correto gerenciamento, tratamento e descarte de todos os materiais que são produzidos durante o processo de extração do petróleo, pois esses compostos muitas das vezes são constituídos por agentes nocivos que se não manuseados de forma adequada podem trazer sérios prejuízos inviabilizando a utilização da área ambiental. (ASSUNÇÃO et al., 2018).

Algumas normatizações definem parâmetros que assegurem a qualidade da água e consequentemente reduzam os possíveis danos ambientais gerados pelo descarte ou reutilização da mesma. No Brasil, a resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n° 430/2011 trata sobre os níveis máximos permitidos na composição de um

efluente para ser descartado, ao passo que também altera parcialmente a CONAMA n° 357/2005, que classifica os corpos d'água e classifica as condições e padrões de lançamento de efluentes (MAGALHÃES, 2018).

Em complemento à CONAMA 357/2005, tem-se a Resolução CONAMA n° 393/2007 que dispõe sobre o descarte contínuo de água produzida em plataformas offshore de petróleo e gás natural, contudo, não é aplicada à empreendimentos realizados offshore (VIANNA, L. F. 2018). Segundo esta resolução, o único parâmetro regulamento é o teor de óleos e graxas (TOG), que pode atingir até 29 mg/L (VIANNA, L. F. 2018). Não obstante, no Art.10° são estabelecidos parâmetros de identificação e monitoramento dos seguintes parâmetros:

I - Compostos inorgânicos: arsênio, bário, cádmio, cromo, cobre, ferro, mercúrio, manganês, níquel, chumbo, vanádio, zinco;

II - Radioisótopos: rádio-226 e rádio-228;

III - compostos orgânicos: hidrocarbonetos policíclicos aromáticos - HPA, benzeno, tolueno, etilbenzeno e xilenos - BTEX, fenóis e avaliação de hidrocarbonetos totais de petróleo - HTP através de perfil cromatográfico;

IV - Toxicidade crônica da água produzida determinada através de método ecotoxicológico padronizado com organismos marinhos;

e V - parâmetros complementares: carbono orgânico total - COT, pH, salinidade, temperatura e nitrogênio amoniacal total. (VIANNA, L. F. 2018).

2.2.2. Legislação aplicada

Ao contrário das águas de abastecimento, as águas destinadas para irrigação podem conter certo grau de contaminação, a depender também do tipo de cultura a ser irrigada e do sistema de irrigação adotado (MAROUELLI, 2014).

A resolução CONAMA n° 357/2005 classifica os corpos d'água superficiais e define os padrões de lançamento de efluentes no ambiente, classificando as águas como doces, salobras ou salinas e as enquadra em diferentes classes, de acordo com o Art. 3° (MPF, 2005). Das treze classes, três estão relacionadas ao uso para fins de irrigação. O Art. 4° classifica e define as possíveis destinações das diferentes classes de água doce, sendo as classes que possibilitam o uso da água para irrigação resumidas na Tabela 1 (ARAÚJO, 2015).

Tabela 1. Classes e possibilidades de uso de água para a irrigação, segundo seu grau de contaminação por bactérias do tipo coliformes termotolerantes e limites de DBO.

Classe	Coliformes termotolerantes ^[1] (UFC/100 mL) ^[2]	DBO (mg/L O ₂) ^[3]	Culturas a serem irrigadas
1	200	3	Hortaliças consumidas cruas e fruteiras em que os frutos se desenvolvam rentes solo e sejam consumidos crus sem remoção da película
2	1000	5	Hortaliças e frutíferas, exceto as anteriores, parques, jardins, campos de esporte e lazer com os quais o público possa a vir a entrar contato direto
3	4000	10	Arbóreas, cerealíferas e forrageiras

(1) E. coli poderá ser determinada em substituição a coliformes termotolerantes de acordo com limites estabelecidos pelo órgão ambiental competente.

(2) Unidades formadoras de colônias (UFC) de coliformes por 100 mL de água em no máximo 80% de pelo menos seis amostras coletadas durante o período de um ano, com frequência bimestral entre amostras.

(3) DBO: demanda bioquímica de oxigênio (5 dias, 20°C).

Fonte: MAROUELLI, 2014.

Segundo a classificação, águas de classe 1 podem ser utilizadas para a irrigação de hortaliças consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que são ingeridas cruas sem remoção de película. As de classe 2, são direcionadas a irrigação das demais hortaliças e plantas frutíferas, e as de classe 3, para a irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras (MAROUELLI, 2014). Considerando a AP como água de classe 3, a Tabela 2 descreve o padrão de qualidade dos parâmetros inorgânicos das águas de classe 3:

Tabela 2. Padrão de qualidade dos parâmetros inorgânicos das águas de Classe 3.

Parâmetros inorgânicos	Valor máximo
Alumínio dissolvido (mg/L)	0,2
Arsênio total (mg/L)	0,033
Bário total (mg/L)	1,0
Berílio total (mg/L)	0,1
Boro total (mg/L)	0,75
Cádmio total (mg/L)	0,01
Chumbo total (mg/L)	0,033
Cianeto livre (mg/L)	0,022
Cloreto total (mg/L)	250
Cobalto total (mg/L)	0,2

Tabela 3. Padrão de qualidade dos parâmetros inorgânicos das águas de Classe 3.

Parâmetros inorgânicos	Valor máximo
Cobre dissolvido (mg/L)	0,013
Cromo total (mg/L)	0,05
Ferro dissolvido (mg/L)	5,0
Fluoreto total (mg/L)	1,4
Fósforo total (ambiente lêntico) (mg/L)	0,05
Fósforo total (ambiente intermediário) (mg/L)	0,075
Fósforo total (ambiente lótico e tributários de ambientes intermediários) (mg/L)	0,15
Lítio total (mg/L)	2,5
Manganês total (mg/L)	0,5
Mercúrio total (mg/L)	0,002
Níquel (mg/L)	0,025
Nitrato (mg/L)	10,0
Nitrito (mg/L)	1,0
Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	13,3 mg/L N, para pH ≤ 7,5 5,6 mg/L N, para 7,5 < pH ≤ 8,0 2,2 mg/L N, para 8,0 < pH ≤ 8,5 1,0 mg/L N, para pH > 8,5
Prata total (mg/L)	0,05
Selênio total (mg/L)	0,05
Sulfato total (mg/L)	250
Sulfeto (como H ₂ S não dissociado) (mg/L)	0,3
Urânio total (mg/L)	0,02
Vanádio total (mg/L)	0,1
Zinco total (mg/L)	5

Fonte: MAROUELLI, 2014.

Além disso, a resolução também define os padrões relacionados aos parâmetros orgânicos (MPF, 2005), estes estão resumidos na Tabela 3, que descreve o padrão de qualidade dos parâmetros orgânicos das águas de classe 3:

Tabela 4. Padrão de qualidade dos parâmetros orgânicos das águas de Classe 3.

Parâmetros orgânicos	Valor máximo
Aldrin + Dieldrin (µg/L)	0,03
Atrazina (µg/L)	2
Benzeno (mg/L)	0,005

Tabela 5. Padrão de qualidade dos parâmetros orgânicos das águas de Classe 3.

Parâmetros orgânicos	Valor máximo
Benzo (a)pireno ($\mu\text{g/L}$)	0,7
Carbaril ($\mu\text{g/L}$)	70,0
Clordano (cis + trans) ($\mu\text{g/L}$)	0,3
2,4-D ($\mu\text{g/L}$)	30,0
DDT (p,p'-DDT + p,p'-DDE + p,p'- DDD) ($\mu\text{g/L}$)	1,0
Demeton (Demeton-O + Demeton-S) ($\mu\text{g/L}$)	14,0
1,2-Dicloroetano (mg/L)	0,01
1,1-Dicloroetano ($\mu\text{g/L}$)	30
Dodecacloro Pentaciclodecano($\mu\text{g/L}$)	0,001
Endossulfan (a + b + sulfato) ($\mu\text{g/L}$)	0,22
Endrin ($\mu\text{g/L}$)	0,2
Fenóis totais (reagem com 4- aminoantipirina)	0,01 mg/L $\text{C}_6\text{H}_5\text{OH}$
Glifosato ($\mu\text{g/L}$)	280
Gution ($\mu\text{g/L}$)	0,005
Heptacloro epóxido + Heptacloro ($\mu\text{g/L}$)	0,03
Lindano (g-HCH) ($\mu\text{g/L}$)	2,0
Malation ($\mu\text{g/L}$)	100,0
Metoxicloro ($\mu\text{g/L}$)	20,0
Paration ($\mu\text{g/L}$)	35,0
PCBs - Bifenilas policloradas ($\mu\text{g/L}$)	0,001
Pentaclorofenol (mg/L)	0,009
Substâncias tenso-ativas que reagem com o azul de metileno (mg/L)	0,5
LAS 2,4,5-T ($\mu\text{g/L}$)	2,0
Tetracloroeto de carbono (mg/L)	0,003
Tetracloroetano (mg/L)	0,01
Toxafeno ($\mu\text{g/L}$)	0,21
2,4,5-TP ($\mu\text{g/L}$)	10,0
Tributilestanho ($\mu\text{g/L}$)	2,0
TBT Tricloroetano (mg/L)	0,03
2, 4 , 6 – Triclorofenol (mg/L)	0,01

Fonte: MAROUELLI, 2014.

Não obstante, Art. 16º descreve as condições de qualidade de águas doces de classe 3, destacando-se:

(...)

c) óleos e graxas: virtualmente ausentes;

d) substâncias que comuniquem gosto ou odor: virtualmente ausentes;

(...)

f) resíduos sólidos objetáveis: virtualmente ausentes;

(...)

i) DBO 5 dias a 20°C até 10 mg/L O₂;

j) OD, em qualquer amostra, não inferior a 4 mg/L O₂;

l) turbidez até 100 UNT;

m) cor verdadeira: até 75 mg/L;

e, n) pH: 6,0 a 9,0.

(MPF, 2005).

No quesito estadual, o Conselho Estadual de Meio Ambiente do estado do Ceará, definiu em fevereiro de 2017 a resolução COEMA nº 2/2017, que “*dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras*”, em conformidade com a Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005 (LEGISWEB, 2017). Os padrões relacionados aos parâmetros inorgânicos e orgânicos estabelecidos pela resolução COEMA nº 2/2017 estão citados nas Tabelas 4 e 5.

Tabela 6. Parâmetros inorgânicos específicos para lançamento de efluentes.

Parâmetros Inorgânicos	Valores Máximos
Alumínio (mg/L)	10
Arsênio Total (mg/L)	0,5
Bário (mg/L)	5,0
Boro (mg/L)	5,0
Cádmio (mg/L)	0,2
Chumbo (mg/L)	0,5
Cianeto Total (mg/L)	1
Cobre dissolvido (mg/L)	1
Cromo hexavalente (mg/L)	0,1
Estanho (mg/L)	4,0

Tabela 7. Parâmetros inorgânicos específicos para lançamento de efluentes.

Parâmetros Inorgânicos	Valores Máximos
Ferro solúvel (mg/L)	15,0
Fenóis (mg/L)	0,5
Fluoretos (mg/L)	10,0
Manganês solúvel (mg/L)	1,0
Mercúrio (mg/L)	0,01
Níquel (mg/L)	2,0
Nitrato (mg/L)	10
Nitrito (mg/L)	1
Prata (mg/L)	0,1
Selênio (mg/L)	0,05
Zinco (mg/L)	5,0

Fonte: LegisWeb (2017).

Tabela 8. Parâmetros orgânicos específicos para lançamento de efluentes.

Parâmetros Orgânicos	Valores Máximos
Benzeno (mg/L)	1,2
Clorofórmio (mg/L)	1,0
Compostos organofosforados (mg/L)	1,0
Compostos organoclorados não listados (mg/L)	0,05
Dicloroetano (mg/L)	1,0
Estireno (mg/L)	0,07
Etilbenzeno (mg/L)	0,84
Fenóis Totais (mg/L)	0,5
Tetracloroeto de carbono (mg/L)	1,0
Tricloroetano (mg/L)	1,0
Tolueno (mg/L)	1,2
Xileno (mg/L)	1,6

Fonte: LegisWeb (2017).

2.3. Geração de água produzida no Brasil e no Nordeste

Na região nordeste, especificamente em localizações com clima semiárido, ocorre a limitação de água doce superficial disponível, e, analisando este fato se faz necessário a exploração por fontes subterrâneas deste recurso. Entretanto, em paralelo a essa informação, é

verídico que na faixa litorânea dessa região ocorre a extração de grandes volumes de água produzida por várias indústrias petrolíferas (CRISÓSTOMO, 2018).

Com o crescente mercado de combustíveis na região Nordeste do Brasil, observa-se também um aumento significativo no desenvolvimento econômico e um crescimento real no PIB per capita da região. Em 2017, o Nordeste foi responsável por cerca de 18% das vendas de combustível no país, bem como a frota nordestina representou cerca de 12% da frota nacional (EPE, 2019). Além disso, o Rio Grande do Norte é um dos principais produtores de petróleo do Brasil, ocasionando em grandes volumes de água produzida geradas a partir da extração do óleo (MAGALHÃES, E. R. B, 2018).

Em 2014, registrou-se um volume de descarte de 92000 m³ de água produzida por dia e reutilização de 60000 m³ pela Unidade de Operação do Rio Grande do Norte e Ceará (UO-RNCE). Dessa maneira, as perspectivas de algumas empresas petrolíferas como a Petrobras, Ativo de Guamaré, Ativo de Produção Alto do Rodrigues, são de adequar as características da água produzida para seu reuso, geração de vapor e injeção em reservatórios de petróleo, e redução do consumo de água dos poços artesianos (MAGALHÃES, E. R. B, 2018).

2.4. Importância da agricultura para o Brasil e Nordeste

As atividades de agricultura podem ser descritas como a produção em pequena ou larga escala de alimentos, resíduos orgânicos e combustíveis para suprir a demanda de uma determinada população (SILVA et al., 2021). Esta pode se dividir em agronegócio, que é o tipo de agricultura realizada por empresas de pequeno, médio e grande porte, a qual se utiliza de mão de obra assalariada para suprir a demanda em larga escala da produção de alimentos não somente a nível nacional como também internacional. Já a segunda divisão é a agricultura familiar que tem como foco a produção de alimentos para suprir as necessidades nutricionais da família, pondo em prática a venda somente do alimento excedente (SILVA et al., 2021). De acordo com dados divulgados no ano de 2018 pela Organização das Nações Unidas para a Alimentação e a Agricultura (FAO), 80% da produção mundial de alimentos advém da agricultura familiar, sendo no Brasil, mantida também essa taxa em que coloca o país como o 8º produtor de alimentos do mundo através das atividades de agricultura (LIMA, 2019). Dados também divulgados pelo Censo Agropecuário de 2006 corroboram com as informações supracitadas, pois com base nessa pesquisa foi relatado que a agricultura constitui a base econômica de 90% dos municípios brasileiros com até 20 mil habitantes e essas práticas correspondem a 35% do produto interno bruto nacional (LIMA, 2019).

A agricultura é uma atividade protagonista com relação a subsistência populacional e como fonte de emprego e renda em todo o território brasileiro, mas essa atividade tem uma forte presença especialmente no Nordeste, pois essa região foi uma das pioneiras na ocupação e implantação de atividades agrícolas comerciais, principalmente nos estados como Bahia, Maranhão e Piauí, em que se destacaram a plantação da cana de açúcar, fumo e algodão (PEREIRA, 2020). Entretanto a agricultura nordestina por décadas careceu e ainda carece de políticas públicas de fomento que garantam a continuidade e o fortalecimento da atividade, pois a região possui características como solo árido, escassez hídrica e outros fatores que necessitam de investimento para garantir o sucesso na produção alimentícia, com alta escala de produção e geração de alimentos de boa qualidade (PEREIRA, 2020).

Com relação ao consumo de água, o processo de produção de alimentos por meio da agricultura no Brasil e no mundo gera um gasto de cerca de 70% de água potável (ZIMMER et al., 2021). Segundo o Atlas da Irrigação, a agricultura irrigada faz o uso de 29,7 trilhões de litros de água ao ano e a expectativa é que até 2040, os números de hectares irrigados aumentem em 75% com relação ao cenário atual, que atinge a marca de 8,2 milhões de hectares (DOURADO NETO, 2021). No Nordeste, como já citado anteriormente, é uma região caracterizada pela escassez hídrica em que há constantes variações climáticas, sendo uma das consequências a falta de chuvas para regar as terras da região (SANTOS, 2020). Nesse contexto, a prática de irrigação, ação muito praticada pelos agricultores familiares nordestinos, se torna indispensável na realização de certas atividades, principalmente na produção agrícola de forma segura. (SANTOS, 2020 & AQUINO, 2020). O Rio Grande do Norte, por exemplo, utiliza irrigação em larga escala em polos na região do Vale do Açu, devido ao cultivo de banana, e nas regiões de Baraúna e Mossoró, com a produção de melão (PEREIRA, 2020).

Entretanto, devido a constante ação poluidora do homem sobre as fontes de água limpa, pode resultar na irrigação dos alimentos cultivados com águas de baixa qualidade (SANTOS, 2020). Diversos estudos apontam que o uso de água de irrigação de baixa qualidade, contendo provavelmente contaminantes pode ocasionar problemas de operacionalização em sistemas de irrigação, modificando as propriedades do solo, além de prejudicar a qualidade da cultura irrigada, alterando o sabor e as propriedades nutricionais, organolépticas e visuais dos alimentos (ARAUJO, 2015).

Com base nisso, concentrações crescentes de água são utilizadas rotineiramente nas atividades de agricultura do Brasil, e essa constante demanda pela utilização de recursos hídricos acende a necessidade de se buscar novas tecnologias e métodos para o desenvolvimento de novas fontes de abastecimento, garantindo o uso correto da água, sem

gerar desperdício e comprometer o meio ambiente e a dinâmica de sustentabilidade da produção agrícola (SANTOS, 2020). Uma das formas de reduzir o desperdício de água no cultivo agrícola seria a realização de estudos para entender os diferentes sistemas agrícolas para assim otimizar o seu aproveitamento (ZIMMER et al., 2021).

2.5. Tratamentos e alternativas de reuso da água produzida

Tendo em vista o potencial de reuso da água produzida, é necessário de antemão realizar os tratamentos correspondentes para que a mesma seja apropriada para uso e atenda aos padrões de qualidade (AL-GHOUTI, et al., 2019). Alguns fatores como salinização e sodificação do solo podem ser limitantes na questão da reutilização para a qualidade da água produzida (ECHCHELH2018). Além disso, a toxicidade de certos íons e alcalinidade aumentam como consequência da qualidade reduzida (AL-GHOUTI, et al., 2019).

O tratamento da água produzida pode ser aplicado através de várias tecnologias, tendo em vista que ela possui concentrações variadas de diversos contaminantes, possibilitando a reutilização da água produzida para fins agrícolas e industriais, e otimizando a gestão de água (AL-GHOUTI, et al., 2019). A reutilização da AP apresenta grande importância, uma vez que esses efluentes tratados são majoritariamente descartados em corpos hídricos subterrâneos (0,1%), concessionárias de abastecimento e empresas terceirizadas (2,6%), e corpos hídricos superficiais (97,3%) (MAGALHÃES, 2018).

A gestão de água produzida pode ser feita através da reinjeção na mesma formação onde o petróleo foi extraído ou em uma outra formação, tratamento e descarte no ambiente de acordo com as regulamentações vigentes, utilização em irrigação, restauração de áreas vegetais, dessedentação e água potável após devido tratamento (MIRANDA et al., 2016). Nesse sentido, vale ressaltar que a reinjeção da água produzida é uma das alternativas mais aplicadas em operações *onshore*, onde há maior possibilidade de tratamento dessa água para uso apropriado em outros fins, o que seria uma alternativa para se evitar o consumo de água doce de qualidade em formações de petróleo e reduzir os problemas ambientais (CARMO, 2017). A Estatal Brasileira de economia mista (PETROBRAS), demonstrou seu objetivo em ampliar a reutilização das águas produzidas, visto que no ano de 2017, as AP representaram um volume aproximado de 25,4 milhões de m³, que representa cerca de 12,5% da demanda de água doce que é utilizada pela indústria petrolífera (MAGALHÃES, 2018).

Dentre os métodos de tratamento mais sustentáveis, tem-se o descarte responsável de AP e a sua reinjeção nos processos de produção de petróleo e gás, os quais se caracterizam como os mais utilizados na gestão e manejo de AP em campos petrolíferos. Entretanto, é

necessário se atentar aos produtos químicos que ainda estão contidos na mesma e que podem interferir na saúde dos ecossistemas aquáticos (ASSUNÇÃO, et al., 2018). Assim, é interessante que haja a combinação de tratamentos físico, químico e biológico para atingir os diferentes objetivos e potencializar o tratamento (AL-GHOUTI, et al., 2019).

O custo e maneira de aplicar o tratamento também pode variar de acordo com a qualidade do efluente, preço da eletricidade e capacidade da planta, sendo muitas vezes preferível e mais compensatório utilizar o método mais barato. Nesse sentido, os métodos de tratamento *offshore* se apresentam como técnicas desafiadoras em decorrência da necessidade de equipamentos projetados para operação em ambientes remotos e hostis, além da ausência de espaço adequado e peso dos aparatos (AL-GHOUTI, et al., 2019). Os métodos mais utilizados atualmente para o tratamento da água produzida que geram um líquido com altos padrões e ao mesmo tempo atende as regulamentações incluem ultrafiltração (UF), nanofiltração (NF), microfiltração (MF) e osmose reversa (RO) (CABRAL & SANTOS, 2019).

Após passar por tratamento adequado, uma alternativa possivelmente eficiente é o reuso da AP para irrigação. Apesar de existirem poucos estudos referentes à utilização de AP com essa finalidade, é mostrado que águas de irrigação salinas e/ou sódicas são rotineiramente usadas em regiões de plantio e podem ser vistas como um recurso de alto valor se forem empregadas práticas de gestão adequadas (MIRANDA et al., 2016). O trabalho descrito por Echchelh (2018) constatou o potencial de aplicação da AP em terras áridas como fonte alternativa de água para irrigação, sendo o principal fator impeditivo a sua qualidade. De fato, se a AP obedecer a determinados padrões após a aplicação dos tratamentos, este poderia ser um recurso valioso para irrigação de culturas (AL-GHOUTI, et al., 2019).

Além da qualidade, o uso da AP está diretamente relacionado com as propriedades do solo, como a salinidade, sodicidade e toxicidade à biota do solo e às plantas, além de drenagem, textura e composição química (MIRANDA et al., 2016). Foi demonstrado que a irrigação com águas com alta razão de adsorção de sódio (RAS) pode causar a compactação do solo devido à possível dispersão das partículas de argila, reduzindo sua permeabilidade (MIRANDA et al., 2016).

Não obstante, diferentes culturas apresentam respostas distintas à composição do solo, influenciando diretamente no seu rendimento devido à absorção de água (MIRANDA et al., 2016). Portanto, diante dos riscos de contaminação, é recomendada a utilização de espécies não alimentares ou ornamentais (CRISÓSTOMO et al., 2018).

A mamona (*Ricinus communis L.*) é uma planta conhecida por seu valor econômico, destacando-se na produção de óleo e biodiesel e demonstrou adaptação às condições climáticas

da região Nordeste no Brasil, sendo uma oportunidade que possibilita a geração de emprego e renda na agricultura familiar (MIRANDA et al., 2016). Miranda (2016) demonstrou que o uso da AP tratada por osmose reversa (APO) utilizada na irrigação da mamoneira 'BRS Energia' não afeta a produtividade dessa cultura, podendo ser utilizada sem restrições, ao passo que o uso da AP tratada por filtração (APF) diminui a produtividade além de elevar os níveis de salinidade e sodicidade do Neossolo Quartzarênico.

Um resultado semelhante foi demonstrado por Crisóstomo (2018), no qual a água produzida filtrada aumentou o risco de salinização e sodificação do solo em culturas de abacaxizeiro ornamental (*Ananas comosus var. bracteatus*) ao passo que o tratamento por osmose reversa, poderia ser uma alternativa para a produção dessa cultura em regiões próximas da indústria de exploração do petróleo.

Na cultura de girassol (*Helianthus annuus*) ornamental 'Sunbright', a água produzida filtrada e tratada por osmose reversa demonstraram menor na concentração de nutrientes trocáveis em um Quartzopiso Típico, não tendo capacidade de alterar o desempenho agrônomo dessas culturas quando comparada à irrigação com água subterrânea do aquífero Açú (WEBER, 2017).

Além disso, Magalhães (2018) demonstrou que a AP pode ser utilizada como fonte de carbono para a produção de ramnolipídeos por *Pseudomonas aeruginosa*, além de ser um possível substituto da água de cultivo.

Outra alternativa seria seu uso em gramado como um recurso hídrico alternativo como sugerido por Shaikh (2020), ao testar a aplicabilidade da AP em *Cynodon dactylon* and *Paspalum* sp.. Além disso, a bioacumulação de metais pesados em gramados se dá como um possível modo de removê-los da água produzida evitando o acúmulo nos solos pela absorção através da parte aérea e das raízes da planta, seguida da remoção da planta do local (SHAIKH, 2020). O estudo demonstrou que as concentrações de NaCl podem ser a causa primária dos efeitos observados nas espécies estudadas, sugerindo que a remoção de sal poderia potencializar o uso da AP em plantações.

Desse modo, o uso da fitorremediação através de plantas aquáticas e terrestres é dito como uma abordagem promissora para o tratamento de água produzida por petróleo e gás contaminada por metais graças à facilidade de uso, baixo custo e efeitos ambientais positivos (CLAY & PICHTEL, 2019).

3. METODOLOGIA

Baseando-se nos objetivos deste trabalho definidos anteriormente, a metodologia aplicada é uma adaptação aquela descrita por Santos (2021). A priori foi realizada a revisão de literatura e seleção dos artigos fundamentados nas palavras-chave “*irrigation*” e “*produced water*”, buscando em bancos de dados como o *Google Scholar* e Periódicos CAPES.

A partir do referencial teórico, os dados foram obtidos por Gratyelly (2018), que representam a região escolhida (Mossoró/RN), a partir dos quais foi realizado um comparativo entre as variáveis analisadas e os valores das mesmas variáveis estabelecidos pelas resoluções CONAMA 357/2005 e COEMA nº 2/2017, as quais estabelecem padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos no ambiente.

3.1. Área de estudo

A região de Mossoró está situada no estado do Rio Grande do Norte, na região Nordeste do Brasil, localizada a 278 km da capital Natal (MOSSORÓ, 2023). Sua área total é de 2.110,207 km², e clima é classificado como semiárido, estendendo seu período chuvoso de fevereiro a abril e atingindo em média, a temperatura de 27,4 °C, com máxima de 36,0 °C e mínima de 21,0 °C, com umidade relativa em 70% (MOSSORÓ, 2023).

Com relação a vegetação, existem três tipos: caatinga hiperxerófila, carnaubal e a vegetação halófito (MOSSORÓ, 2023). A caatinga hiperxerófila é composta por vegetação de espécies de plantas com caráter mais seco (DIAS, 2014). Já a vegetação do tipo carnaubal, é composta por palmeiras do tipo Carnaúba que crescem a margem dos rios (MORO, 2015). A vegetação halófito, por sua vez, é composta por espécies, comumente herbáceas e rasteiras, que toleram solos com uma alta concentração de sais (DIAS, 2014).

3.2. Caracterização da água produzida

Foi realizada a caracterização da água produzida gerada na região de Mossoró-RN, bem como as atividades desenvolvidas na região, particularidades do solo, clima e vegetação. A escolha se justifica ao considerar que o município é gerador de AP, visto que é produtor de petróleo, além de sofrer com a seca e escassez de água (GRATYELLY, F. 2018). Os dados obtidos referem-se à água produzida tratada com AGEFLOC DW-3753, polímero eletrônico que apresenta alta presença catiônica quando exposto à água e alta capacidade coagulante, utilizado para a floculação e remoção de matérias orgânicas e inorgânicas. Além disso, a água

de abastecimento empregada para a diluição da água produzida tratada foi originária da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte (CAERN) (GRATYELLY, F. 2018).

A Tabela 6 apresenta os parâmetros que foram considerados para a caracterização da água produzida, bem como o método de análise utilizado, baseados nas consignações da Embrapa, e analisados no período de setembro a dezembro:

Tabela 9. Caracterização da água produzida

Parâmetro	Método
Potencial hidrogeniônico (pH)	pHmetro
Condutividade elétrica	Condutivímetro
Concentrações de cálcio (Ca ²⁺), magnésio (Mg ²⁺), cloreto (Cl ⁻), carbonato (CO ₃ ⁻²) e bicarbonato (HCO ₃ ⁻)	Método titulométrico (mmol _c L ⁻¹)
Sódio (Na ⁺) e potássio (K ⁺)	Fotômetro de chama (mmol _c L ⁻¹)
Cobre (Cu), zinco (Zn), ferro (Fe), manganês (Mn), níquel (Ni), cádmio (Cd) e chumbo (Pb)	Espectrofotometria de absorção atômica (mg L ⁻¹)

Fonte: Fabrícia Gratyelli (2018).

A partir dos valores de Na⁺, Ca²⁺ e Mg²⁺ obteve-se a relação de adsorção de sódio (RAS),

conforme equação:
$$RAS = \frac{Na^+}{\left(\sqrt{\frac{Ca^{2+} + Mg^{2+}}{2}} \right)}$$

Nas quais:

RAS - Razão de adsorção de sódio, mmol_c L⁻¹;

Na⁺ - Concentração de sódio, mmol_c L⁻¹;

Ca²⁺ - Concentração de cálcio mmol_c L⁻¹e;

Mg²⁺ - Concentração de magnésio, mmol_c L⁻¹.

(GRATYELLY, F. 2018).

3.3. Análise de risco

Os resultados foram avaliados utilizando a estatística descritiva e comparados com legislações vigentes de qualidade de água voltada para irrigação (resoluções CONAMA 357/2005 e COEMA n° 2/2017).

Os tratamentos foram baseados nas atividades realizadas por Gratyelly (2018):

T1 - 100% de água de abastecimento e 0% de água produzida tratada;

T2 - 75% de água de abastecimento e 25% de água produzida tratada;
 T3 - 50% de água de abastecimento e 50% de água produzida tratada;
 T4 - 25% de água de abastecimento e 75% água produzida tratada;
 e T5 - 0% de água de abastecimento e 100% de água produzida tratada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

O presente trabalho comparou a eficácia de cinco tratamentos da AP (T1, T2, T3 e T4) quando voltados para a reutilização desta como água de irrigação de acordo com os padrões definidos pelas resoluções CONAMA nº357/2005 (Tabela 7) e COEMA nº 2/2017 (Tabela 8).

Tabela 10. Comparação entre tratamentos da água produzida com a resolução CONAMA 357/2005

PARÂMETROS	CONAMA 357/2005	TRATAMENTOS				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH	6,0 a 9,0	8,6	8,73	8,64	8,46	8,56
CE (dS m ⁻¹)	/	0,56	0,66	0,66	0,7	0,71
Ca ₂ ⁺ (mmolc L ⁻¹)	/	1,39	1,4	1,2	1	2
Mg ₂ ⁺ (mmolc L ⁻¹)	/	0,11	0,6	0,8	0,7	0,5
Na ⁺ (mmolc L ⁻¹)	/	2,3	3,8	3,3	3	4
RAS (mmolc L ⁻¹)	/	2,65	3,8	3,3	3,2	3,6
K ⁺ (mmolc L ⁻¹)	/	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
Cl ⁻ (mmolc L ⁻¹)	/	2,4	4	5	3	3
CO ₃ ⁻ (mmolc L ⁻¹)	/	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6
HCO ₃ ²⁻ (mmolc L ⁻¹)	/	2	3,5	4	3	4
Cu (mg L ⁻¹)	0,013	0,07	0,08	0,09	0,075	0,085
Zn (mg L ⁻¹)	5	0,027	0,024	0,028	0,019	0,054
Mn (mg L ⁻¹)	0,5	0,007	0,008	0,013	0,012	0,069
Fe (mg L ⁻¹)	5,0	0,008	0,035	0,018	0,022	0,038
Ni (mg L ⁻¹)	0,025	0,011	0,017	0,009	0,014	0,007
Cd (mg L ⁻¹)	0,01	0,006	0,013	0,008	0,008	0,012
Pb (mg L ⁻¹)	0,033	0,11	0,13	0,28	0,24	0,13
Cr (mg L ⁻¹)	0,05	0,011	0,022	0,043	0,056	0,055
Al (mg L ⁻¹)	0,2	0,076	0,029	0,131	0,036	0,005
As (mg L ⁻¹)	0,033	0	0,006	0	0	0
Ba (mg L ⁻¹)	1,0	0,619	2,673	3,191	3,903	5,219

Fonte: Fabrícia Gratyelli (2018) e Mistério Público Federal (2005).

Tabela 11. Comparação entre tratamentos da água produzida com a resolução COEMA nº 2/2017

PARÂMETROS	COEMA 2/2017	TRATAMENTOS				
		T1	T2	T3	T4	T5
pH	5,0 a 8,5	8,6	8,73	8,64	8,46	8,56
CE (dS m ⁻¹)	3,0	0,56	0,66	0,66	0,7	0,71
Ca ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	/	1,39	1,4	1,2	1	2
Mg ²⁺ (mmol _c L ⁻¹)	/	0,11	0,6	0,8	0,7	0,5
Na ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	/	2,3	3,8	3,3	3	4
RAS (mmol _c L ⁻¹) ^{1/2}	15	2,65	3,8	3,3	3,2	3,6
K ⁺ (mmol _c L ⁻¹)	/	0,3	0,3	0,4	0,4	0,5
Cl ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	/	2,4	4	5	3	3
CO ₃ ⁻ (mmol _c L ⁻¹)	/	0,5	0,6	0,7	0,7	0,6
HCO ₃ ²⁻ (mmol _c L ⁻¹)	/	2	3,5	4	3	4
Cu (mg L ⁻¹)	1	0,07	0,08	0,09	0,075	0,085
Zn (mg L ⁻¹)	5,0	0,027	0,024	0,028	0,019	0,054
Mn (mg L ⁻¹)	1,0	0,007	0,008	0,013	0,012	0,069
Fe (mg L ⁻¹)	15,0	0,008	0,035	0,018	0,022	0,038
Ni (mg L ⁻¹)	2,0	0,011	0,017	0,009	0,014	0,007
Cd (mg L ⁻¹)	0,2	0,006	0,013	0,008	0,008	0,012
Pb (mg L ⁻¹)	0,5	0,11	0,13	0,28	0,24	0,13
Cr (mg L ⁻¹)	0,1	0,011	0,022	0,043	0,056	0,055
Al (mg L ⁻¹)	10	0,076	0,029	0,131	0,036	0,005
As (mg L ⁻¹)	0,5	0	0,006	0	0	0
Ba (mg L ⁻¹)	5,0	0,619	2,673	3,191	3,903	5,219

Fonte: Fabrícia Gratyelli (2018) e LEGISWEB (2017).

A avaliação da qualidade da água contempla um conjunto de parâmetros envolvendo as características físicas, químicas e biológicas que determinam sua aplicabilidade. Dentre eles, destacam-se: Potencial Hidrogeniônico (pH), Condutividade Elétrica (CE), Total de Sais Dissolvidos (TSD), íons: sódio (Na⁺), potássio (K⁺), cálcio (Ca⁺⁺), magnésio (Mg⁺⁺), cloretos (Cl⁻), sulfatos (SO₄⁺⁺), carbonatos (CO₃⁻) e bicarbonatos (HCO₃⁻), boro (B⁺) (ALMEIDA, 2010). Geralmente, as águas de irrigação contêm em sua maioria íons Ca⁺⁺, Mg⁺⁺, Na⁺, HCO₃⁻, SO₄⁺ e Cl⁻, de modo que a proporção relativa desses pode ser utilizada para avaliar o uso da água para irrigação, visto que dependendo da textura, estrutura e permeabilidade do solo, determinada água poderá ser utilizada ou não (CORDEIRO, 2001).

O pH é um indicador de qualidade do solo, visto que está diretamente relacionado à solubilidade dos nutrientes, concentração da solução e forma iônica dos nutrientes, afetando a absorção e utilização dos nutrientes pelas plantas (BERNERT, 2015). O valor do pH dos 5 tratamentos observados se enquadram na faixa de 6,0 – 9,0, que são os valores para reuso em

irrigação e lançamento de efluente determinado pela CONAMA nº 357/2005, além disso, em todos os casos os valores encontram-se acima de 8, caracterizando um pH alcalino. No entanto, com relação a Resolução COEMA nº 2/2017, a maioria dos valores se apresentou superior ao limite de 8,5, com exceção de T4 (8,46). Bernet (2015), estipulam o limite de pH entre 5,5 e 7,0, visto que o pH elevado pode ocasionar o entupimento dos sistemas.

Um dos critérios mais importantes relacionado a qualidade da água para irrigação é a concentração total de sais, podendo estas serem classificadas segundo condutividade elétrica (CE). Desse modo, as águas podem se dividir em: salinidade baixa, salinidade média, salinidade alta e salinidade muito alta (CORDEIRO, 2001). A Condutividade Elétrica (CE) média teve variação entre 0,56 a 0,71 dS m⁻¹, portanto, todos os valores foram inferiores a 3,0 dS m⁻¹ que é o limite definido pela Resolução COEMA nº 2/2017. Esse valor corresponde ao descrito por Bernert (2015), que define o limite de 2,0 dS m⁻¹ na água de irrigação após a adição da solução de fertilizantes, sendo toleráveis valores superiores somente em culturas tolerantes a salinidade. Segundo os autores, plantas cultivadas com CE acima do limite proposto apresentam queda de produtividade (BERNERT, 2015).

Os valores médios de cálcio e magnésio variaram de 1,00 a 2,00 mmol_c L⁻¹ e de 0,11 a 0,80 mmol_c L⁻¹. Almeida (2010) define o limite de 0 a 20 mmol_c L⁻¹ para o cálcio e de 0 a 5 mmol_c L⁻¹ para o magnésio, nesse sentido, estes elementos encontram-se dentro dos teores estipulados, não apresentando risco para uso em irrigação. Lima (2018) destaca que caso a concentração de cálcio exceda o limite de 6 mmol_c L⁻¹, pode ocorrer a obstrução dos canais de irrigação quando associados à certos fertilizantes. Isso também é verdade quando a concentração de bicarbonato se encontra acima de 5 mmol_c L⁻¹ causando problemas mais graves (LIMA, 2018). Os teores de carbonato e bicarbonato das diluições de água produzida tratada estavam entre 0,50 e 0,70 mmol_c L⁻¹ e de 2,00 a 4,00 mmol_c L⁻¹, estando dentro do limite citado.

O uso do sódio como parâmetro de qualidade se dá devido sua relação com a permeabilidade do solo, a nutrição e toxicidade das plantas (ALMEIDA, 2010). O teor sódio médio das diluições de água produzida atingiu valores de 2,30 a 4,00 mmol_c L⁻¹. Esses valores encontram-se dentro do limite de 15 mmol_c L⁻¹ estabelecido na COEMA nº 2/2017.

A análise do efeito dos sais dissolvidos sobre as características físico-químicos dos solos irrigados influencia manutenção da sua capacidade produtiva (CORDEIRO, 2001). A Relação De Adsorção De Sódio (RAS) é definido como a proporção entre o Na⁺ e o com o Ca²⁺ e o Mg²⁺, presentes no solo, que são cátions divalentes que competem com o sódio pelos lugares de troca do solo. Esta relação pode conduzir a degradação do solo quando o íon sódio

predomina sob os outros dois e substitui o cálcio e magnésio, resultando na perda de estrutura e permeabilidade do solo (ALMEIDA, 2010). O limite de RAS definido por Almeida (2010) varia de 0 –15 (mmol_c L⁻¹) ½, portanto, os valores médios de RAS obtidos foram inferiores tanto ao limite da COEMA nº 2/2017, quanto aquele definido pelo autor.

Não obstante, a maioria das águas contém microelementos cujas concentrações normalmente não ultrapassam o limite de 0,1 mg L⁻¹ (ALMEIDA, 2010). Com relação aos metais, no geral, a maioria apresenta valores que estão abaixo dos limites estabelecidos pela CONAMA nº 357/2005, com exceção do cobre (Cu), chumbo (Pb) e bário (Ba). Não obstante, os níveis de cádmio (Cd) e cromo (Cr), também se encontraram acima dos limites estabelecidos em certas diluições, sendo os tratamentos T2 e T5 para Cd e T4 e T5 para Cr. O mesmo é verdade com relação à COEMA nº 2/2017, com exceção do bário (Ba) em T5.

Em excesso, esses microelementos prejudicam o crescimento das plantas e acabam se acumulando nos tecidos, podendo resultar em efeitos tóxicos sobre as plantas cultivadas (ALMEIDA, 2010). A tabela 9 apresenta os limites recomendados desses microelementos definidos por Almeida (2010):

Tabela 12. Concentrações máximas de microelementos para a água de irrigação.

Elemento	Concentração
Al (alumínio) (mg L ⁻¹)	5,00
As (arsênico) (mg L ⁻¹)	0,10
Be (berílio) (mg L ⁻¹)	0,10
Cd (Cádmio) (mg L ⁻¹)	0,01
Co (cobalto) (mg L ⁻¹)	0,05
Cr (cromo) (mg L ⁻¹)	0,10
Cu (cobre) (mg L ⁻¹)	0,20
F (flúor) (mg L ⁻¹)	1,00
Fe (ferro) (mg L ⁻¹)	5,00
Li (lítio) (mg L ⁻¹)	2,50
Mn (manganês) (mg L ⁻¹)	0,20
Ni (níquel) (mg L ⁻¹)	0,20
Mo (molibdênio) (mg L ⁻¹)	0,01
Pb (chumbo) (mg L ⁻¹)	5,00
Se (selênio) (mg L ⁻¹)	0,02
V (vanádio) (mg L ⁻¹)	0,10

Tabela 13. Concentrações máximas de microelementos para a água de irrigação.

Elemento	Concentração
Zn (zinco) (mg L ⁻¹)	2,00

Fonte: Almeida (2010).

Em altas concentrações, o cobre (Cu) pode ser tóxico para diversos tipos de plantas (KUMMER, 2012). Os valores do cobre variaram de 0,070 a 0,085 mg L⁻¹, o que não obedeceu ao limite de 0,013 mg/L estabelecido pela CONAMA n° 357/2005. Em contrapartida, esses valores estão dentro do limite estabelecido pela COEMA n° 2/2017, definido como 1 mg/L, também estando de acordo com o limite 0,2 mg/L citado por Almeida (2010). O zinco (Zn), por sua vez, também pode apresentar toxicidade em diferentes concentrações, e apresentou faixas que variaram de 0,019 a 0,054 mg L⁻¹ nas diluições, estando dentro dos padrões de 5 mg/L definidos por ambas as resoluções. Essa toxicidade pode ser reduzida em solos com pH maior que 6 e em solos orgânicos ou de textura fina (KUMMER, 2012).

Os teores de manganês (Mn) se mantiveram no limite de 0,007 a 0,069 mg L⁻¹. Esse metal, mesmo em baixas concentrações, é considerado tóxico em solos ácidos (ALMEIDA, 2010). Já o ferro (Fe), apesar de não ser considerado tóxico, pode colaborar para a acidificação do solo e perda de fósforo e molibdênio (KUMMER, 2012). Seus valores variaram entre 0,008 a 0,038 mg L⁻¹ nas diluições. Ambos estão de acordo com as resoluções citadas, além de estarem dentro do limite de 0,2 e 5 mg/L citado por Almeida (2010).

As concentrações de níquel (Ni) se mantiveram entre 0,007 e 0,017 mg L⁻¹, valores estes que estão dentro dos padrões citados nas resoluções. Nos níveis adequados, o níquel é fundamental para que a nutrição com nitrogênio seja apropriada nas plantas, além de participar de processos como fotossíntese, crescimento vegetal, resistência a doenças, germinação e senescência (SHIVAY & PRASAD, 2019). Segundo Almeida (2010), valores entre 0,5 e 1,0 mg L⁻¹ podem ser tóxicos para certas plantas e essa toxicidade pode ser reduzida quando presentes em ambientes com pH menor que 7.

Nas concentrações T2 e T5, os teores de cádmio (Cd) ultrapassaram o limite de 0,01 mg/L proposto na CONAMA n° 357/2005. Apesar disso, os valores de 0,006 a 0,013 mg/L estão de acordo com o que define a COEMA n° 2/2017, que é 0,2 mg/L. A presença desse metal deve se apresentar em baixos percentuais visto que há potencial acumulação em solos e plantas, podendo ser inclusive tóxico para seres humanos quando em concentrações acima de 0,01 (ALMEIDA, 2010).

Nenhuma das diluições de água produzida apresentou valores de chumbo (Pb) que se enquadram no limite de 0,033 mg/L citado na CONAMA n° 357/2005. Em altas concentrações este metal pode inibir o crescimento celular, limitando o desenvolvimento da planta (ALMEIDA, 2010). Em contrapartida, os valores obtidos entre 0,11 e 0,28 mg L⁻¹ estão de acordo com a COEMA n° 2/2017, que estabelece o limite até 0,5 mg/L.

Os teores de crômio (Cr) também se enquadraram com o limite de 0,1 mg/L estabelecido na COEMA n° 2/2017, e variaram de 0,011 a 0,056 mg L⁻¹. Contudo, as diluições T4 e T5 ultrapassaram o limite de 0,05 mg/L, citado na CONAMA n° 357/2005, resultando em 0,056 e 0,055 mg/L respectivamente. A toxicidade desse elemento ainda não é bem estabelecida e este é reconhecido como elemento não essencial (ALMEIDA, 2010).

O alumínio (Al), por sua vez, resultou em valores que variaram de 0,005 a 0,131 mg/L, estando dentro do padrão citado em ambas as resoluções, assim como o arsênio (As). Esse limite está de acordo com o que foi citado por Almeida (2010), estabelecido em 5,0 mg/L e 0,10 mg/L respectivamente. O autor ainda acrescenta que quantidades superiores de alumínio podem eliminar a toxicidade em solos alcalinos devido a ocorrência de precipitação, ao passo que pode tornar solos ácidos improdutivos.

Os teores de bário, oscilaram de 0,619 e 5,219 mg L⁻¹, de modo que somente o T1 (0,619 mg/L) está no padrão definido pela CONAMA n° 357/2005, enquanto a maioria deles se enquadra na COEMA n° 2/2017, que define o limite em 5,0 mg/L, com exceção do T5 (5,219 mg/L). Este elemento é considerado tóxico, mesmo em baixas concentrações, devido a sua característica de acumulação no ambiente, prejudicando também os animais (GRAÇA, 2022). Não obstante, o sulfato de bário (BaSO₄) possui alto potencial incrustante, sendo altamente resistente às práticas convencionais de limpeza o que aumenta os custos no tratamento de água (GRAÇA, 2022).

Em suma, após a análise dos elementos, nenhum dos tratamentos citados está 100% de acordo com a resolução CONAMA n° 357/2005, o que não caracteriza a água produzida como ideal para irrigação. Em contrapartida, somente o tratamento T4, definido como 25% de água de abastecimento e 75% água produzida tratada, mostrou-se de acordo com a COEMA n° 2/2017, sendo considerado o ideal para utilização para fins de irrigação. Não obstante, outros tratamentos também se enquadraram no padrão em grande parte dos seus elementos, sendo o pH a principal medida fora do esperado.

Desse modo, comprova-se que mistura do efluente com água de abastecimento, é uma boa estratégia para diminuir o conteúdo de substâncias dissolvidas, reduzindo a concentração dos elementos potencialmente tóxicos, o que pode ser utilizado como estratégia para o reuso de

água (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010). Além disso, a adição de corretivos no solo, como o gesso, cal, ácido sulfúrico etc., ou ainda a seleção de plantas tolerantes aos elementos problemáticos, são outras estratégias igualmente eficientes que podem ser acopladas à essa prática (MONTE & ALBUQUERQUE, 2010).

5. CONCLUSÃO

A água de reuso é uma alternativa possível e eficiente para mitigar a problemática da escassez hídrica, possibilitando que os volumes de água gerados pela extração de petróleo possam ter aplicabilidade benéfica como água de irrigação. Neste estudo, a caracterização físico-química da água produzida foi avaliada com o objetivo de compará-la com as normas vigentes que envolvem a minimização dos impactos da aplicação da AP no meio ambiente, o que se converteu em resultados considerados positivos, visto que pelo menos um dos tratamentos (T4) mostrou-se 100% compatível com a lei vigente, COEMA nº 2/2017. Não obstante, muitos parâmetros estiveram de acordo com a resolução CONAMA nº 357/2005, com exceção somente do Cu, Pb e Ba, além do Cd em T2 e T5; e o Cr em T4 e T5. Todavia, a utilização desse recurso implica na aplicação do tratamento de acordo com a composição da água produzida, visto que esta pode variar em diferentes regiões, não tornando viável a aplicação de uma técnica de tratamento padrão, mas sim, avaliações que resultem na melhor combinação de técnicas de tratamento e reutilização, atrelado ao uso de outras estratégias de mitigação, tornando a análise de risco uma ferramenta avaliativa que estipula potenciais perigos e auxilia na tomada de decisão.

6. REFERÊNCIAS

AL-GHOUTI, M. A. et al. Produced water characteristics, treatment and reuse: A review. **Journal of Water Process Engineering**, v. 28, p. 222-239, 2019.

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Cruz das Almas: Embrapa Mandioca e Fruticultura, 2010.

AQUINO, J. R.; ALVES, M. O.; VIDAL, M. F. Agricultura familiar no Nordeste do Brasil: um retrato atualizado a partir dos dados do Censo Agropecuário 2017. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 51, p. 31-54, 2020.

ARAÚJO, F. V. et al. Avaliação da qualidade da água utilizada para irrigação na bacia do Córrego Sujo, Teresópolis, RJ. **Cadernos Saúde Coletiva**, v. 23, p. 380-385, 2015.

ASSUNÇÃO, M. V. D.; VIEIRA, M.M.; ALMEIDA, M.R. Fatores influenciadores na produção indesejada da água produzida de petróleo: um estudo na Bacia Potiguar/Brasil. **HOLOS**, v.2, p. 146-160, 2018.

BARBOSA, A. M. A. et al. Caracterização e análise do potencial da água produzida como alternativa para reuso. **HOLOS**, Ano 35, v.8, e9200, 2019.

BERNERT, M. R. et al. Características do pH e condutividade elétrica no manejo de fertirrigação. **Revista Brasileira de Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, v. 8, n. 1, 2015.

CABRAL, R.C.; SANTOS, D. F. 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**, v. 5, n. 2, p. 175-175, 2019.

CLAY, L.; PICHTEL, J. Treatment of simulated oil and gas produced water via pilot-scale rhizofiltration and constructed wetlands. **International Journal of Environmental Research**, v. 13, n. 1, p. 185-198, 2019.

CORDEIRO, G. G. Qualidade de Água para Fins de Irrigação: conceitos básicos e práticos. **EMBRAPA**, 2001.

CRISÓSTOMO, L.A. et al. Reuso da Água Produzida na Irrigação do Abacaxizeiro Ornamental: Efeitos sobre as Características Químicas do Solo. **Embrapa Agroindústria Tropical**, p. 01-28, 2018.

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

DAVARPANA, A. The integrated feasibility analysis of water reuse management in the petroleum exploration performances of unconventional shale reservoirs. **Applied Water Science**, v. 8, n. 2, p. 1-12, 2018.

DIAS, P. M. S.; DIODATO, M. A.; GRIGIO, A. M. Levantamento fitossociológico de remanescentes florestais no município de Mossoró-RN. **Revista Caatinga**, v. 27, n. 4, p. 183-190, 2014.

DOURADO NETO, Durval et al. **Atlas Irrigação: uso da água na agricultura irrigada**. Brasília, DF: ANA. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/publicacoes-1>. Acesso em: 16 jan. 2023. , 2021

ECHCHELH, A.; HESS, T.; SAKRABANI, R. Reusing oil and gas produced water for irrigation of food crops in drylands. **Agricultural Water Management**, v. 206, p. 124-134, 2018.

EPE, Perspectivas de implantação de refinarias de pequeno porte no Brasil - NOTA TÉCNICA DPG-SPT Nº 01/2019. **Empresa de Pesquisa Energética**, 2019.

FIGUEREDO, K. S. L. Hidroquímica e avaliação da água produzida em um campo maduro de petróleo da bacia potiguar para fins de irrigação. **Carpe Diem: Revista Cultural e Científica do UNIFACEX**, v. 12, n. 01, p. 1-15, 2014.

GRAÇA, J. K. .; HATAISHI, L. A.; GRAÇA, J. K. .; TESSAROTTO, A.; BATISTELA, V. R. . Traditional and emerging barium removal techniques for water and wastewater treatment. **Research, Society and Development**, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e45811225809, 2022.

KUMMER, A. C. B. et al. Qualidade da água residuária para irrigação do trigo. **Irriga: Brazilian Journal of Irrigation and Drainage**, 2012.

LAURETT, R.; PAÇO, A.; MAINARDES, E. W. Sustainable development in agriculture and its antecedents, barriers and consequences—an exploratory study. **Sustainable Production and Consumption**, v. 27, p. 298-311, 2021.

LEGISWEB. Resolução COEMA Nº 2: DE 02/02/2017. **LEGISWEB**, 2017. Disponível em: <https://www.legisweb.com.br/legislacao/?id=337973>. Acesso em: 09 jan. 2023.

LIMA, A. F.; SILVA, E. G. A.; IWATA, B.F. Agriculturas e agricultura familiar no Brasil: uma revisão de literatura. **Retratos de Assentamentos**, v. 22, n. 1, p. 50-68, 2019.

MAGALHÃES, E. R. B. et al. Use of different agroindustrial waste and produced water for biosurfactant production. **Biosciences Biotechnology Research Asia**, v. 15, n. 1, p. 17-26, 2018.

- MAROUELLI, W. A. et al. Qualidade e segurança sanitária da água para fins de irrigação. **Embrapa Hortaliças-Circular Técnica (INFOTECA-E)**, 2014.
- MIRANDA, F. R. et al. Irrigação com Água Produzida na Extração de Petróleo: Efeitos sobre a Salinidade do Solo e a Produtividade da Mamoneira. Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento. Fortaleza: **Embrapa Agroindústria Tropical**, 2016.
- MONTE, H. M.; ALBUQUERQUE, A. Reutilização de águas residuais. **Guia Técnico**, 2010.
- MOSSORÓ, Prefeitura. Geografia. **Prefeitura de Mossoró**, 2023. Disponível em: <https://www.prefeiturademossoro.com.br/paginas/geografia>. Acesso em: 02 jan. 2023.
- MORO, Marcelo Freire et al. Vegetação, unidades fitoecológicas e diversidade paisagística do estado do Ceará. **Rodriguésia**, v. 66, p. 717-743, 2015.
- MMA. Programa Água Doce - Documento Base. **Ministério do Meio Ambiente**, p. 324, 2012.
- MPF, Ministério Público Federal. Resolução CONAMA nº 357, de 17 de março de 2005. **Ministério Público Federal**, 2005. Disponível em: <https://www.mpf.mp.br/atuacao-tematica/ccr4/dados-da-atuacao/projetos/qualidade-da-agua/legislacao/resolucoes/resolucao-conama-no-357-de-17-de-marco-de-2005/view>. Acesso em: 09 jan. 2023.
- NEFF, J.; LEE, K.; DEBLOIS, E.M. 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, 2011.
- PEREIRA, C. Análise do uso de insumos tecnológicos na agricultura nordestina. **Raízes: Revista de Ciências Sociais e Econômicas**, v. 40, n. 2, p. 325-346, 2020.
- SANTOS, A. S. et al. Importância do reúso de água para irrigação no Semiárido. **Meio Ambiente (Brasil)**, v. 2, n. 3, 2020.
- SANTOS, R.A.A. **Reúso de água destinada à produção agrícola**. 2021.
- SILVA FILHO, D. I. Processo da reinjeção da água produzida na recuperação secundária dos poços de petróleo de Catu/BA, para reduzir os riscos ambientais. 2013.
- SHAIKH, S.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.

SHIVAY, Y. S.; PRASAD, R.. Nickel in environment and plant nutrition: A mini review. **International Journal of Plant and Environment**, v. 5, n. 04, p. 239-242, 2019.

THOMAS, J. E. Fundamentos de engenharia de petróleo. 2. ed. Rio de Janeiro: intercência: **Petrobras**, 2004.

VIANNA, L. F. RESOLUÇÃO CONAMA Nº 393. **Revista Brasileira de Direito do Petróleo, Gás e Energia**, v. 5, n. 1, p. 211-224, 2018.

WEBER, O. B. et al. Production of ornamental sunflower irrigated with oilfield produced water in the Brazilian semiarid region. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 52, p. 443-454, 2017.

ZHENG, J. et al. Offshore produced water management: A review of current practice and challenges in harsh/Arctic environments. **Marine pollution bulletin**, v. 104, n. 1-2, p. 7-19, 2016.

ZIMMER, T. et al. Water Use Over Agriculture and Grassland in Subtropical Brazil. In: **AGU Fall Meeting Abstracts**. 2021. p. B15D-1470.