

12º CONGRESSO BRASILEIRO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO EM PETRÓLEO E GÁS



TÍTULO DO TRABALHO:

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO DAS EMPRESAS PRODUTORAS ONSHORE DA BACIA POTIGUAR PARA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS OLEAGINOSAS E GRAMÍNEAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL E BIOENERGIA

AUTORES:

Lívia Christina de Araújo Silva Moura, Darliane Cristina Soares de Souza, Paulo Reginaldo Costa Filho e Frederico Ribeiro do Carmo

INSTITUIÇÃO:

Universidade Federal Rural do Semiárido (UFERSA)

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DA UTILIZAÇÃO DA ÁGUA PRODUZIDA DO PETRÓLEO DAS EMPRESAS PRODUTORAS ONSHORE DA BACIA POTIGUAR PARA IRRIGAÇÃO DE CULTURAS OLEAGINOSAS E GRAMÍNEAS PARA PRODUÇÃO DE BIOCOMBUSTÍVEL E BIOENERGIA

Resumo

A água produzida do petróleo (AP) é o principal efluente gerado na produção de petróleo e gás natural. Seu manejo é considerado um desafio para as empresas produtoras de petróleo *onshore* localizadas na Bacia Potiguar. Portanto, torna-se crucial adotar medidas de reutilização dessa água, sendo a irrigação agrícola uma das mais promissoras, uma vez que ajuda a reduzir a demanda por água doce, especialmente em regiões que sofre com a escassez hídrica. O Brasil, por meio de sua NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada, em inglês), apresentada no Acordo de Paris, estipulou como uma de suas metas de descarbonização o aumento da participação de biocombustível e bioenergia em sua matriz energética. Nesse sentido, empresas petrolíferas estão buscando ampliar suas atividades em energias renováveis, portanto, utilizar a AP na irrigação de matérias-primas para produção de biocombustíveis apresenta-se como estratégia promissora para as empresas produtoras de petróleo que atuam na Bacia Potiguar. Assim, este trabalho teve como objetivo avaliar o potencial da reutilização da AP para o cultivo agrícola de matérias-primas para a produção de biodiesel e bioenergia. Uma análise quantitativa foi realizada, sendo utilizados parâmetros como: volume de AP gerado por campo, demanda hídrica e produtividade de cada espécie, teor de óleo nas sementes e poder calorífico inferior (PCI). O histórico de produção de água produzida das operadoras *onshore* atuantes na Bacia Potiguar foi obtido no site da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2021 a 2023). Vale salientar que foi utilizado 50% do volume produzido no período indicado. Em função do volume de água produzida utilizado, foi possível estimar a área de plantio e o volume de biodiesel gerado para as culturas oleaginosas (Macaúba, Algodão, Girassol, Mamona, Cártamo e Soja). O girassol apresentou maior potencial apresentando valores médios de produção de 2.790.583,60 L de biodiesel anualmente. Já para as espécies para bioenergia (Capim Elefante, Sorgo Biomassa, Cana Energia, e Bambu), a espécie mais promissora foi o sorgo biomassa, capaz de produzir energia para substituição de em média 114.650 t de coque de petróleo por ano, combustível bastante utilizado pela indústria cimenteira atuante na região. Uma vez que as emissões líquidas geradas na queima da biomassa são consideradas nulas, pois o dióxido de carbono emitido durante a queima foi capturado durante o crescimento da matéria-prima, a utilização da água produzida do petróleo para irrigação de cultivos energéticos apresenta-se como estratégia ambiental e econômica promissora para as empresas produtoras de petróleo *onshore* da Bacia Potiguar.

Palavras-chave: descarbonização, transição energética, economia circular.

Abstract

Oilfield produced water (OPW) is the main effluent generated in the production of oil and natural gas, and its management is considered a challenge for onshore oil-producing companies located in the Potiguar Basin. Therefore, it is crucial to adopt measures to reuse this water, with agricultural irrigation being one of the most promising, as it helps to reduce the demand for freshwater, especially in regions suffering from water scarcity. Brazil, through its NDC (Nationally Determined Contribution), presented in the Paris Agreement, stipulated as one of its decarbonization goals the increase in the share of biofuel and bioenergy in its energy matrix. In this sense, oil companies seek to expand their activities in renewable energy, therefore, using AP to irrigate raw materials for the production of biofuels presents

itself as a promising strategy for oil-producing companies operating in the Potiguar Basin. Thus, this work aims to evaluate the potential for reusing AP for the agricultural cultivation of raw materials to produce biodiesel and bioenergy. A quantitative analysis was carried out, using parameters such as volume of PA generated per field, water demand and productivity of each species, oil content in the seeds, and lower calorific value (PCI). The history of produced water production of onshore operators operating in the Potiguar Basin was obtained from the website of the National Agency of Petroleum, Natural Gas and Biofuels – ANP (2021 to 2023). It is worth noting that 50% of the volume produced in the indicated period was used. Depending on the volume of produced water used, it was possible to estimate the planting area and volume of biodiesel generated for oilseed crops (Macaúba, Cotton, Sunflower, Castor, Safflower, and Soy). Sunflower showed the greatest potential, presenting average production values of 2.790.583,60 of biodiesel annually. As for species for bioenergy (Elephant Grass, Sorghum Biomass, Sugarcane and Bamboo), the most promising species was sorghum biomass, capable of producing energy to replace an average of 114,650 t of petroleum coke per year, a fuel widely used by the cement industry operating in the region. Since the net emissions generated when burning biomass are considered zero, as the carbon dioxide emitted during burning was captured during the growth of the raw material, the use of water produced from oil for irrigation of energy crops presents itself as a strategy promising environmental and economic scenario for onshore oil producing companies in the Potiguar Basin.

Keywords: decarbonization, biodiesel, energy transition, reuse of effluents.

Introdução

A exploração de petróleo na Bacia Potiguar, uma das regiões *onshore* mais produtivas do Brasil, não apenas gera petróleo e gás, mas também grandes volumes de água produzida, um subproduto que contém compostos químicos que podem representar desafios ambientais. No entanto, essa água, quando tratada adequadamente, possui um potencial significativo para ser reutilizada em aplicações agrícolas, especialmente na irrigação de culturas oleaginosas e gramíneas. Essas culturas, além de serem bem adaptadas às condições climáticas da região, são fundamentais para a produção de biocombustíveis e bioenergia, desempenhando um papel crucial na diversificação da matriz energética e na promoção da sustentabilidade ambiental [1].

A aplicação da água produzida na irrigação dessas culturas não apenas melhora a eficiência do uso da água, mas também reforça a importância de maximizar todas as oportunidades de produção sustentável na Bacia Potiguar, promovendo a sustentabilidade ambiental e energética. As culturas selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho, destacam-se devido ao seu potencial para a produção de bioenergia e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, que desempenham um papel crucial na transição para uma matriz energética mais sustentável, oferecendo uma alternativa renovável aos combustíveis fósseis. Além disso, sua utilização reduz as emissões de gases de efeito estufa, contribuindo significativamente para os esforços globais de mitigação das mudanças climáticas [2].

Em acordo com as metas estabelecidas pelo Brasil em sua NDC (Contribuição Nacionalmente Determinada) no Acordo de Paris, que incluem o aumento da participação de biocombustíveis na matriz energética nacional, a utilização da água produzida do petróleo na irrigação de matérias-primas para biocombustíveis emerge como uma estratégia promissora. Para as empresas produtoras de petróleo *onshore* na Bacia Potiguar, essa abordagem não só oferece uma solução para o gerenciamento sustentável da água produzida, mas também contribui para o cumprimento das metas de descarbonização do país [3].

Em seus estudos, Pinheiro *et al.* [4] demonstrou em um projeto experimental de reciclagem de água produzida, proveniente do Campo de Fazenda Belém (conjunto de campos de petróleo localizados na Bacia Potiguar), a fim de cultivar oleaginosas utilizadas na produção de biodiesel. Os resultados indicaram que a água produzida desempenha um potencial significativo para ser utilizada na irrigação de culturas oleaginosas destinadas à produção de biodiesel.

A importância da estratégia de reutilização da água produzida é reforçada pelas características do Semiárido brasileiro, região que apresenta escassez hídrica, mas que também é conhecida por sua diversidade de plantas oleaginosas [5]. Além de impulsionar a produção de biocombustíveis, a bioenergia, derivada da biomassa, desempenha um papel vital na transição para um sistema energético mais sustentável. A geração de eletricidade e outras formas de energia a partir da biomassa ajuda a reduzir a dependência de combustíveis fósseis e hidrelétricas, ao mesmo tempo em que diversifica a matriz energética nacional e mantém seu caráter renovável [6].

Neste contexto, o objetivo deste estudo foi analisar o potencial de reutilização da água produzida pelo petróleo gerada pelas empresas produtoras *onshore* na Bacia Potiguar, com foco na irrigação de matérias-primas para a produção de biodiesel e bioenergia. A investigação visa direcionar o manejo da água produzida do petróleo afim de transformar esse subproduto em um recurso valioso, promovendo o desenvolvimento sustentável e a otimização de recursos na região, e contribuindo para a integração da gestão da água com a produção de biocombustíveis e bioenergia.

Metodologia

O histórico de produção de água produzida das operadoras *onshore* atuantes na Bacia Potiguar foi obtido no site da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis – ANP (2021 – 2023) [7]. É importante mencionar que na avaliação realizada neste trabalho, apenas o volume de água produzida disponível foi avaliado, não tendo sido realizada nenhuma análise em relação à qualidade dos efluentes. Uma vez que parte da água produzida é utilizada para reinjeção, foram considerados apenas 50% do volume produzido no período indicado, conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: 50% do volume da água produzida disponível na Bacia Potiguar

Ano de referência	Água produzida disponível (m³)
2021	58.856.824,62
2022	59.314.021,46
2023	55.531.186,03

Fonte: Autoria própria (2024)

Foi realizada uma análise quantitativa no *software* Microsoft Excel, utilizando parâmetros para as oleaginosas, como: densidade do óleo, produtividade, teor de óleo nas sementes, conversão do óleo em biodiesel e demanda hídrica. Os parâmetros utilizados são apresentados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros das oleaginosas

Culturas	Densidade (g/cm³)	Conversão (%)	Produtividade (ton/ha.ano)		Teor de óleo (%)		Demanda hídrica (m³/ha.ano)	
			mín	máx	mín	máx	mín	máx
Macaúba	0,916	97,00	4,00	6,00	20,00	30,00	14.000,00	25.000,00
Algodão	0,919	98,30	0,10	0,20	15,56	30,15	10.784,09	14.931,81
Girassol	0,917	98,30	0,93	2,30	48,00	51,00	8.295,45	11.613,64
Mamona	0,960	91,00	1,50	3,00	45,00	50,00	12.443,18	24.886,36
Soja	0,900	97,00	2,50	3,00	15,00	25,00	7.465,91	13.272,73
Cártamo	0,875	93,65	5,20	6,40	0,35	0,45	9.000,00	18.000,00

Fonte: Autoria própria (2024)

Em que a produtividade representa a quantidade de sementes produzidas por hectare em um ano, medida em toneladas por hectare por ano; o teor de óleo nas sementes (%) refere-se à fração de massa das sementes que pode ser extraída como óleo e a densidade é utilizada para converter a massa de óleo extraída em volume.

Através destes parâmetros, foi possível calcular a produção de óleo:

$$\text{Produção de óleo} \left(\frac{L}{ha \cdot ano} \right) = \text{Produtividade} \left(\frac{ton}{ha \cdot ano} \right) \cdot \frac{\text{Teor de óleo nas sementes} (\%)}{100} \cdot \frac{1}{\text{Densidade} \left(\frac{g}{cm^3} \right)} \cdot \frac{10^6 g}{1 ton} \cdot \frac{1L}{10^3 cm^3} \quad (1)$$

Após calcular a produção de óleo, determinou-se a quantidade de biodiesel produzido em litros:

$$\text{Produção de biodiesel (L)} = \text{Produção de óleo} \left(\frac{L}{ha \cdot ano} \right) \cdot \frac{\text{Conversão de óleo em biodiesel} (\%)}{100} \cdot \frac{1}{\text{Demanda hídrica} \left(\frac{m^3}{ha \cdot ano} \right)} \cdot \text{AP disponível} (m^3) \quad (2)$$

Onde a conversão de óleo em biodiesel (%) indica a fração de óleo que pode ser efetivamente transformada em biodiesel; a demanda hídrica diz respeito à quantidade de água necessária para a produção de um hectare de cultura por ano e a água produzida disponível refere-se ao volume de AP disponível para uso.

Para as gramíneas, utilizou-se parâmetros como: produtividade de massa seca, demanda hídrica e poder calorífico inferior (PCI) de cada espécie de gramíneas, conforme consta na Tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros das gramíneas

Culturas	PCI (GJ/t)	Produtividade (t/ha.ano)	Demanda hídrica (m³/ha.ano)	
			mín	máx
Capim Elefante	14,13	104	8000	12000
Sorgo Biomassa	16,69	300	5000	7000
Cana Energia	16,99	177	15000	25000
Bambu	18,00	25	10000	12000

Fonte: Autoria própria (2024)

Em que o poder calorífico inferior (PCI) representa a capacidade energética do material; a produtividade refere-se à quantidade de massa seca de gramíneas produzida por hectare em um ano, indicando o rendimento da cultura em termos de biomassa disponível para conversão energética; a demanda hídrica diz respeito à quantidade de água necessária para a produção de um hectare de gramíneas por ano e 35,12 equivale ao poder calorífico inferior (PCI) do coque de petróleo.

Através destes parâmetros, foi possível calcular o equivalente em toneladas de coque de petróleo com base na energia produzida para cada cultura de gramíneas, por meio da equação:

$$\text{Equivalente coque (ton)} = \text{PCI} \left(\frac{GJ}{ton} \right) \cdot \text{Produtividade} \left(\frac{ton}{ha \cdot ano} \right) \cdot \frac{1}{\text{Demanda hídrica} \left(\frac{m^3}{ha \cdot ano} \right)} \cdot \text{AP disponível} (m^3) \cdot \frac{1}{35,12 \left(\frac{GJ}{ton} \right)} \quad (3)$$

Resultados e Discussão

A Tabela 4 apresentada os valores mínimos e máximos de produção de biodiesel (L/ano) obtidos de diferentes oleaginosas durante os anos de 2021, 2022 e 2023. Esses valores indicam a eficiência de

cada cultura em termos de produção de biodiesel a partir do óleo extraído de suas sementes. Esses valores variam de acordo com a disponibilidade de AP disponível, isso explica o decréscimo da quantidade de biodiesel produzido no ano de 2023 em comparação aos anos anteriores.

Tabela 4: Valores mínimos e máximos das oleaginosas para produção de biodiesel.

Culturas	Biodiesel (L/ano)					
	2021		2022		2023	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Macaúba	997.224	4.006.706	1.004.971	4.037.830	940.877	3.780.312
Algodão	32.802	176.010	33.056	177.377	30.948	166.065
Girassol	1.212.570	4.460.762	1.221.989	4.495.413	1.144.055	4.208.711
Mamona	756.622	3.362.767	762.500	3.388.889	713.870	3.172.758
Soja	896.121	3.186.211	903.082	3.210.961	845.487	3.006.177
Cártamo	31.846	100.789	32.094	101.572	30.047	95.094

Fonte: Autoria própria (2024)

Nos anos de 2021, 2022 e 2023, o volume de água produzida disponível na bacia Potiguar foi de 58,8, 59,3 e 55,5 milhões de m³, respectivamente. Essa variação resultou em valores máximos de produtividade das culturas em 2022, ano em que o volume de água disponível atingiu seu ápice. Por outro lado, em 2023, todas as culturas registraram menor produção. Esse decréscimo na produção de biodiesel está relacionado à menor disponibilidade de água produzida, o que resultou em uma redução na produtividade ou em uma área de cultivo menor.

Consequentemente, os valores obtidos seguiram um padrão em função do volume de água produzida, conforme esperado, uma vez que as avaliações e cálculos dependem diretamente desse parâmetro. É importante ressaltar que o volume de água produzida representa 50% da quantidade total disponível, visto que esta água é frequentemente utilizada para reinjeção nos poços. Entre as culturas analisadas, o girassol destacou-se como a de maior potencial. Em 2022, ano em que apresentou os maiores índices de produtividade, a produção de biodiesel variou entre 1.221.989 L e 4.495.413 L.

Esse desempenho notável reforça a posição do girassol como uma cultura promissora para a produção de biodiesel, especialmente em regiões semiáridas. Sua alta produtividade de óleo e capacidade de adaptação a condições adversas fazem dele uma excelente escolha para maximizar o aproveitamento da água produzida na extração de petróleo. A irrigação com essa água residual surge como uma solução inovadora e sustentável, não só potencializando a produção de biodiesel, mas também contribuindo para a diversificação da matriz energética e o uso eficiente dos recursos hídricos em áreas de escassez, garantindo a viabilidade econômica e ambiental da produção energética [8].

A Tabela 5 mostra os valores mínimos e máximos de equivalente coque, em toneladas (ton), para diferentes culturas de gramíneas (capim elefante, sorgo biomassa, cana energia e bambu) e seu equivalente em coque de petróleo ao longo dos anos de 2021, 2022 e 2023. Esses valores indicam o potencial de cada cultura em termos de produção de biomassa energética.

Tabela 5: Valores mínimos e máximos das gramíneas para equivalente coque de petróleo.

Culturas	Equivalente em coque de petróleo (ton/ano)					
	2021		2022		2023	
	mín	máx	mín	máx	mín	máx
Capim Elefante	83.176	124.764	83.822	125.733	78.476	117.715
Sorgo Biomassa	93.234	139.851	93.958	140.938	87.966	131.949

Cana Energia	66.878	94.317	63.366	95.050	59.325	88.988
Bambu	11.764	17.646	11.856	17.784	11.099	16.649

Fonte: Autoria própria (2024)

A cultura que mais se destacou foi o sorgo biomassa, apresentando valores médios anuais maiores que as demais culturas. Esta gramínea se destaca por sua qualidade na geração de energia, com um poder calorífico similar ao da cana, do eucalipto e do capim-elefante, e uma elevada capacidade de produção de biomassa [9]. Para tanto, o sorgo e as demais gramíneas necessitam de uma área irrigada de no mínimo 2.414 ha e máximo de 3.618 ha.

Comparado a outras culturas energéticas, o sorgo biomassa se sobressai por diversas razões: alta produtividade de massa seca, elevado poder calorífico e resistência à salinidade e ao estresse hídrico, tornando-o ideal para climas semiáridos. A irrigação do sorgo biomassa com água produzida de petróleo, se mostra uma alternativa eficiente de reaproveitamento de resíduos. A produção de bioenergia não apenas pode reduzir a dependência de combustíveis fósseis e hidrelétricas, mas também contribuir para diversificar a matriz energética nacional, garantindo sua sustentabilidade. Esse tipo de cultivo é particularmente vantajoso em regiões semiáridas, onde os recursos hídricos são escassos, graças à adaptação do sorgo às condições climáticas locais e ao solo [10].

Conclusões

A eficiência do manejo da água produzida para irrigação de culturas é de extrema importância para promover a sustentabilidade ambiental, econômica e social no semiárido. Com o volume de AP, foi possível estimar a área de plantio para todas as culturas abordadas nesse trabalho. Dentre as culturas oleaginosas, foi observado valores bem distintos, para o girassol, a exemplo, a área necessária é de no mínimo 2.533 e máximo de 3.547 hectares. Para as espécies gramíneas, a área irrigada estimada é de no mínimo 2.414 ha e máximo de 3.618 ha.

Dentre as culturas oleaginosas, o girassol apresentou maior potencial, apresentando uma produção média de 2.790.583,60 litros de biodiesel anualmente. Já para as espécies bioenergéticas, a que se mostrou mais promissora foi o sorgo biomassa, capaz de produzir energia para substituir em média 114.650 toneladas de coque de petróleo por ano, combustível bastante utilizado pela indústria cimenteira atuante na região. Os dados levantados por essa análise destacam a importância de uma gestão estratégica e eficiente da água produzida.

A utilização da AP gerada pelas empresas produtoras *onshore* atuantes na Bacia Potiguar para irrigação de oleaginosas e gramíneas apresenta relevante potencial ambiental e econômico, especialmente visando a produção de matéria-prima para biocombustível e bioenergia. Além disso, trata-se de estratégia importante na transição energética em direção a uma matriz energética mais limpa.

Agradecimentos

Os autores agradecem ao Programa de Pós-Graduação em Manejo de Solo e Água (PPGMSA) da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (UFERSA), ao Programa de Formação de Recursos Humanos da ANP (PRH-ANP 55.1), Gestão FINEP, e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro; e às empresas Mandacaru Energia e 3R Petroleum, pelo financiamento de projetos de utilização de AP na irrigação de cultivos agrícolas em desenvolvimento na UFERSA.

Referências bibliográficas

- [1] MANSOUR, M.S.M; ABDEL-SHAIFY, H.I; IBRAHIM, A.M. Petroleum wastewater: Environmental protection, treatment, and safe reuse: An overview. *Journal of environmental management*, v. 351, n. 119827, p. 119827, 2024.
- [2] TIBURCIO, R. S.; MACÊDO, T. R. DE; NETO, A. M. P. Brazilian Biofuels Policy (RenovaBio): Overview and generation of decarbonization credits by biodiesel production facilities. *Energy for sustainable development: the journal of the International Energy Initiative*, v. 77, n. 101334, p. 101334, 2023.
- [3] BRASIL, Acordo de Paris. Disponível em: <<https://antigo.mma.gov.br/clima/convencao-das-nacoes-unidas/acordo-de-paris.html>>. Acesso em: 02 ago. 2024.
- [4] PINHEIRO, R., et al. Projeto piloto de irrigação com água produzida no campo de Fazenda Belém. 10p. Rio Oil e Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2014.
- [5] LICHSTON, J.E.; SILVA, R.A.D. Potencial do Nordeste brasileiro na produção de oleaginosas para bioquerosene. In: Congresso da rede brasileira de bioquerosene e hidrocarbonetos renováveis, 1., 2019, Natal. Anais [...]. Natal: Universidade Federal do Rio Grande do Norte, 2019.
- [6] MARAFON, A.C., *et al.* Uso da biomassa para a geração de energia. In: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 28p. Sergipe, 2016.
- [7] Painéis Dinâmicos de Produção de Petróleo e Gás Natural. ANP, 2021-2023. Disponível em: <https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/paineis-dinamicos-da-anp>. Acesso em: 02 ago. 2024. Base de dados.
- [8] VENTURA, D. A. M. F., ALVES, K. B., & dos SANTOS, M. K. V. A. (2010). Análise comparativa entre o biodiesel de girassol e o biodiesel de mamona. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MAMONA, 4.; SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE OLEAGINOSAS ENERGÉTICAS, 1., 2010, João Pessoa. Inclusão social e energia: anais. Campina Grande: Embrapa Algodão, 2010.
- [9] TORRES, M. Sorgo biomassa é ótima opção para geração de energia. In: Embrapa Milho e Sorgo, 2014. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/2246665/sorgo-biomassa-e-otima-opcao-para-geracao-de-energia>. Acessado em: 16 jul. 2024.
- [10] CASTRO, F. M. R. Potencial agrônomo e energético de genótipos de sorgo biomassa. Dissertação de Mestrado (Produção Vegetal), 84p. Lavras, 2014.